

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

В.Б. Новикова, С.О. Потапова

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Часть 1

Рекомендовано Учебно-методическим советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» для межвузовского использования в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия

Электронное издание

Красноярск 2023

ББК 28.081я73

Н 73

Рецензенты:

*Н.В. Фомина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесных культур, микологии и фитопатологии
Института леса им. В.Н. Сукачева*

*Е.Я. Мучкина, доктор биологических наук, профессор кафедры
экологии и природопользования Сибирского
федерального университета*

Н 73 **Новикова, В.Б.**

Экология и охрана окружающей среды. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Б. Новикова, С.О. Потапова; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2023. – 207 с.

Изложены основные вопросы общей экологии. Рассмотрены экологические термины, понятия и закономерности. Последовательно рассматриваются характерные особенности различных уровней организации жизни, изучаемые экологией: от организмов к популяциям, сообществам, экосистемам и, наконец, к биосфере в целом как к наиболее сложному глобальному уровню организации живого вещества. Пособие содержит контролирующие материалы в виде тестов, которые помогут студентам подготовиться к зачету.

Предназначено для изучения студентами дисциплины «Экология и охрана окружающей среды» по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия.

ББК 28.081я73

© Новикова В.Б., Потапова С.О., 2023

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЮ	7
1.1. Предмет и задачи экологии.....	7
1.2. История становления и развития экологии.....	8
1.3. Структура современной экологии.....	19
1.4. Методы экологических исследований.....	21
1.5. Экологические законы и их следствия	25
1.6. Концепция устойчивого развития. Антропоцентризм и экоцентризм.....	29
Контрольные вопросы	32
2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И АДАПТАЦИИ К НИМ ОРГАНИЗМОВ	33
2.1. Экологические факторы и их классификация	33
2.2. Общие закономерности действия экологических факторов на организмы	34
2.3. Адаптация живых организмов к экологическим факторам.....	39
2.4. Виды адаптации к факторам среды	42
Контрольные вопросы	45
3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СРЕД ЖИЗНИ.....	46
3.1. Водная среда	46
3.2. Наземно-воздушная среда	58
3.3. Почва как среда жизни	64
3.4. Живые организмы как среда	72
Контрольные вопросы	77
4. ПОПУЛЯЦИЯ, ЕЕ СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	78
4.1. Общее понятие о популяции и ее структуре	78
4.2. Структуры популяции	80
4.3. Основные характеристики популяций	84
4.4. Экологические стратегии популяций	91
Контрольные вопросы	94
5. БИОЦЕНОЗ И ЕГО СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ.....	95
5.1. Биоценоз и его структура	95
5.2. Типы связей и взаимоотношений между организмами в биоценозе	103
5.3. Концепция экологической ниши	116

Контрольные вопросы	118
6. ЭКОСИСТЕМЫ И ПРИНЦИПЫ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ.....	119
6.1. Понятие экосистемы, биогеоценоза, биома	119
6.2. Концепция экосистемы	122
6.3. Потоки вещества и энергии в экосистеме	127
6.4. Продуктивность экосистем	129
6.5. Экологические пирамиды.....	130
Контрольные вопросы	133
7. УЧЕНИЕ О ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ – БИОСФЕРЕ.....	134
7.1. Понятие о биосфере. Учение В.И. Вернадского	134
7.2. Функции живого вещества в биосфере.....	139
7.3. Круговороты веществ в биосфере	141
7.4. Биогеохимические циклы	145
Контрольные вопросы	152
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ	153
Занятие № 1. Современная структура экологии. методы.....	154
Занятие № 2. Пути и виды адаптации организмов к неблагоприятным условиям окружающей среды	160
Занятие № 3. Основные среды жизни	168
Занятие № 4. Популяция	174
Занятие № 5. Типы взаимоотношений между организмами.....	179
Занятие № 6. Составление пищевых цепей. методы графического изображения структуры экосистем	185
Занятие № 7. Биосфера.....	190
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ	192
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	205
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	206

ВВЕДЕНИЕ

Экология является системной наукой, так как изучает взаимоотношения, связи между живыми и неживыми компонентами природной среды. Знание этих зависимостей позволяет эффективно управлять природными экосистемами, не нанося им вреда.

Множество отрицательных последствий вызвало взаимодействие общества с окружающей природной средой. Это диктует необходимость последовательного формирования равновесного природопользования. Только при этом условии может быть обеспечено грамотное использование природного богатства и достигнут разумный баланс во взаимодействии человека и природы, обеспечено грамотное использование природного богатства.

В соответствии с Законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды» (2002) существенно возрастают требования к грамотности специалистов в области охраны природы и рационального использования природных ресурсов. Специалист любой сферы деятельности должен понимать смысл современных проблем взаимодействия общества и природы, разбираться в причинной обусловленности возможных негативных воздействий тех или иных производств на окружающую природную среду, уметь квалифицированно оценивать характер, направленность и последствия влияния конкретной хозяйственной деятельности на природу, увязывая решение производственных задач с соблюдением природоохранных требований, уметь планировать и организовывать природоохранную работу, вырабатывать и принимать научно обоснованные решения по вопросам охраны природы.

Целью курса «Экология и охрана окружающей среды» является формирование целостного представления об окружающей среде как сфере активного взаимодействия человека и природы, овладение базовыми экологическими знаниями и основами охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, а также и обеспечение будущего инженера знаниями и умениями в области рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Содержание дисциплины включает следующие вопросы:

- биосфера и человек: структура биосферы, экосистемы, взаимоотношения организмов и среды, экология и здоровье человека;
- глобальные проблемы окружающей среды;

– экологические принципы рационального использования природных ресурсов и основы экологического права.

Дисциплина «Экология и охрана окружающей среды» включена в ОПОП, в обязательную часть, Блока 1 «Дисциплины (модули)» подготовки студентов по направлению 35.03.06 – Агроинженерия. Дисциплина реализуется в Институте инженерных систем и энергетики кафедрой экологии и природопользования.

Дисциплина «Экология и охрана окружающей среды» является основополагающей для дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» и написания раздела «Экология» выпускных квалификационных работ.

Изучение студентами пособия способствует формированию экологических знаний, пониманию сущности современных проблем взаимодействия природы и общества, возможности ориентации в причинной обусловленности негативных воздействий хозяйственной деятельности человека на окружающую природную среду, решению производственных задач с соблюдением соответствующих природоохранных требований, научит вырабатывать и осуществлять научно обоснованные решения экологических проблем.

В учебном пособии дан курс лекций, приведены контрольные вопросы и практические работы. В конце предложены тестовые вопросы для самоконтроля.

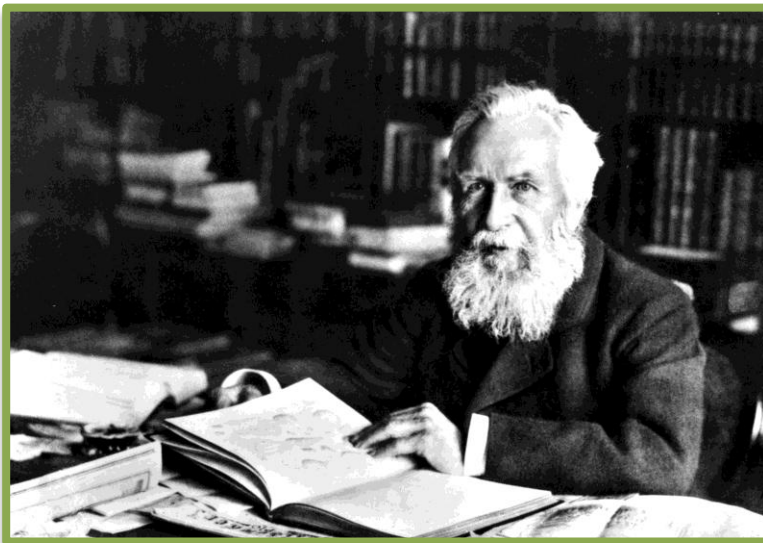
При работе над пособием студенты смогут проверить свои знания, систематизировать их, а затем использовать при подготовке к зачету и в дальнейшей практической работе.

В учебном пособии использованы иллюстрации из открытых Интернет-источников.

1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЮ

1.1. Предмет и задачи экологии

Слово экология образовано от греческого *oikos* – дом, жилище и *logos* – наука. В буквальном смысле «экология» означает науку о доме. Только дом здесь понимается в очень широком смысле слова как среда обитания. Впервые термин «экология» был применен Эрнстом Геккелем в 1866 г. В современном понимании экология – наука о взаимоотношениях живых организмов и среды их обитания.



**Эрнст Гёнрих
Гёккель**
(1834—1919)
Автор терминов
«питекантроп»,
«филогенез»,
«онтогенез» и
«ЭКОЛОГИЯ»

Рисунок 1 – Эрнст Геккель

Предметом экологии является изучение:

- законов существования и развития природы;
- закономерностей реакции природы на воздействие человека;
- предельно допустимых нагрузок на природные системы, которые может позволить себе общество.

Задачи экологии

1. Общетеоретические:

- изучение структуры пространственно-временных объединений организмов (популяций, сообществ, экосистем, биосферы);
- изучение круговорота веществ и потоков энергии в надорганизменных системах;

- разработка общей теории устойчивости экологических систем;
- изучение экологических механизмов адаптации организмов к среде;
- исследование регуляции численности популяций;
- изучение биологического разнообразия и механизмов его поддержания;
- исследование продукционных процессов;
- исследование процессов, протекающих в биосфере, с целью поддержания ее устойчивости;
- моделирование состояния экосистем и глобальных биосферных процессов.

2. Прикладные:

- прогнозирование и оценка возможных отрицательных последствий в окружающей природной среде под влиянием деятельности человека;
- улучшение качества окружающей природной среды;
- сохранение, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов;
- оптимизация инженерных, экономических, организационно-правовых, социальных и иных решений для обеспечения экологически безопасного устойчивого развития, в первую очередь в экологически наиболее неблагополучных районах.

Стратегической задачей экологии считается развитие теории взаимодействия природы и общества на основе концепции экоцентризма, рассматривающего человеческое общество как неотъемлемую часть биосферы.

1.2. История становления и развития экологии

В центре внимания экологии – то, что непосредственно связывает организм с окружающей средой, позволяя жить в тех или иных условиях. **Объектами экологии** чаще всего являются не отдельно взятые организмы, популяции, биоценозы, а также экосистемы. Примерами экосистем могут быть озеро, море, лесной массив, небольшая лужа или даже гниющий ствол дерева. Как самую большую экосистему можно рассматривать и всю биосферу.

В современном обществе под влиянием средств массовой информации экология часто трактуется как сугубо прикладное знание о состоянии среды обитания человека. Хотя проблемы качества среды для человека, безусловно, имеют очень важное практическое значение, а решение их невозможно без знания экологии, круг задач этой науки гораздо более широкий.

С тех пор как появилось высокоиндустриальное общество, опасное вмешательство человека в природу резко усилилось, расширился объем этого вмешательства, оно стало многообразнее и сейчас грозит стать глобальной опасностью для человечества.



Рисунок 2 – Примеры воздействия человеческой деятельности на окружающую среду

Глобальные изменения климата, истощение природного слоя почвы, природных ресурсов, уменьшение запасов питьевой воды и одновременно интенсивный рост народонаселения планеты, сопровождающийся наращиванием производственных мощностей, частые аварии – это проблемы, которые касаются каждого государства. В совокупности они создают непрерывно ухудшающуюся среду обитания самого человека.

Экологические проблемы и катастрофы непосредственно связаны с процессом образования населения – его недостаточность или полное отсутствие породили потребительское отношение к природе. Обретение экологической культуры, экологического сознания, мышления – это единственный для человечества выход из сложившейся ситуации. Таким образом, экологический кризис – это не только порождение научно-технического прогресса, но и кризис в головах людей. Его истоки уходят вглубь веков, к тем временам, когда человек противопоставлял себя природе.

В истории развития экологии можно выделить 3 основных этапа.

Первый этап

Существование цивилизации на нашей планете неразрывно связано с природными условиями. Цивилизация возникла, когда человек научился использовать огонь и другие средства и орудия, позволяющие ему изменять среду обитания. Экология приобрела практический интерес уже на заре человечества. Первобытный человек, борясь за выживание, должен был иметь определенные знания о видах животных, их повадках, местах обитания. Уже тогда люди влияли на численность и разнообразие животных и растений, но отсутствие орудий и навыков охоты не позволяли им опустошать природную среду. Человек методом проб и ошибок накапливал знания об окружающем мире. Люди постепенно познавали повадки и пути передвижения животных, на которых охотились; полезные и вредные свойства растений, особенности их жизненных циклов и места произрастания; в поисках убежищ изучали рельеф местности и т. д.

Обеспечение продуктами питания способствовало росту народонаселения: к 2500 г. до н. э. население Земли достигло 100 млн человек. По теории Н. И. Вавилова, древнейшие цивилизации зародились именно в центрах происхождения культурных растений. С развитием цивилизации развивались экологические познания и экологические проблемы. Уже к началу новой эры многие древние цивилизации погибали из-за неумелого хозяйствования. Так, например, Вавилонское царство погибло вследствие непродуманного строительства водооросительных систем и интенсивного использования воды из рек Тигр и Евфрат в целях орошения. То же самое наблюдалось в Египте, Шумере, Ассирии и других странах. Иероглифы на пирамиде Хеопса уже тогда предупреждали: «Люди погибнут от неумения пользоваться силами природы и от незнания истинного мира».

Уже в античные времена люди понимали проблемы, которые теперь называют экологическими. Гиппократ (460–377 гг. до н. э.) говорил о влиянии факторов среды на здоровье людей. Платон (427–347 гг. до н. э.) писал: «Вода не исчезала, как теперь, скатываясь в море по оголенной земле, а то, что сохранилось, если сравнивать это с тем, что существовало раньше, похоже на истощенное тело больного человека; все плодородные, мягкие земли растратились и исчезли, оставив лишь остов суши». Аристотель (384–322 гг. до н. э.) описал свыше 500 видов животных и рассказал об их поведении: о зимней спячке рыб, перелетах птиц, паразитизме кукушки, способе самозащиты каракатицы и т. п.

Для античного периода характерно описательное направление в науке, основанное на эмпирических знаниях о природе. В это же время человек был выделен из природы и поставлен в центр мироздания. Обоожествление природы сменилось антропоцентризмом – человек стал мерой всех вещей.

В средние века науки о природе развивались медленно в силу религиозного догматизма и схоластики. Следует упомянуть о легендарном враче Авиценне (980–1037 гг.), родившемся и жившем в Средней Азии. Мировую известность имеет его книга «Канон врачебной науки», в которой есть разделы о влиянии на организм человека окружающего воздуха и места его проживания.

Другим видным ученым этого времени был немецкий химик и врач Т. Парацельс (1493–1541 гг.), идеи которого о дозированном влиянии природных факторов были развиты в XIX веке в работах Ю. Либиха и В. Шел. Но большая часть знаний, накопленных греками, была утрачена в связи с разрушением знаменитой Александрийской библиотеки Ю. Цезарем в 48 г. до н. э.

В XVIII веке ботанические и зоологические наблюдения были обобщены в работе «Система природы» шведского естествоиспытателя Карла Линнея (1707–1778 гг.), который разработал основы научной систематики животных и растений.

Среди многих ученых выделяется французский натуралист Жорж Луи де Бюффон. Он издал огромный труд в 44 томах «Естественная история», в которой появились первые знания об эволюционной теории о происхождении организмов». Бюффон пишет: «Перед нами встает вопрос об изменении видов, вопрос о преобразованиях,

происходящих с незапамятных времен, и, по-видимому, имевших место в каждом семействе».

В Германии поборником естественного происхождения организмов, их родства и постепенного развития был Иммануил Кант (1724–1804 гг.).

В России путь эволюционной идее прокладывал М.В. Ломоносов (1711–1765 гг.). Он писал, что лик Земли многократно менялся, на месте морей появлялась суша, и наоборот; земные пласты постепенно поднимались и изгибались, образуя горные складки, изменялся климат, изменялись флора и фауна: «слоны и южных земель травы на севере важивались»

Жан Батист Ламарк (1744–1829 гг.) – один из самых крупных представителей науки того времени. В книге «Философия зоологии» он впервые широко поставил вопрос о влиянии среды на организмы.

Одним из первых естествоиспытателей, понявших необходимость синтеза наук при изучении природы, ее живых и неживых элементов, был великий немецкий ученый Александр Гумбольдт. Говоря о целостном изучении природы в обобщенном теоретическом труде «Космос», он писал: «Мое внимание будет устремлено на взаимодействие сил, влияние неодушевленной природы на растительный и животный мир, их гармонию». Одновременно с Александром Гумбольдтом на существующее в природе единство среды и организмов и их эволюционное развитие указывал знаменитый российский зоолог Карл Рулье (1814–1858 гг.). Он утверждал, что природа вечна; все ее явления взаимосвязаны и составляют единое целое. В природе все образуется путем медленных непрерывных изменений. Они были предвестниками эволюционной идеи и целостного восприятия природных комплексов, состоящих из живых и неживых компонентов. Большой вклад в развитие экологических представлений в этот период внесли российские естествоиспытатели А.Т. Болотов (1738–1833 гг.), И.И. Лепехин (1740–1802 гг.), П.С. Паллас (1741–1811 гг.).

Второй этап

Оформление экологии в самостоятельную отрасль знаний происходило в 60-е гг. XIX в. – 50-е гг. XX в. Начало этапа ознаменовалось выходом работ русских ученых К. Ф. Рулье (1814–1858 гг.),

Н.А. Севецова (1827–1885 гг.), В.В. Докучаева (1846–1903 гг.), впер-
вые обосновавших ряд принципов и понятий экологии, которые не
утратили своего значения и до настоящего времени. Не случайно
американский эколог Ю. Одум (1975 г.) считает Докучаева одним из
основоположников экологии. В конце 70-х гг. XIX в. Немецкий гид-
робиолог К. Мебиус (1877 г.) вводит важнейшее понятие о биоценозе
как о закономерном сочетании организмов в определенных условиях
среды.

Сам же **термин «экология»** был предложен в 1866 г. немецким
зоологом и философом Э. Геккелем, который, разрабатывая систему
классификации биологических наук, обнаружил, что нет никакого
специального названия для области биологии, изучающей взаимоот-
ношения организмов со средой.

Во второй половине XVIII в. важнейшим моментом был отказ от
внешнего описания природы и переход к выявлению внутренних, по-
рой скрытых, связей, определяющих ее естественное развитие.

Во Франции, в самом начале XIX в. Ж.Б. Ламарк предложил в
значительной мере умозрительную концепцию круговорота веществ
на Земле. Живым организмам при этом уделялась очень важная роль,
поскольку предполагалось, что только жизнедеятельность органи-
змов, приводящая к созданию сложных химических соединений, спо-
собна противостоять естественным процессам разрушения и распада.
Хотя концепция Ламарка была довольно наивной, в ней были преду-
гаданы некоторые идеи о функционировании биосферы, получившие
развитие уже в начале XX в.

Безусловно, предтечей экологии можно назвать немецкого есте-
ствоиспытателя А. Гумбольдта, именно ему принадлежит заслуга в
переходе от изучения отдельных растений к познанию растительного
покрова, как некоторой целостности. Заложив основы «географии
растений», Гумбольдт не только констатировал различия в распреде-
лении разных растений, но и пытался их объяснить, связывая с осо-
бенностями климата.

Попытки выяснить роль тех иных факторов в распределении
растительности предпринимались и другими учеными. В частности,
этот вопрос исследовал О. Декандоль, подчеркнувший важность не
только физических условий, но и конкуренции между разными вида-
ми за общие ресурсы. Ж. Б. Буссенго заложил основы агрохимии, по-
казав, что все растения нуждаются в азоте почвы. Он же выяснил, что

для успешного завершения развития растению необходимо определенное количество тепла, которое можно оценить, суммируя температуры за каждый день для всего периода развития. Ю. Либих показал, что разные химические элементы, необходимые растению, являются незаменимыми. Поэтому если растению не хватает какого-либо элемента, например, фосфора, то недостаток его никак не может быть компенсирован добавлением другого элемента – азота или калия. Данное правило, ставшее потом известным как «закон минимума Либиха», сыграло важную роль при внедрении в практику сельского хозяйства минеральных удобрений. Свое значение оно сохраняет и в современной экологии, особенно при изучении факторов, ограничивающих распределение или рост численности организмов.

Выдающуюся роль в подготовке научного сообщества к восприятию в дальнейшем экологических идей имели работы Ч. Дарвина, прежде всего его теория естественного отбора как движущей силы эволюции. Дарвин исходил из того, что любой вид живых организмов может увеличивать свою численность в геометрической прогрессии, а поскольку ресурсов для поддержания растущей популяции вскоре начинает не хватать, то между особями обязательно возникает конкуренция (борьба за существование). Победителями в этой борьбе оказываются особи, наиболее приспособленные к данным конкретным условиям, т. е. сумевшие выжить и оставить жизнеспособное потомство. Именно такой ход рассуждения и дал основание современнику и последователю Дарвина немецкому ученому Эрнсту Геккелю заявить о целесообразности выделения новой науки о взаимоотношениях живых организмов и их сообществ.

Во второй половине XIX в. исследования, которые по сути своей были экологическими, стали проводиться во многих странах, причем как ботаниками, так и зоологами.

На рубеже XIX–XX столетий само слово «экология», почти не использовавшееся в первые 20–30 лет после того, как оно было предложено Геккелем, начинают употреблять все чаще. Появляются люди, называющие себя экологами и стремящиеся развивать именно экологические исследования. Основное внимание уделяется при этом изучению воздействия на организмы тех или иных факторов внешней среды. Иногда, однако, ставятся совсем новые задачи, например, выявить общие, регулярно повторяющиеся черты в развитии разных природных комплексов организмов (сообществ, биоценозов).

Для превращения экологии в самостоятельную науку очень важными были 1920–1940-е гг. В это время публикуется ряд книг по разным аспектам экологии, начинают выходить специализированные журналы (некоторые из них существуют до сих пор), возникают экологические общества и постепенно формируется теоретическая основа новой науки, предлагаются первые математические модели и вырабатывается своя методология, позволяющая ставить и решать определенные задачи.

В России страстным поборником и популяризатором эволюционной теории Ч. Дарвина и последователем Э. Геккеля был К. А. Тимирязев. В 1939 г. в работе «Чарльз Дарвин и его учение» сказано, что «с установлением понятия приспособления явилась новая область науки, получившая придуманное Геккелем название экология». Геккель определял экологию как «общую науку об отношениях организмов к окружающей среде».

В 1935 г. Артур Трансли, британский эколог, придумал термин экосистема – интерактивные системы, установленные между биоценозом (группа живых существ), и их биотопов, окружающей средой, в которой они живут. Таким образом, экология стала наукой экосистем.

В начале 1940-х гг. В.Н. Сукачев (1880–1967 гг.) обосновал концепцию биогеоценоза, имевшую большое значение для развития теоретической базы экологии. В этом учении нашли отражение идеи о единстве организмов с физическим окружением, о закономерностях, которые лежат в основе таких связей, об обмене веществами и энергией между ними.

Изучение общепланетарных процессов развернулось после выхода в свет в 1926 г. книги В.И. Вернадского «Биосфера», где рассмотрены свойства «живого вещества» и его функции в формировании как современного лика Земли, так и всех сред жизни на планете (водной, почвенной и воздушной). Предшественником и единомышленником В. И. Вернадского был В.В. Докучаев (1846–1903 гг.), создавший учение о почве как о естественно-историческом теле. В.И. Вернадский (1863–1945 гг.) обосновал роль живого вещества как наиболее мощного геохимического и энергетического факторов – ведущей силы планетарного развития. В его работах ясно прослеживается значение для космоса жизни на планете Земля, а также значение космических связей для биосферы. В. И. Вернадский проследил эво-

люцию биосферы и пришел к выводу, что деятельность современного человека, преобразующего поверхность Земли, по своим масштабам стала соизмерима с геологическими процессами на планете. В результате стало ясно, что использование природных ресурсов планеты происходит без учета закономерностей и механизмов функционирования биосферы. Тем не менее завершающим этапом эволюции биосферы он считал появление ноосферы – сферы разума. Важным этапом необратимой эволюции биосферы Вернадский считал ее переход в стадию ноосферы. Никто из ученых XX века не имел соизмеримых с ним достижений. Венцом его научного творчества стало учение о биосфере, области жизни на планете. Оно явилось синтезом идей и фактов, относящихся к десяткам наук. По мнению Вернадского, в прошлом не придавали значения двум важным факторам, которые характеризуют живые тела и продукты их жизнедеятельности:

1) открытию Пастера о преобладании оптически активных соединений, связанных с диссимметричностью пространственной структуры молекул, как отличительной особенности живых тел;

2) вкладу живых организмов в энергетику биосферы и их влияние на неживые тела. Ведь в состав биосферы входит не только живое вещество, но и разнообразные неживые тела, которые Вернадский называет косными (атмосфера, горные породы, минералы и т. д.), а также биокосные тела, образованные из разнородных живых и косных тел (почвы, поверхностные воды и т. п.) Хотя живое вещество по объему и весу составляет незначительную часть биосферы, но оно играет основную роль в геологических процессах, связанных с изменением облика нашей планеты. Этот период, по сравнению с предыдущим, был более прогрессивным. Благодаря ему, в экологии зародилось научное направление – популяционная экология, приоритетной проблемой которой являются биотические взаимодействия в биоценозе. Недостаток этого направления в том, что даже при изучении сообщества суть явлений сводится к функционированию отдельных популяций, т. е. к разложению биоценоза на составляющие элементы.

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

Третий этап

Третий этап – 50-е гг. XX в. и по настоящее время. Экология становится комплексной наукой, включающей в себя науки об охране природной и окружающей человека среды. Из строгой науки экология превращается в «значительный цикл знания, вобрав в себя разделы географии, геологии, химии, физики, социологии, теории культуры, экономики» (Реймерс, 1994).

Середина XX века была отмечена расширением комплексных исследований экосистем (В.И. Жадин, Г.Г. Винберг, Р. Линдемман, Г. Одум и Ю. Одум, Р. Маргалев и др.). В 1956 г. под редакцией В.И. Жадина издается в четырехтомный труд «Жизнь пресных вод»; в 1961 г. выходит монография В. И. Жадина и С.В. Герда «Реки, озера и водохранилища СССР». В этих работах описываются особенности водных экосистем. В 1964 г. коллективом авторов под руководством В.Н. Сукачева была опубликована книга «Основы лесной биоценологии». В ней сделана попытка путем синтеза информации раскрыть количественные закономерности функционирования и эволюции такой сложной динамической системы, как лесной биогеоценоз.

Однако эффективная реализация методологии системного подхода к изучению экосистем стала возможной лишь в начале 70-х гг. XX столетия, когда в распоряжение экологов поступили мощные ЭВМ и были разработаны методы моделирования динамических систем, которые в совокупности с экспериментами и наблюдениями получили название системного анализа. Развитие целостного взгляда на экосистемы привело к возрождению на новой экологической основе учения о биосфере В. И. Вернадского, который в своих идеях опередил современную ему науку. Биосфера предстала как глобальная экосистема, стабильность и функционирование которой определяются фундаментальными экологическими законами баланса вещества и энергии.

Во второй половине XX века осуществляется переход к пониманию необходимости сохранения естественной природы и стабильной окружающей среды. Осознание важности этой проблемы произошло в тех странах, которые являлись крупными потребителями энергии и других природных ресурсов, а поэтому были основными загрязнителями окружающей среды. Своего рода точкой отсчета в существовании природоохранной деятельности, основанной на новом мышлении, следует считать резолюции Генеральной Ассамблеи ООН и

ЮНЕСКО, принятые в декабре 1968 г. Из идеи были интегрированы в решения Стокгольмской конференции 1972 г. («Декларация принципов»). На конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992 г.) была принята «Декларация по окружающей среде и развитию», содержащая согласованные со 179 правительствами документы, определявшие права и обязанности стран в деле обеспечения развития цивилизации и благосостояния людей.

Ко второй половине XX века завершено становление экологии как самостоятельной науки, имеющей собственную теорию и методологию, свой круг проблем, и свои подходы к их решению. Математические модели постепенно становятся более реалистичными: их предсказания могут быть проверены в эксперименте или наблюдениями в природе. Сами же эксперименты и наблюдения все чаще планируются и проводятся так, чтобы полученные результаты позволяли принять или опровергнуть заранее выдвинутую гипотезу. Заметный вклад в становление методологии современной экологии внесли работы американского исследователя Роберта Макарттура (1930–1972 гг.), удачно сочетавшего в себе таланты математика и биолога-натуралиста. Макарттур исследовал закономерности соотношения численностей разных видов, входящих в одно сообщество, выбор хищником наиболее оптимальной жертвы, зависимость числа видов, населяющих остров, от его размера и удаленности от материка, степень допустимого перекрывания экологических ниш сосуществующих видов и ряд других задач.

В современной экологии по-прежнему сохраняют свою актуальность некоторые проблемы, имеющие давнюю историю, например, установление общих закономерностей динамики обилия организмов, оценка роли разных факторов, ограничивающих рост популяций, выяснение причин циклических (регулярных) колебаний численности. В этой области достигнут значительный прогресс – для многих конкретных популяций выявлены механизмы регуляции их численности, в том числе и тех, которые порождают циклические изменения численности.

Новым направлением последних лет является так называемая, макроэкология – сравнительное изучение разных видов в масштабах больших пространств (сопоставимых с размерами континентов).

Огромный прогресс в конце XX столетия достигнут в изучении круговорота веществ и потока энергии. Это связано с совершенство-

ванием количественных методов оценки интенсивности тех или иных процессов, а также с растущими возможностями широкомасштабного применения этих методов. Примером может быть дистанционное (со спутников) определение содержания хлорофилла в поверхностных водах моря, позволяющее составить карты распределения фитопланктона для всего Мирового океана и оценить сезонные изменения его продукции.

В конце XX в. происходит экологизация науки. Это связано с осознанием огромной роли экологических знаний, с пониманием того, что деятельность человека зачастую не просто наносит вред окружающей среде, но и воздействует на нее отрицательно, изменяя условия жизни людей, угрожает самому существованию человечества.

Современная экология – это быстро развивающаяся наука, характеризующаяся своим кругом проблем, своей теорией и своей методологией. Сложная структура экологии определяется тем, что ее объекты относятся к очень разным уровням организации: от биосферы и крупных экосистем до популяций, причем популяция нередко рассматривается как совокупность отдельных особей. По мере давления на окружающую среду возрастает практическое значение экологии.

1.3. Структура современной экологии

Всеобщая экология подразделяется на три блока:

- биоэкология;
- экосистемы и земные сферы;
- человек и природа.

Биоэкология по объектам исследования распадается:

- на экологию животных;
- растений;
- грибов;
- микроорганизмов.

Внутри этих подразделений существует более детальное расчленение: экология насекомых, экология птиц, покрытосеменных и т. д. В соответствии с **уровнями организации живой материи** биоэкология подразделяется:

- на **аутэкологию** – изучает взаимоотношения отдельных организмов с окружающей средой, определяющей пределы устойчивости и предпочтения вида по отношению к различным эколо-

гическим факторам; исследует действие среды на морфологию, физиологию и поведение организма;

- **демэкологию**, или популяционную экологию – изучает структурные и функциональные характеристики, динамику численности популяций и другие экологические закономерности существования популяций;
- **эйдэкологию** (экологию видов);
- **синэкологию**, или экологию сообществ (биоценология) – анализирует отношения между особями, относящимися к разным видам данной группировки организмов, их пути формирования, развитие, структуру и динамику, взаимодействие с факторами среды;
- **биогеоценологию** – изучает функционирование экосистем различного уровня организации;
- **глобальную экологию** – выявляет роль живых организмов и продуктов их жизнедеятельности в создании земной оболочки (атмосферы, гидросферы, литосферы), ее функционировании.

Для всех этих направлений главным является изучение закономерностей адаптации организмов и их сообществ к окружающей среде.

В блоке «Экосистемы и земные сферы» рассматриваются связи между живым и неживым (абиотическим), а также между организмами и сообществами в составе основных биомов суши и мирового океана.

Различают:

- экологию тундр и арктических пустынь;
- лесную экологию;
- степей;
- пустынь;
- гор;
- островов;
- континентальных вод;
- морских побережий, лиманов и эстуарий;
- океана и т. д.

В блок «Человек и природа» входят науки, изучающие взаимосвязь и взаимодействие человека с органической и неорганической средой:

- инженерная экология;
- сельскохозяйственная;
- промысловая;
- радиационная;
- промышленная;
- рекреационная;
- космическая;
- медицинская;
- экология катастроф и др.

1.4. Методы экологических исследований

Методы исследований в экологии имеют свою специфику, поскольку объекты изучения – не только отдельные особи, но и группы особей, популяции и сообщества, т. е. биологические макросистемы. Многообразие связей, действующих в этих системах, обуславливает и многообразие методов экологических исследований. Среди методов, используемых в экологии, по особенностям их применения, можно выделить как общенаучные, так и частные, только экологические методы.

В соответствии с другой классификацией, методы экологии можно подразделить на лабораторные и полевые. Последние, в свою очередь, делятся на следующие методы: маршрутные, стационарные, описательные и экспериментальные. Полевые исследования в экологии наиболее значимы, поскольку именно они позволяют изучать экологические явления непосредственно в природной среде. Они позволяют установить взаимосвязи организмов со средой, выявить экологические факторы среды и определить адаптации живого к среде.

Среди общенаучных методов выделяют:

- наблюдение и описание;
- метод измерений;
- сравнительный метод;
- исторический;
- экспериментальный;
- метод моделирования;
- статистический метод и др.

Наблюдение и описание – по сути методы неразделимые, заключаются в длительном отслеживании состояния объекта или явления и последующей записи, фиксирующей его (их) всевозможные изменения.

Сравнительный метод основан на анализе сходства и различия изучаемых объектов и явлений.

Исторический метод заключается в анализе хода развития исследуемого объекта.

Экспериментальный метод помогает изучать объекты и явления природы в заданных условиях.

Метод моделирования делает возможным описание объектов и явлений природы относительно простыми моделями, воссоздаваемыми в лабораторных условиях. Модель – это абстрактное описание какого-то явления реального мира. Модели используются для прогнозирования динамики явления, для определения воздействия экологических факторов на объект, для оценки последствий антропогенного вмешательства в среду.

Процесс перевода физических или биологических представлений в любой экологической системе в ряд математических зависимостей и операций над ними называется системным анализом, а сама математическая система – моделью. Первыми математическими моделями простейших экологических систем «хищник – жертва» и «паразит – хозяин» были теоретические разработки итальянского математика В. Вольтерра, сделанные в 1931 г. Они послужили толчком для построения более сложных моделей процессов пищевых отношений популяций в биоценозах. В современных условиях моделирование занимает основное место в работах по экологическому прогнозированию.

Статистический метод позволяет усреднять полученные данные и тем самым получать более объективную информацию о количественных и меристических признаках изучаемых природных объектов и явлений.

При проведении экологических исследований сталкиваются с такими методами исследования, как мониторинг.

Мониторинг – система контроля окружающей среды, включающая три основных вида деятельности:

- слежение и контроль – систематические наблюдения за состоянием окружающей среды;

- прогноз – определение возможных изменений природы под влиянием естественных и антропогенных факторов;
- управление – мероприятия по регулированию состояния окружающей среды.

Выделяют следующие типы мониторинга:

- глобальный (биосферный);
- геофизический;
- климатический;
- биологический;
- экологический.

Основа сети глобального мониторинга – биосферные заповедники. Экологический мониторинг – основа глобального мониторинга – включает наблюдения за различными компонентами биосферы, в первую очередь, за растительными и животными организмами.

Микроскопический метод позволяет оценивать воздействие факторов среды на организм на анатомическом уровне. Для исследований сегодня применяется не только световой микроскоп, но и электронный микроскоп, сканирующий микроскоп, а также компьютерные микроскопические приставки.

Метод группового анализа используется в целях характеристики таких признаков популяции, которые в силу относительно высокого варьирования у отдельных особей не поддаются точному учету. Метод часто используют при определении возраста животных. Оценка признака производится путем изучения кривых его распределения в популяции.

Метод морфофизиологических индикаторов позволяет по отдельным показателям, установленным для организма, оценить общее состояние особи. Например, количество гемоглобина и эритроцитов, содержание протеинов в плазме могут свидетельствовать о недоедании животного.

Инвентаризация природных ресурсов – это учет количества, качества, динамики запасов и степени эксплуатации естественных ресурсов. Инвентаризация включает картографирование объектов исследования, статистический учет и учет качественного состава, степень эксплуатации и определение режима охраны.

Индикация загрязнений среды – качественное обнаружение и количественное определение физико-химических веществ в объектах окружающей природной среды. Помимо ландшафтных индикаторов (снег, торф, вода), существуют биоиндикаторы, позволяющие опре-

делять степень загрязнения среды различными антропогенными токсикантами.

Биоиндикация – это обнаружение и определение антропогенных нагрузок по реакциям на них живых организмов и их сообществ. Сущность биоиндикации заключается в том, что определенные факторы среды создают возможность существования того или иного вида. Объектами биоиндикационных исследований могут быть отдельные виды животных и растений, а также целые экосистемы. Например, радиоактивное загрязнение определяют по состоянию хвойных пород деревьев; промышленное – по многим представителям почвенной фауны; загрязнение воздуха очень чутко воспринимается мхами, лишайниками, бабочками.

Так, если в лесу на стволах деревьев исчезают лишайники, значит, в воздухе присутствует сернистый газ. Только в чистой воде встречаются личинки ручейников (*Trichoptera*). А вот малощитинковый червь (*Tubifex*), личинки хирономид (*Chironomidae*) обитают лишь в сильно загрязненных водоемах. В слабозагрязненных водоемах живут многие насекомые, зеленые одноклеточные водоросли, ракообразные.

Биоиндикация позволяет вовремя выявить еще не опасный уровень загрязнения и принять меры по восстановлению экологического равновесия окружающей среды. В некоторых случаях методу биоиндикации отдают предпочтение, так как он проще, чем, например, физико-химические методы анализа.

Интродукция – комплекс работ по переносу растительных или животных объектов из дикого состояния в состояние культуры. Интродукция – начальный этап акклиматизации, являющейся одной из мер по обогащению местной флоры или фауны и по сохранению биоразнообразия на конкретной территории.

Дистанционное исследование экосистемы – это получение информации о природных экосистемах бесконтактными (телеметрическими) методами, с помощью спутников, самолетов, космических кораблей. Спутниковое дистанционное зондирование позволяет дать оценку степени воздействия антропогенных факторов на растительный покров суши; выявить влияние лесных пожаров на природные экосистемы; помогает определить первичную продуктивность и биомассу фитоценозов. Например, с помощью спутника «Космос» установлены состояние лесоболотного комплекса Западной Сибири и степень воздействия на него хозяйственной деятельности человека.

Атомно-адсорбционная спектрофотометрия – это комплекс методов, позволяющий в лабораторных условиях оценить содержание в биологических объектах любых элементов из таблицы Менделеева, в том числе содержание тяжелых металлов.

Таким образом, при изучении надорганизменных систем экология использует все разнообразие методов как биологических, так и небιологических наук. Однако специфическим методом экологии является количественный анализ структуры и функционирования надорганизменных систем. Современная экология – это один из наиболее точных, наиболее математизированных разделов биологии.

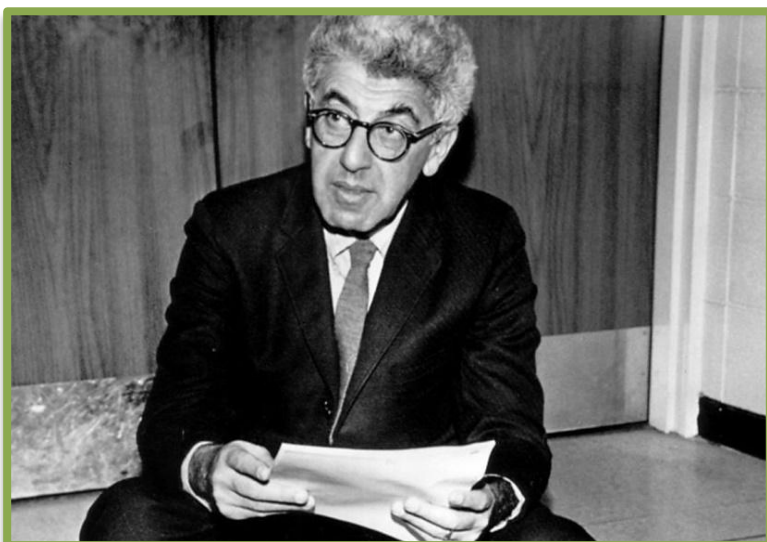
1.5. Экологические законы и их следствия

Как и всякая наука, экология имеет свои правила и законы.

Основные проблемы взаимодействия общества и природы в какой-то мере отражают четыре положения, которые сформулировал американский биолог Барри Коммонер в книге «Замыкающийся круг». Он назвал их «законами экологии», именно в кавычках.

Законы экологии Коммонера (1974 г.) – это свод всего лишь из четырех почти шуточных утверждений, которые не требуют доказательств и подсчетов. Они стоят особняком в своде методологии науки, и тем не менее они только подтверждают научные выкладки.

Но они просты и понятны всем.



Барри Коммонер
(1917–2012)

*американский
биолог и эколог
автор четырех
законов экологии*

Рисунок 3 – Барри Коммонер

Итак, четыре закона экологии, сформулированные в виде афоризмов Б. Коммонером:

1. Все связано со всем.
2. Все должно куда-то деваться.
3. Природа знает лучше.
4. Ничто не дается даром.

Первый закон

Наиболее наглядной иллюстрацией принципа динамического равновесия выступает первый постулат, сформулированный Коммонером, «Все связано со всем».

Ученый утверждает, что в окружающем мире все компоненты связаны друг с другом. Если человечество портит что-то в одном месте биосферы, то это непременно влияет на другие. Любое воздействие, даже небольшое, влечет за собой последствия, в том числе и негативные.

Этот принцип иллюстрирует огромное количество связей между находящимися в экосистеме живыми существами и окружающей средой, биосферой и обществом, и компонентами множества систем.

Это закон динамического равновесия. Все, кто смотрел блокбастер Голливуда «Эффект бабочки» (The Butterfly Effect, 2004), понимают, о чем речь.

Даже наименьшее изменение в природе, внесенное извне, приводит к катастрофическим последствиям. У экологов много таких примеров. Так что фильм, действительно, имеет правдивые основания. Именно в это время экологи опубликовали материалы, повествующие, как исчезновение одного вида мотыльков в пойме Амазонки привело к изменениям в экотопе, вплоть до изменений рельефа. Озвучен этот закон Коммонером, но о нем говорил еще Чарльз Дарвин. Известен случай, когда к Чарльзу Дарвину обратились крестьяне с проблемой снижения урожая гречки. На вопрос о том, как повысить урожайность, Дарвин ответил, что всем крестьянам нужно завести больше котов: они уничтожат грызунов, которые поедают крупу, в результате ее урожайность повысится.

Второй закон

Второй постулат гласит: «Все должно куда-то деваться». Он вытекает из фундаментального закона сохранения материи. В природе синтезируются только те вещества, которые могут впоследствии быть

разрушены естественным образом. В соответствии с первым принципом, всякое загрязнение вернется к человеку обратно. Это позволяет по-новому рассматривать проблему отходов материальной промышленности. Синтезирование человечеством новых веществ, которые нельзя разрушить без вреда для окружающей среды, привело к проблеме накопления отходов там, где их не должно быть. Это же касается и добычи ископаемых: переработанная нефть приводит к загрязнению и ухудшению экологической обстановки.

Второй закон основывается на принципе перераспределения бытового мусора и безотходного экологического производства. При создании новых технологий стоит учитывать, чтобы они были менее ресурсозатратными, а также использовали продукты переработки. Кроме того, стоит применять наиболее щадящий способ утилизации мусора.

Именно Барри Коммонеру принадлежит идея о безотходном производстве, которая и сегодня находит свое практическое подтверждение в натуральном сельском хозяйстве и экологизации промышленности.

Третий закон

Третий принцип, сформулированный американским биологом, гласит: «Природа знает лучше». Он основан на теории эволюции. Существующие в современном мире организмы и комбинации – результат долгого процесса эволюции и естественного отбора. Из огромного количества веществ в результате процесса отбора остались те соединения, которые наиболее приемлемы для земных условий и имеют разлагающие их ферменты. Природа посредством конкурентной борьбы видов за существование оставляла только сильнейшие организмы, устойчивые к конкретным климатическим условиям.

Активные преобразования человеком экологической среды (экоцида), биогеоценозов (ценозоцида), а также истребление растений и животных (геноцида) могут привести к необратимым последствиям, в результате которых мир перестанет быть пригодным для существования человечества. Без точного знания функционирования законов экосистем и биоценозов и последствий их изменения невозможны никакие «улучшения» природы. Необдуманное вмешательство человека с целью решения проблем может привести к еще большему урону. Массовый отстрел воробьев в Азии, наносящий, по мнению жителей, вред посевам, послужил причиной того, что их место

заняли насекомые. Последние, лишившись естественных врагов, увеличили свою популяцию и нанесли еще больший вред посевам. Изменения в экологической цепи привели к большому сокращению урожайности.

Четвертый закон

Последний принцип, выведенный Коммонером, основывается на законе разумного природопользования и гласит: «Ничто не дается даром» или «За все приходится платить». Этот закон объединяет три предыдущих. Биосфера как всеобъемлющая экосистема является единым целым. Победа в одном месте сопровождается поражением в другом.

Если экономить на защите окружающей среды, это обернется для человека проблемами со здоровьем, природными катастрофами и снижением условий жизни. Все, что было получено из нее в результате человеческого труда, в конечном итоге должно быть возмещено.

В своих законах Коммонер выносит на первый план всеобщую связь природных процессов. Прогресс любой природной системы возможен только при использовании материальных, энергетических и информационных ресурсов окружающей ее среды. Выход есть!

Пессимистическое высказывание ученого: «Если мы хотим выжить, мы должны понять причины приближающейся катастрофы» — нашло оптимистическое отражение в концепции устойчивого развития как пути, по которому следует двигаться цивилизации. В 2002 г. на саммите ООН в Йоханнесбурге получили документальное подтверждение все 27 постулатов концепции устойчивого развития, сформулированные в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Законы Барри Коммонера сыграли не последнюю роль в работе комиссии при ООН по данным вопросам. Именно эта комиссия вводит в обиход понятие *Sustainable Development*, что в переводе на русский звучит как «устойчивое развитие». Благодаря ее работе у сегодняшнего человечества появляется надежда.

Эта стратегия подразумевает, что только усилия всех государств в экологизации промышленности и сельского хозяйства дают возможность остановить нарастание кризисных тенденций в экосистеме планеты. Эта концепция основана на постулатах симбиоза экономического (ресурсосбережение, экологический агрокомплекс) и социального (экологическое сознание населения) развития общества, его устойчивости в гармонии с природой.

1.6. Концепция устойчивого развития.

Антропоцентризм и эгоцентризм

Человечество в настоящее время расширяет сферу обитания, завоевывая у природы новые пространства, приближаясь к новым источникам ресурсов. Проблемы загрязнения среды, нехватки энергии, питьевой воды, сельскохозяйственных земель и минеральных ресурсов при существующих и прогнозируемых темпах потребления будут только возрастать. Восстановление естественной среды, необходимой для поддержания устойчивости окружающей среды, в глобальном масштабе может потребовать сокращения экономического роста, привести к замедлению роста потребления энергии невозобновляемых источников на планете в целом. Это не следует расценивать как лозунг «Назад к природе!».

Технический прогресс не остановить! НО требуется найти некий оптимум во взаимодействии природы и человечества.

Концепция устойчивого развития – это стремление найти выход из кризиса, в основе которого лежит попытка минимизировать воздействие человека на окружающую среду в надежде на то, что биосфера сохранит свои функции вплоть до момента стабилизации населения Земли в XXI в. Однако реальность такова, что человечество уже живет в разрушающейся биосфере, в условиях нарастающего экологического кризиса, который, если все и дальше пойдет самотеком, неизбежно перерастет в кризис цивилизации.

Иллюзия о безграничной возможности техногенной цивилизации породила заблуждение, что человек может все. В эпоху технической революции прочное место заняла позиция покорения природы. Это привело к неограниченной и бездумной эксплуатации и истощению природных ресурсов и связанному с ней загрязнению природной среды. «Мы не можем ждать милостей от природы! Взять их у нее – наша задача!» – этот призыв И. В. Мичурина, относящийся к растениям, распространился на все аспекты взаимодействия человека и природы.

Приоритет «прав человека» опасен, если он не находится в согласии с ответственностью не только перед современным обществом, но и перед всей жизнью на Земле, а также будущими поколениями. В условиях борьбы за выживание люди согласятся на любое воздей-

ствие на природу. Только относительно богатые страны могут позволить себе борьбу за чистую среду обитания. Для 1,2 млрд чел. в мире, живущих на сумму менее одного доллара в день, не имеющих даже начального образования, понятие чистой среды обитания незнакомо.

Сегодня становится ясным, что современная цивилизация с ее образом мышления и нормами поведения не обеспечивает устойчивого существования человека, окружающей среды и продолжения жизни.

К сожалению, нагрузка со стороны человека на окружающую среду продолжает расти, несмотря на развитие технологий. Чтобы снизить воздействие на окружающую среду, необходимо сформулировать новые правила и действовать в соответствии с ними в масштабе всей планеты.

В настоящее время единственный способ не допустить перерастания глобального экологического кризиса в катастрофу – это переход от антропоцентрического типа общественного сознания к экоцентрическому (см. табл. 1).

Антропоцентризм основывается на представлениях о человеческой исключительности, противопоставлении человека природе. Экоцентризм основывается на понимании необходимости коэволюции человека и биосферы.

Для антропоцентризма характерно:

- противопоставление человека как высшей ценности природе как его собственности;
- восприятие природы как объекта одностороннего воздействия человека;
- прагматический характер мотивов и целей взаимодействия с природой.

Для экоцентризма характерно:

- ориентированность на экологическую целесообразность, отсутствие противопоставления человека природе;
- восприятие природных объектов как полноправных субъектов, партнеров по взаимодействию с человеком;
- баланс прагматического и непрагматического взаимодействия с природой.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика антропо- и экоцентризма

Взаимоотношения человека и природы	Особенности	
	антропоцентризма	экоцентризма
Высшая ценность	Человек	Гармоничное развитие человека и природы
Картина мира	Иерархическая	Отказ от иерархической картины мира
Цель	Удовлетворение прагматических потребностей: производственных, научных и т.д., получение определенной пользы для человека	Максимальное удовлетворение как потребностей человека, так и потребностей всего природного сообщества
Характер	«Прагматический императив»: правильно и разрешено то, что полезно человеку и человечеству	«Экологический императив»: правильно и разрешено только то, что не нарушает существующее равновесие
Восприятие природы	Объект человеческих манипуляций, как безличная «окружающая среда»	Полноправный субъект взаимодействия с человеком
Этические нормы и правила	Действуют только в мире людей и не распространяются на взаимодействие с миром природы	Распространяются как на взаимодействие между людьми, так и на взаимодействие с миром природы
Развитие природы	Процесс, который должен быть подчинен процессу развития человека	Процесс взаимовыгодного единства
Деятельность по охране природы	Необходимо сохранить природную среду, чтобы ею могли пользоваться будущие поколения	Необходимость сохранить природу ради нее самой

Контрольные вопросы

1. Когда возникла экология как наука? С чем это было связано?
2. Дайте определение экологии как науки. Назовите автора термина «экология».
3. Как трансформировалось содержание и задачи экологии в современный период?
4. Какие вопросы и проблемы рассматривает общая экология? Назовите основные ее разделы.
5. Назовите экологические законы Б. Коммонера. Раскройте их содержание.
6. В чем суть концепции устойчивого развития?
7. Назовите характерные черты эко- и антропоцентризма.

2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И АДАПТАЦИИ К НИМ ОРГАНИЗМОВ

2.1. Экологические факторы и их классификация

Среда – это все, что окружает организм и прямо или косвенно влияет на его состояние, развитие, рост, выживаемость, размножение и т. д.

Экологические факторы – это элементы среды, необходимые организму или воздействующие на него отрицательно.

Экологический фактор		
↓	↓	↓
Абиотический	Биотический	Антропогенный
• Температура – пойкилотермные – гомойотермные • Свет – теневыносливые – светолюбивые • Вода – гигрофиты – гидрофиты • Соленость – галофиты • Кислотность воды • Кислород • Магнитное поле Земли • Почва (условно)	• Симбиоз (+/+) – комменсализм ○ Нахлебничество ○ Квартиранство – протокооперация (+/+ но не обязательно для участников) – мутуализм (+/+) • Антибиоз – хищничество (+/-) – паразитизм (+/- используют как питание и местообитание) – конкуренция (-/-) – аменсализм (+/0) • Нейтрализм (0/0)	• Собирательство • Охота и рыболовство • Земледелие • Добыча полезных ископаемых • Урбанизация • Освоение космоса • Загрязнения: – химическое – биологическое – радиоволновое – шумовое – световое и др.

Рисунок 4 – Экологические факторы

По А. С. Мончадскому, экологический фактор – любой элемент или условие среды, на которые организмы реагируют приспособительными реакциями, или адаптациями. Подобное определение исключает такие элементы, как высота над уровнем моря или глубина в водоемах. Действие высоты осуществляется через температуру, инсоляцию (количество лучистой энергии, получаемой поверхностью

Земли), атмосферное давление; точно так же глубина влияет на водных обитателей через увеличение давления и уменьшение освещенности.

Экологические факторы принято подразделять:

- на абиотические – это комплекс условий неорганической среды, влияющих на организм;
- биотические – это совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие;
- антропогенные – это совокупность воздействия деятельности человека на окружающую среду.

Большинство факторов качественно и количественно изменяются во времени. Например, климатические: в течение суток, сезона, по годам (температура, освещенность и др.).

Факторы, изменение которых во времени повторяются регулярно, называются периодическими (приливы и отливы, некоторые океанические течения). Факторы, возникающие неожиданно (извержение вулкана, нападение хищника и т. п.) – непериодические. К ним относятся:

- климатические факторы (ветер, грозы, пожары);
- человеческая деятельность;
- вселение несвойственных данному сообществу хищников, паразитов и патогенных организмов.

2.2. Общие закономерности действия экологических факторов на организмы

Распространение организмов от одной экосистемы к другой и от одной части экосистемы к ее другой части определяется различными факторами. Для экологии представляет интерес реакция организмов на факторы среды. Для разных видов условия, в которых они особенно хорошо себя чувствуют, неодинаковы. Например, некоторые растения предпочитают очень влажную почву, другие – относительно сухую. Одни требуют высокой температуры, другие лучше переносят пониженную.

Влияние факторов на живое характеризуется некоторыми количественными и качественными закономерностями.

Правило оптимума. В соответствии с этим правилом для экосистемы, организма или определенной стадии его развития имеется диапазон наиболее благоприятного (оптимального) значения фактора. Для каждого вида растений и животных характерны определенные кардинальные точки воздействия фактора: минимальная, максимальная и оптимальная. За пределами зоны оптимума лежат зоны угнетения, переходящие в критические точки, за которыми существование невозможно. К зоне оптимума обычно приурочена максимальная плотность популяции. Зоны оптимума для различных организмов неодинаковы.

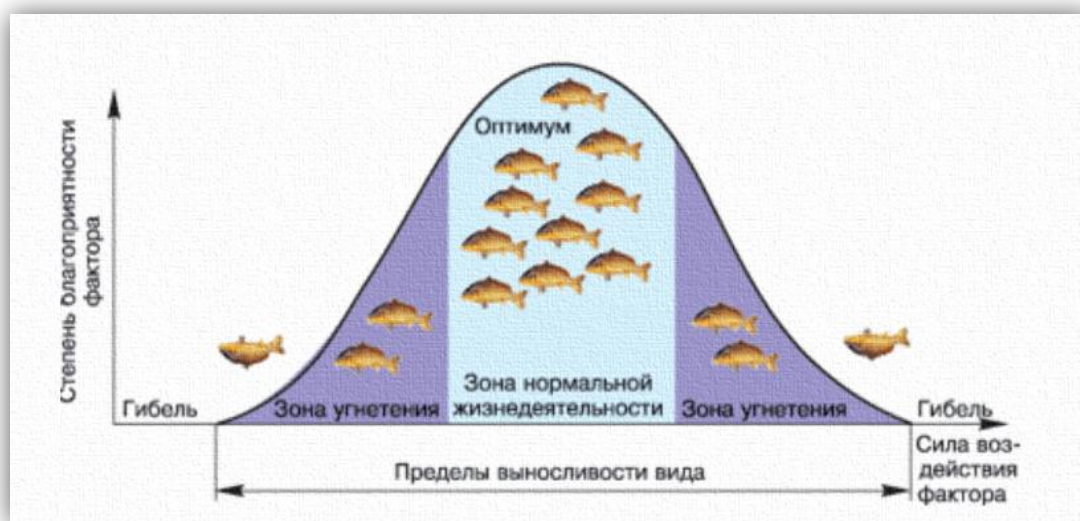
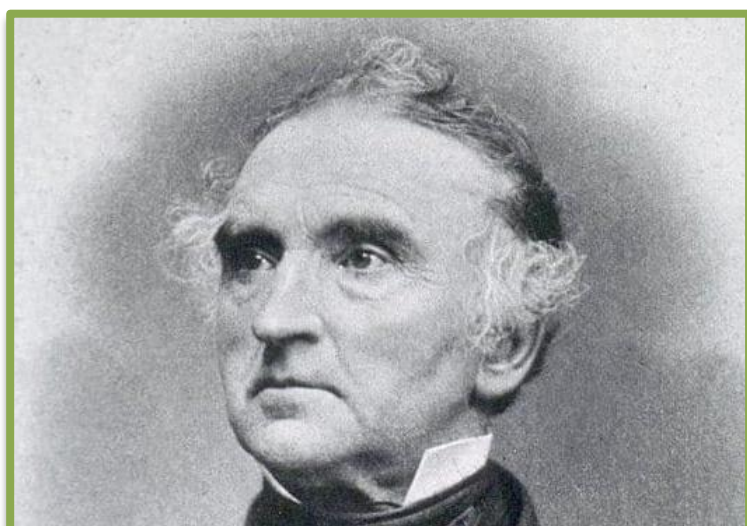


Рисунок 5 – Зависимость результата действия экологического фактора от его интенсивности

Свойство видов адаптироваться к тому или иному диапазону факторов среды обозначается понятием экологическая валентность (экологическая пластичность).

Экологически непластичные, т. е. маловыносливые виды, организмы с узким диапазоном адаптаций к факторам называются – стенобионтными (греч. *stenos* – узкий), более выносливые – эврибионтами (греч. *eurus* – широкий). Фактор, уровень которого в качественном или количественном отношении (недостаток или избыток) оказывается близким к пределам выносливости данного организма, называется ограничивающим или лимитирующим. Именно от него и зависит в данный конкретный период выживание особей. В другие отрезки времени ограничивающими могут стать другие факторы, и в течение жизни организмы встречаются с самыми разными ограничениями своей жизнедеятельности.



**Юстус фон
Либих**
(1803 – 1873)
немецкий ученый,
один из
основателей
агрохимии,
автор закона
минимума
Либиха

Рисунок 6 – Юстус Либих

Понятие о лимитирующих факторах было введено в 1840 г. немецким химиком Ю. Либихом. Изучая влияние на рост растений содержания различных химических элементов в почве, он сформулировал принцип: «Веществом, находящимся в минимуме, управляется урожай и определяется величина и устойчивость последнего во времени». Этот принцип известен под названием правила, или закона минимума Либиха: жизнедеятельность организмов лимитируется тем фактором, значение которого ближе всего к минимально допустимому. Лимитирующим фактором может быть не только недостаток, на что указывал Либих, но и избыток таких факторов, как тепло, свет и вода.

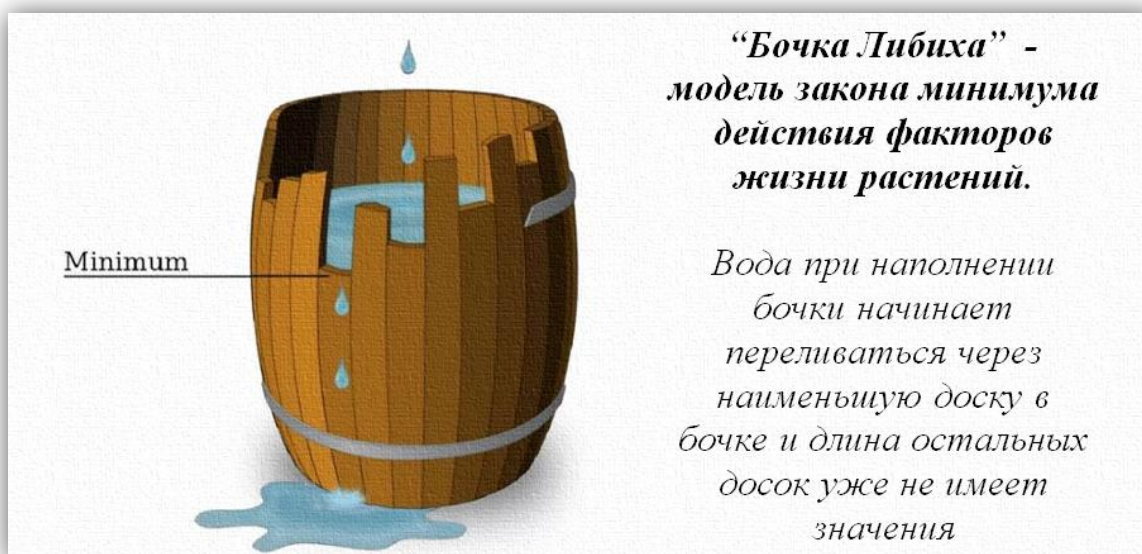


Рисунок 7 – Бочка Либиха

Представление о лимитирующем влиянии максимума наравне с минимумом ввел В. Шелфорд (1913), сформулировавший **закон толерантности**: лимитирующее действие фактор может оказывать, находясь в значениях, близких как к необходимому минимуму, так и к необходимому максимуму.



**Шелфорд Виктор
Эрнест**
(1877 – 1968)
американский
ученый,
специалист в
области экологии,
автор закона
толерантности
Шелфорда

Рисунок 8 – Виктор Эрнест Шелфорд

Закон толерантности позднее был дополнен Юджином Одумом (1913–2002 гг.) – американским биологом и экологом, иногда называемым «отцом современной экологии», следующими положениями:

- организмы могут иметь широкий диапазон толерантности в отношении одного экологического и низкий в отношении другого;
- организмы с широким диапазоном толерантности ко всем факторам обычно наиболее широко распространены;
- если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для вида, то может сузиться и диапазон толерантности к другим экологическим факторам;
- период размножения является обычно критическим; в этот период многие факторы среды часто становятся лимитирующими (более узкие пределы толерантности для яиц, проростков, личинок и т. д., следовательно, распространение вида часто ограничивается этими стадиями).



Юджин Одум
(1913 - 2002)
американский
ученый, биолог и
эколог иногда
называемый
"отцом
современной
экологии"

Рисунок 9 – Юджин Одум

Деление всех живых организмов на эврибионтов и стенобионтов относительно, так как на каждый из них действует не отдельно взятый, а весь комплекс факторов, связанных между собой. Это влияние подчиняется нескольким наиболее общим закономерностям:

- закон совокупного действия факторов (Митчерлих – Тиннеман – Баули 1909–1918гг.) – воздействие на организм, ведущее к адаптации в изменившихся условиях среды, определяется совокупностью связанных между собой значимых экологических факторов;
- правило взаимодействия факторов (Рюбель, 1930 г.) – при определенных условиях при взаимодействии двух или нескольких факторов, приблизительно равных по качеству, организм способен выбирать из них наиболее значимый в данный момент, основывая на его значениях свою ответную реакцию. Надо учитывать, что одинаковые значения одного и того же экологического фактора могут оказывать неодинаковое по степени действие на различные системы одного организма;
- закон относительной независимости адаптации – высокая адаптация к одному экологическому фактору не дает такой же степени адаптации к другому фактору. В какой-то мере она может действовать как антагонист, снижая толерантность и абсолютную величину частной функции отклика;

- закон незаменимости фундаментальных факторов (Вильямс, 1949 г.) – наиболее физиологически значимые (фундаментальные) факторы при их полном отсутствии в природной среде обитания организма не могут быть заменены никакими другими.

С законами оптимума и минимума постоянно сталкивается практика сельского хозяйства. Например, рост и развитие пшеницы, а следовательно, и получение урожая постоянно ограничиваются то критическими температурами, то недостатком или избытком влаги, то нехваткой минеральных удобрений, а иногда и такими катастрофическими воздействиями, как град и бури. Требуется много сил и средств, чтобы поддерживать оптимальные условия для посевов, и при этом в первую очередь компенсировать или смягчать действие именно ограничивающих факторов.

2.3. Адаптация живых организмов к экологическим факторам

Адаптации (лат. приспособление) – эволюционно выработанные и наследственно закрепленные особенности живых организмов, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность в условиях динамичных экологических факторов. Другими словами, это процесс приспособления организма к определенным условиям окружающей среды. Любой живой организм может обитать лишь там, где режимы экологических факторов соответствуют необходимым условиям. Особи, не приспособленные к данным или изменяющимся условиям, вымирают.

В процессе приспособления к неблагоприятным условиям среды организмы смогли выработать три основных пути нейтрализации последних: активный, пассивный путь и избегание.

- **Активный путь** – это путь, способствующий усилению сопротивляемости, развитию регуляторных процессов, которые позволяют осуществить все жизненные функции организмов, несмотря на факторы. Так, теплокровные животные – птицы и млекопитающие, обитая в условиях изменчивой температуры, поддерживают внутри себя постоянную температуру, которая оптимальна для биохимических процессов в клетках тела. Вполне очевидно, что такое активное сопротивление влиянию внешней среды требует больших затрат энергии, которую им надо постоянно восполнять, а также специальных приспособлений во внешнем и внутреннем строении организмов.

- **Пассивный путь** связан с подчинением жизненных функций организма изменению факторов среды. Так, при недостатке тепла это приводит к угнетению жизнедеятельности и понижению уровня метаболизма, что способствует экономному использованию энергетических запасов.

При резком ухудшении условий среды организмы разных видов могут приостанавливать свою жизнедеятельность и переходить в состояние так называемой скрытой жизни. Например, некоторые мелкие организмы могут полностью высыхать на воздухе, а затем возвращаться к активной жизни после пребывания в воде.

Зимовка – впадение в спячку на зимний период (гибернация) – состояние, подобное сну, в которое впадает животное к началу зимы в основном в умеренных и высоких широтах; при этом все жизненные процессы сведены к минимуму. Так, зимняя спячка у млекопитающих (сурок, бурундук, бурый медведь, летучие мыши, ежи и др.) длится с осени до весны (6–8 месяцев). Эти животные способны понижать температуру своего тела почти до нуля, замедляя метаболизм и, тем самым, трату питательных веществ. Во время спячки температура тела падает до 3–4°C, число сердечных сокращений – до 4–20 (в активном состоянии – 500–700), число дыхательных движений – до 2–3 (вместо 100–150) и т. д. Во время спячки у животных отмечается особый вид пищевого поведения: длительное голодание при отсутствии чувства голода, существование механизма поддержания веса тела. Все системы организма во время гибернации работают четко и согласованно. Пробуждение от спячки – кратковременный стремительный процесс: за три часа температура тела животного повышается до 37 °C, потребление кислорода возрастает в 100–150 раз. Из безжизненного животное быстро превращается в активное, используя лишь собственные ресурсы.

Спячка летняя (эстивация) – неактивное состояние, подобное сну (летний покой) некоторых животных в аридных районах, помогающее им пережить сухой и жаркий период года. Сюда также можно отнести летнее оцепенение пойкилотермных животных (клещей, некоторых насекомых и др.).

Самые известные животные, впадающие в летнюю спячку, – это африканские протоптеры. Эти рыбы – бурый протоптер (*Protopterus annectens*) и темный протоптер (*Protopterus dolloi*), обычно обитают в болотах и реках. Во время жары водоемы могут полностью высыхать

и оставаться пересохшими на протяжении многих месяцев. С началом засухи протоптеры в мягком иле, или на дне водоема, роют норку, заканчивающуюся широкой камерой. Там рыба остается до тех пор, пока уровень воды не достигнет входа в норку. После этого вход в норку запечатывается пористой, пропускающей воздух земляной пробкой. Теперь даже без воды протоптеры не погибнут, так как быстро выделяют вокруг себя большое количество густой слизи, которая, затвердевая, образует внутри камеры защитный кокон. Используя проходящий в камеру воздух, протоптеры могут дышать и, если это необходимо, оставаться погребенными в этом состоянии многие месяцы. Учеными отмечен случай, когда живые рыбы были выкопаны и извлечены из слизистых коконов, — они пролежали в них без доступа воды более четырех лет. Протоптеры были, конечно, истощены, но живы. Как только заканчивается засуха и в новый сезон дождей болота наполняются водой, бурый протоптер просыпается, выбирается из кокона и начинает нормально питаться.



Рисунок 10 – Протоптер в норе

Анабиоз (от греч. — оживление) — способность организмов переживать неблагоприятное время (изменение температуры окружающей среды, отсутствие влаги и др.) в состоянии, при котором резко снижается обмен веществ и отсутствуют видимые проявления жизни. При наступлении благоприятных условий организм оживает. Явление анабиоза впервые было обнаружено А. Левенгуком (1701 г.). С анабиозом много общего имеет зимняя (при замерзании) и летняя (при

обезвоживании) спячка животных. Однако для анабиоза характерно более глубокое подавление жизнедеятельности организма. Например, скрытая жизнь семян многих растений, сохраняющих всхожесть порой десятки лет. Анабиоз наблюдается у бактерий, беспозвоночных, земноводных, пресмыкающихся и др. Так, некоторые организмы (коловратки, нематоды, тихоходки) способны выносить высыхание вплоть до полной потери влаги. При этом совершенно прекращается обмен веществ и организмы впадают в состояние полного анабиоза. Однако они способны восстановить активную жизнедеятельность при условии увлажнения и при соответствующей температуре окружающей среды. В состоянии анабиоза некоторые виды бактерий, не теряя своей жизнедеятельности, могут выносить охлаждение до -25°C .

Явление, при котором имеет место временный физиологический покой в индивидуальном развитии некоторых животных и растений, обусловленный неблагоприятными факторами внешней среды, называется диапаузой.

Избегание неблагоприятных воздействий – это выработка организмом таких жизненных циклов, при которых наиболее уязвимые стадии его развития завершаются в самые благоприятные по температурным и другим условиям периоды года.

Обычный для животных путь приспособления к неблагоприятным периодам – миграция. Так, сайгаки ежегодно уходят на зиму в малоснежные южные полупустыни, где зимние травы в связи с сухостью климата более питательны и доступны. Однако летом травостой полупустынь быстро выгорают, поэтому на период размножения сайгаки переходят во влажные северные степи.

Наиболее часто приспособление вида к среде осуществляется определенным сочетанием всех трех возможных путей адаптации.

2.4. Виды адаптации к факторам среды

Морфологические адаптации – это наличие таких особенностей внешнего строения, которые способствуют выживанию и успешной жизнедеятельности организмов в обычных для них условиях. Это, в частности, приспособления к скоростному плаванию у китообразных, к парению в воде у планктонных организмов. Растения, обитающие в пустыне, лишены листьев, и их строение наилучшим образом приспособлено к минимальным потерям влаги.

Для некоторых рыб мелководья яркий свет становится средством защиты благодаря их прозрачности. Хотя скелет и внутренние

органы стеклянного сома светонепроницаемы, тело рыбы почти все прозрачно. Поэтому хищник, прямо смотрящий на сома, при обычных обстоятельствах увидит лишь испещренные солнечными пятнами подводные заросли позади него. Некоторые насекомые в ходе эволюции также стали прозрачными.



Рисунок 11 – Примеры прозрачности организмов

Приспособительная окраска является одним из важных средств пассивной защиты организмов. Многие животные средних и высоких широт зимой имеют белую окраску (песец, заяц, горностай). Броские полосы тигра, создающие так называемую расчленяющую окраску, представляют собой форму маскировки, которая помогает огромной кошке во время охоты затаиться в высоких травах.



Рисунок 12 – Примеры приспособительной окраски

Морфологический тип приспособления животного или растения, при котором они имеют внешнюю форму, отражающую способ взаимодействия со средой обитания, называют жизненной формой вида. При этом разные виды будут иметь сходную жизненную форму, если ведут близкий образ жизни. Примерами здесь могут быть кит (млекопитающее), пингвин (птица) и акула (рыба).

Физиологические адаптации проявляются, например, в особенностях ферментативного набора в пищеварительном тракте животных, определяемого составом пищи. Например, борьба с перегревом путем увеличения испарения, борьба с охлаждением у пойкилотермных животных путем частичного обезвоживания своего тела или накопления специальных веществ, понижающих точку замерзания, у гомойотермных – за счет изменения обмена веществ. Так, верблюд способен обеспечивать потребности во влаге путем биохимического окисления собственного жира.

Поведенческие адаптации – это выработанные в процессе эволюции особенности поведения, позволяющие приспособиться и выжить в определенных условиях среды. Они проявляются в самых различных формах. Примерами могут служить формы приспособительного поведения животных, направленные на обеспечение нормального теплообмена с окружающей средой: создание убежищ, передвижение с целью выбора оптимальных температурных условий, особенно в условиях экстремальных (очень высоких или очень низких) температур. Известны суточные и сезонные кочевки млекопитающих и птиц. Приспособительное поведение может проявляться у хищников в процессе выслеживания и преследования добычи, а жертв – в определенных ответных реакциях (например, затаивание). Некоторые насекомые отпугивают хищников и паразитов резкими движениями.

Мимикрия (от греч. – подражатель). – термин, введенный в зоологию Генри Уолтером Бейтсом для обозначения некоторых особых случаев чрезвычайного внешнего сходства между различными видами животных, принадлежащих к различным родам и даже семействам и отрядам. В узком смысле мимикрия – это сходство между двумя (и более) видами организмов, которое выработалось в ходе эволюции как защитное у одного или обоих видов. В широком смысле этим термином нередко обозначают резко выраженные случаи подражательной окраски и сходства животных с неодушевленными предметами.

Так, морской дракон, обитающий в водах у берегов Австралии, имеет совершенную маскировку. Плавники в форме листьев делают его похожим на плывущее растение; и он даже двигает ими, как колыхающееся в струе течения водное растение.



Рисунок 13. Мимикрия (гусеница и морской дракон)

Контрольные вопросы

1. Что понимается под экологическим фактором? Приведите классификации факторов по известным Вам принципам. Какие факторы являются наиболее трудными для адаптации к ним организмов?
2. В чем состоит общая закономерность влияния экологических факторов на живые организмы? Как проявляется акклиматизация? Каково ее значение в расселении организмов?
3. Перечислите общие закономерности действия факторов среды на организмы. Раскройте сущность и значение.
4. Назовите три основных способа приспособления (адаптации) организмов к неблагоприятным условиям среды.
5. Какие адаптации называют морфологическими, физиологическими, поведенческими?
6. Приведите свои примеры адаптации как из мира животных, так и растений.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СРЕД ЖИЗНИ

3.1. Водная среда

Водная среда (гидросфера) занимает 71 % площади земного шара. Более 98 % воды сосредоточено в морях и океанах, 1,24 % – льды полярных областей, 0,45 % – пресные воды рек, озер, болот.

В Мировом океане различают две экологические области: толщу воды – пелагиаль, и дно – бенталь. В зависимости от глубины бенталь (рис. 14) делится на сублиторальную зону – область плавного понижения до глубины 200 м, батимальную – область крутого склона, абиссальную – океаническое ложе со средней глубиной 3–6 км. Более глубокие области бентали (6–10 км) – ультраабиссаль. Кромка берега, заливаемая во время приливов – литораль. Часть берега выше уровня приливов, увлажняемая брызгами прибоя – супралитораль.

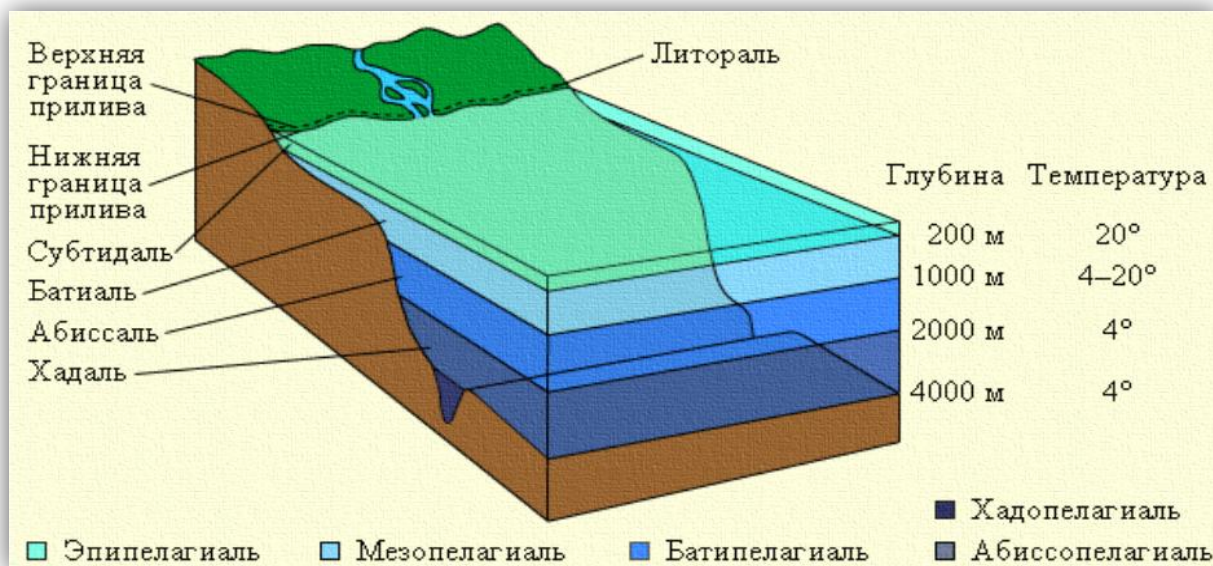


Рисунок 14 – Вертикальная поясность в Мировом океане

Обитатели водной среды, называются **гидробионтами**. В ней обитает примерно 150 000 видов животных, или около 7 % от их общего количества, и 10 000 видов растений – 8 %.

Пелагиаль заселяют организмы, подразделяющиеся на нектон и планктон.

Нектон (от греч. *nektos* – плавающий) – это совокупность пелагических активно передвигающихся животных, не имеющих непосредственной связи с дном. В основном это крупные животные, способные преодолевать большие расстояния и сильные водные течения.

Для них характерна обтекаемая форма тела и хорошо развитые органы движения (рыбы, кальмары, ластоногие, киты) (рис. 15). В пресных водах к nekтону, кроме рыб, относят земноводных и активно перемещающихся насекомых.

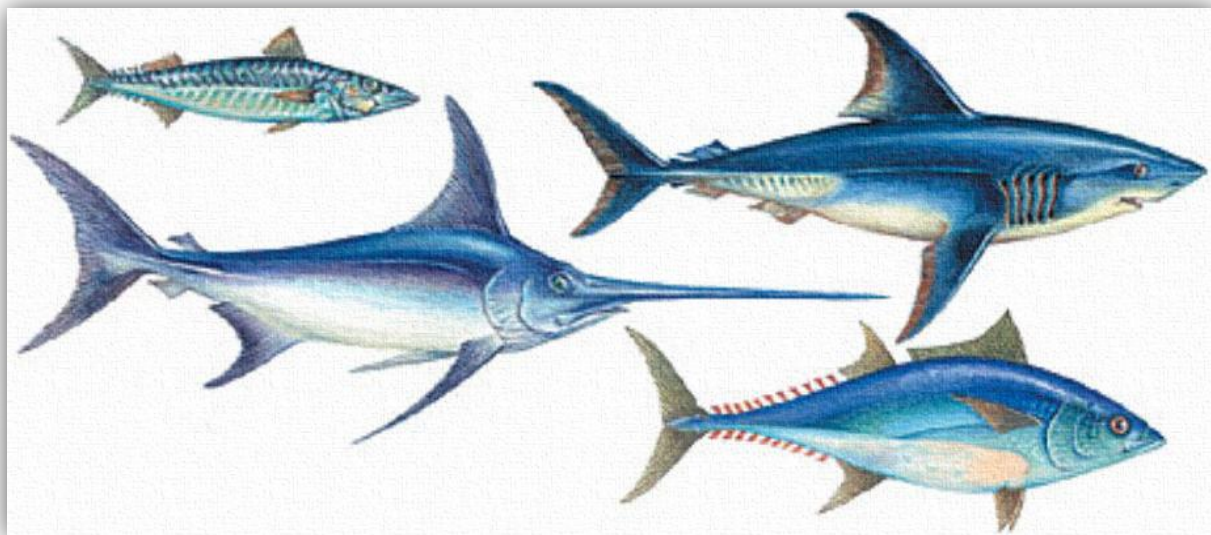


Рисунок 15 – Быстроплавающие рыбы: скумбрия, меч-рыба, акула, тунец

Планктон (от греч. *planktos* – блуждающий, парящий) – это совокупность пелагических организмов, не обладающих способностью к быстрым активным передвижениям. Подразделяются на фитопланктон (диатомовые и зеленые водоросли) и зоопланктон (мелкие ракообразные, простейшие – фораминиферы, радиолярии; медузы, крылоногие моллюски).



Рисунок 16 – Капля морской воды под микроскопом

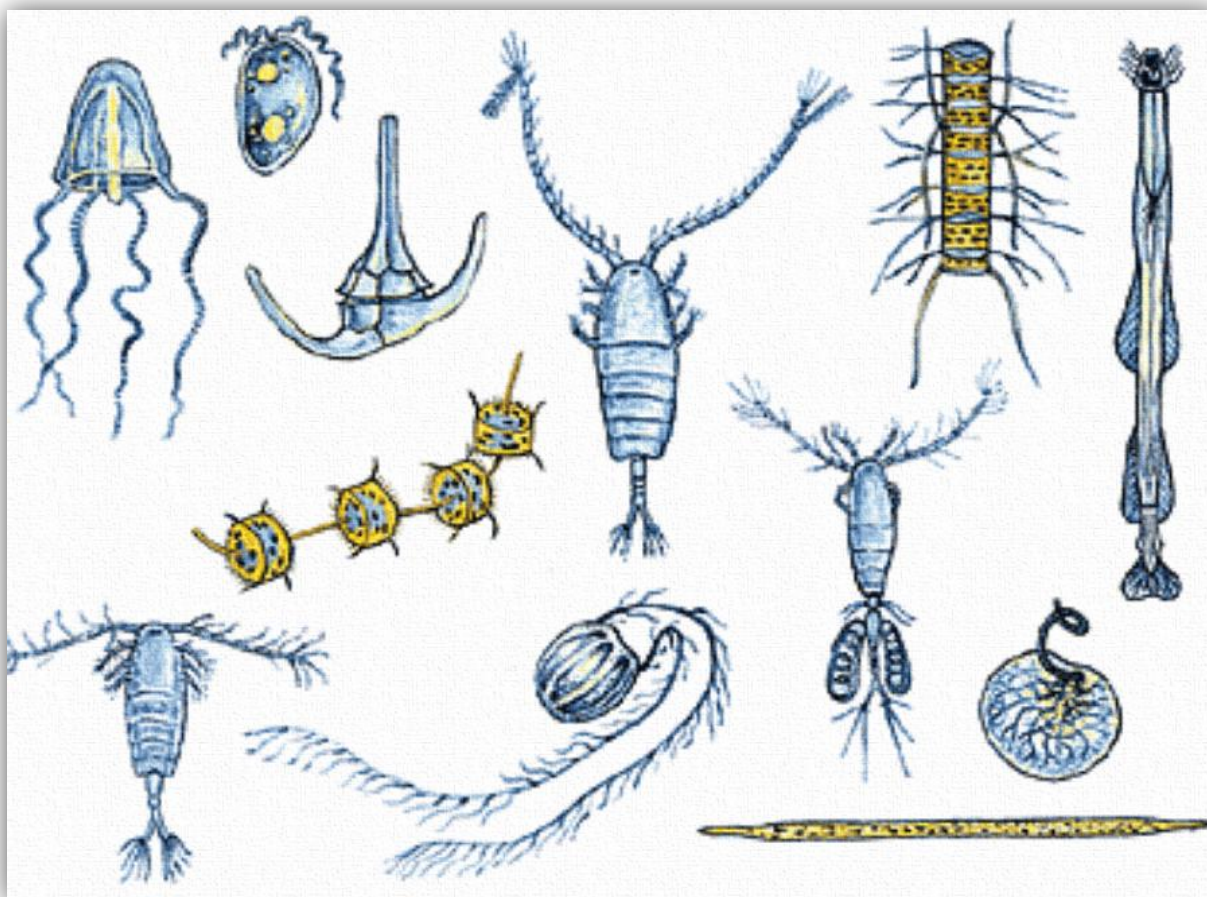


Рисунок 17 – Разнообразные организмы, составляющие морской планктон: водоросли, ночесветки, мелкие ракообразные, медузы, гребневика, сагитты

Нейстон (от греч. *neustos* – плавающий) – совокупность микроорганизмов (в основном различных водорослей и мелких беспозвоночных), живущих у поверхностной пленки воды на границе водной и воздушной сред (в так называемой «нейстали»). Выделяют эпинейстон, объединяющий организмы, живущие на поверхности воды и гипонейстон, куда входят организмы, прикрепляющиеся к поверхностной пленке снизу, либо обитающие в воде не глубже нескольких миллиметров от поверхности.

Нейстонные пленки образуются, как правило, в стоячих водоемах (озера, болота, лужи, канавы и т. п.), но могут появляться и в больших водоемах на сравнительно малой площади спокойной воды (без волн). Обитатели нейстона нередко размножаются в такой массе, что становятся видны невооруженным глазом, при этом количество организмов на 1 мм² площади поверхности может достигать нескольких десятков тысяч. Здесь обитают личинки десятиногих, усоногих,

веслоногих ракообразных, брюхоногих и двустворчатых моллюсков, иглокожих, рыб. Проходя личиночную стадию, они покидают поверхностный слой, служивший им убежищем, перемещаются жить на дно или пелагиаль.



Рисунок 18 – Представители нейстона

Плейстон (от греч. *plein* – плавать на корабле) – это организмы, у которых верхняя часть тела растет над водой, а нижняя – в воде (ряска – *Letta*, сифонофоры и др.).



Рисунок 19 – Представители плейстона (физалия, ряска)

Бентос (от греч. *benthos* – глубина) – совокупность организмов, обитающих на дне водоемов. Представлен в основном прикрепленными или медленно передвигающимися животными (зообентос: фораминиферы, рыбы, губки, кишечнополостные, черви, плеченогие моллюски, асцидии, и др.), более многочисленными на мелководье. На мелководье в бентос входят и растения (фитобентос: диатомовые, зеленые, бурые, красные водоросли, бактерии). На глубине, где нет света, фитобентос отсутствует. У побережий встречаются цветковые растения zostера, рупия. Наиболее богаты фитобентосом каменистые участки дна.



Рисунок 20 – Коралловые рифы

В озерах зообентос менее обилен и разнообразен, чем в море. Его образуют простейшие (инфузории, дафнии), пиявки, моллюски, личинки насекомых и др. Фитобентос озер образован свободно плавающими диатомеями, зелеными и сине-зелеными водорослями; бурые и красные водоросли отсутствуют.

Укореняющиеся прибрежные растения в озерах образуют четко выраженные пояса, видовой состав и облик которых согласуются с условиями среды в пограничной зоне «суша-вода». В воде у самого берега растут гидрофиты – полупогруженные в воду растения (стрелолист, белокрыльник, камыши, рогоз, осоки, трищетинник, тростник). Они сменяются гидатофитами – растениями, погруженными в

воду, но с плавающими листьями (лотос, ряски, кубышки, чилим, такла) и – далее – полностью погруженными (рдесты, элодея, хара). К гидатофитам относятся и плавающие на поверхности растения (ряска).

Абиотические факторы водной среды

В жизни водных организмов большую роль играют вертикальное перемещение воды, плотность, температурный, световой, солевой, газовый (содержание кислорода и углекислого газа) режимы, концентрация водородных ионов (рН).

Температурный режим отличается в воде, во-первых, меньшим притоком тепла, во-вторых, большей стабильностью, чем на суше. Часть тепловой энергии, поступающей на поверхность воды, отражается, часть расходуется на испарение. Испарение воды с поверхности водоемов, при котором затрачивается около 2 263,8 Дж/г, препятствует перегреванию нижних слоев, а образование льда, при котором выделяется теплота плавления (333,48 Дж/г), замедляет их охлаждение. Изменение температуры в текущих водах следует за ее изменениями в окружающем воздухе, отличаясь меньшей амплитудой.

В озерах и прудах умеренных широт термический режим определяется хорошо известным физическим явлением – вода обладает максимальной плотностью при 4 °С. Вода в водоемах четко делится на три слоя:

- **эпилимнион** – верхний слой, температура которого испытывает резкие сезонные колебания;
- **металимнион** – переходный, слой температурного скачка, отмечается резкий перепад температур;
- **гиполимнион** – глубоководный слой, достигающий до самого дна, где температура в течение года изменяется незначительно.

Летом наиболее теплые слои воды располагаются у поверхности, а холодные – у дна. Данный вид послойного распределения температур в водоеме называется прямой стратификацией. Зимой, с понижением температуры, происходит обратная стратификация: поверхностный слой имеет температуру, близкую к 0 °С, на дне температура около 4 °С, что соответствует максимальной ее плотности. Таким образом, с глубиной температура повышается. Это явление, называемое температурной дихотомией, наблюдается в большинстве озер умеренной зоны летом и зимой. В результате температурной дихотомии нарушается вертикальная циркуляция – наступает период временного застоя – стагнация. Весной поверхностная вода вследствие нагрева-

ния до 4 °С становится более плотной и погружается вглубь, а на ее место с глубины поднимается более теплая вода. В результате такой вертикальной циркуляции в водоеме наступает гомотермия, т. е. на какое-то время температура всей водной массы выравнивается. С дальнейшим повышением температуры верхние слои становятся все менее плотными и уже не опускаются вниз – летняя стагнация. Осенью же поверхностный слой охлаждается, становится более плотным и опускается вглубь, вытесняя на поверхность более теплую воду. Это происходит до наступления осенней гомотермии. При охлаждении поверхностных вод ниже 4 °С они становятся менее плотными и опять остаются на поверхности. В результате прекращается циркуляция воды и наступает зимняя стагнация. В периоды стагнаций в толще воды образуется дефицит кислорода – летом в придонной части, а зимой и в верхней, вследствие чего в зимний период нередко происходят заморы рыбы.

В морской среде также существует термическая стратификация, определяемая глубиной. Выделяют следующие слои:

1. **Термосфера** – поверхностный слой толщиной до 400 м. Воды подвержены действию ветра, суточные колебания воды наблюдаются до 50-метровой глубины, а сезонные еще глубже. В экваториальной зоне среднегодовая температура поверхностных слоев составляет 26–27 °С, в полярной – около 0 °С.
2. **Постоянный термоклин** – промежуточный слой до глубины 1500 м; температура в нем опускается до 1–3 °С.
3. **Глубоководный слой** – характеризуется одинаковой температурой около 1–3 °С, за исключением полярных районов, где температура близка к 0 °С.

В целом же следует отметить, что амплитуда годовых колебаний температуры в верхних слоях океана не более 10–15 °С, в континентальных водах – 30–35 °С.

Таким образом, температурный режим водоемов характеризуется относительной стабильностью, среди гидробионтов, в большей мере, чем среди организмов суши, распространена stenothermность. Незначительные колебания температуры в ту или иную сторону сопровождаются существенными изменениями в водных экосистемах.

Примеры: биологический взрыв в дельте Волги из-за понижения уровня Каспийского моря – разрастание зарослей лотоса (*Nelumba*

kaspium), в южном Приморье – зарастание белокрыльником стариц рек (Комаровка, Илистая и др.), по берегам которых вырублена и сожжена древесная растительность.

Эвритермные виды встречаются в основном в мелких континентальных водоемах и на литорали морей высоких и умеренных широт, где значительны суточные и сезонные колебания.

Воде свойственна значительная плотность (в 800 раз) превосходит воздушную среду) и вязкость. В среднем в водной толще на каждые 10 м глубины давление возрастает на 1 атм.

Многие обитатели относительно стенобатны и приурочены к определенным глубинам. Только на литорали обитает кольчатый червь пескожил, моллюски – морские блюдечки. На больших глубинах при давлении не менее 400–500 атмосфер встречаются рыбы из группы удильщиков, головоногие моллюски, морские звезды.

Прозрачность и световой режим особенно сказываются на распространении растений: в мутных водоемах они обитают только в поверхностном слое. Световой режим обуславливается также закономерным убыванием света с глубиной из-за того, что вода поглощает солнечный свет. При этом лучи с разной длиной волны поглощаются неодинаково: быстрее всего красные, тогда как сине-зеленые проникают на значительные глубины. Цвет среды при этом меняется, постепенно переходя от зеленоватого до зеленого, голубого, синего, сине-фиолетового, сменяемого постоянным мраком. Соответственно этому с глубиной зеленые водоросли сменяются бурыми и красными, пигменты которых приспособлены к улавливанию солнечных лучей с разной длиной волны. С глубиной также закономерно меняется окраска животных. В поверхностных слоях воды обитают ярко и разнообразно окрашенные животные, тогда как глубоководные виды лишены пигментов. В сумеречной зоне обитают животные, окрашенные в цвета с красноватым оттенком, что помогает им скрываться от врагов, так как красный цвет в сине-фиолетовых лучах воспринимается как черный.

Поглощение света в воде тем сильнее, чем меньше ее прозрачность. Прозрачность характеризуется предельной глубиной, где еще виден специально опускаемый диск Секки (белый диск диаметром 20 см). В Саргассовом море диск Секки виден до глубины 66,5 м, в Тихом океане – до 59 м, в Индийском – до 50 м. Прозрачность рек не превышает 1–1,5 м. Отсюда и границы зон фотосинтеза сильно ко-

леблются в разных водоемах. В самых чистых водах зона фотосинтеза достигает глубины 200 м.

Соленость воды. Вода – прекрасный растворитель многих минеральных соединений. В результате природным водоемам свойствен определенный химический состав. Наибольшее значение имеют сульфаты, карбонаты, хлориды. Количество растворенных солей на 1 л воды в пресных водоемах не превышает 0,5 г, в морях и океанах – 35 г. Пресноводные растения и животные обитают в гипотонической среде, т. е. среде, в которой концентрация растворенных веществ ниже, чем в жидкостях тела и тканей. Из-за разницы в осмотическом давлении вне и внутри тела в организм постоянно проникает вода, и гидробионты пресных вод вынуждены интенсивно удалять ее. В связи с этим у них хорошо выражены процессы осморегуляции. У простейших – это достигается работой выделительных вакуолей, у многоклеточных – удалением воды через выделительную систему. Некоторые инфузории каждые 2 минуты выделяют количество воды, равное объему тела. Концентрация солей в жидкостях тела и тканей морских организмов изотонична концентрации растворенных солей в окружающей воде. Поэтому осморегуляторные функции у них не развиты в такой степени как у пресноводных организмов. Трудности осморегуляции являются одной из причин того, что многие морские растения и особенно животные не сумели заселить пресные водоемы. Типично морские и типично пресноводные виды не переносят значительных изменений солености воды – стеногалинные организмы. Эвригалинные гидробионты – пресноводный судак, лещ, щука, из морских организмов – семейство кефалевых.

В пресноводных водоемах кислотность воды, или концентрация водородных ионов, варьирует гораздо сильнее, чем в морских – от $\text{pH} = 3,7\text{--}4,7$ (кислые) до $\text{pH} = 7,8$ (щелочные). Кислотностью воды определяется во многом видовой состав растений гидробионтов. В кислых водах болот растут сфагновые мхи и живут в обилии раковинные корненожки, но нет моллюсков-беззубок (*Unio*), редко встречаются другие моллюски. В щелочной среде развиваются многие виды рдестов, элодея. Большинство пресноводных рыб живут в диапазоне pH от 5 до 9 и массово гибнут за пределами этих значений. Кислотность морской воды убывает с глубиной.

Газовый режим. Основными газами в водной среде являются кислород и углекислый газ.

Кислород – важнейший экологический фактор. Он поступает в воду из воздуха и выделяется растениями при фотосинтезе. Содержание его в воде обратно пропорционально температуре – с понижением температуры растворимость кислорода в воде (как и других газов) повышается. В слоях, сильно заселенных животными и бактериями, может создаваться дефицит кислорода из-за усиленного его потребления. Так, в мировом океане богатые жизнью глубины от 50 до 1000 м характеризуются резким ухудшением аэрации. Она в 7–10 раз ниже, чем в поверхностных водах, населенных фитопланктоном. Около дна водоемов условия могут быть близкими к анаэробным. Гольян, форель очень чувствительны к дефициту кислорода. Ерш, карась неприхотливы в этом отношении.

Углекислый газ растворяется в воде примерно в 35 раз лучше, чем кислород и концентрация его в воде в 700 раз больше, чем в атмосфере. Обеспечивает фотосинтез водных растений и участвует в формировании известковых скелетных образований беспозвоночных животных.

Адаптивные особенности водных растений. Способность водных растений поглощать влагу и минеральные соли непосредственно из окружающей среды отражается на их морфологической и физиологической организации. Для них характерно слабое развитие проводящей ткани и корневой системы. Если корень есть, то служит в основном для прикрепления к подводному субстрату (не выполняя функцию минерального питания и водоснабжения). В связи с этим корни лишены корневых волосков. Мощно развитые корневища у некоторых из них служат для вегетативного размножения и запасаания питательных веществ (кувшинки, кубышки, рдесты).

Из-за большой плотности воды у низших растений имеются специальные придатки, увеличивающие их поверхность и позволяющие им удерживаться во взвешенном состоянии; у высших растений слабо развивается механическая ткань. В их стеблях, листьях, корнях располагаются воздухоносные межклеточные полости, это увеличивает легкость и плавучесть, а также способствует смыванию внутренних клеток водой с растворенными в ней газами и солями. Гидатофиты в целом характеризуются большой поверхностью листьев при незначительном общем объеме растения. Это обеспечивает им интенсивный газообмен при недостатке растворенного в воде кислорода и других газов.

У ряда водных растений развита гетерофилия (разнолистность). Верхняя поверхность плавающих листьев плотная и кожистая с большим количеством устьиц. Это способствует лучшему газообмену с воздухом. На нижней стороне плавающих и на подводных листьях устьиц совсем нет. Погруженные в воду листья обычно очень тонкие, хлорофилл располагается в клетках эпидермиса. Это приводит к усилению процесса фотосинтеза в условиях слабого освещения.



Рисунок 21 – Пример гетерофилии (водяной лютик)

Защитное образование водных растений от вымывания из клеток минеральных солей – слизь, выделяемая специальными клетками и образование эндодермы в виде кольца из более толстостенных клеток. Характерно активное вегетативное размножение, развитие гидротории – вынос цветоносов над водой и распространение пыльцы, семян и спор поверхностными течениями.

Адаптивные особенности водных животных. У животных можно выделить анатомо-морфологические, физиологические и поведенческие адаптации. Животные, обитающие в толще воды, обладают прежде всего приспособлениями, увеличивающими их плавучесть и позволяющими им противостоять движению воды. Донные же организмы вырабатывают приспособления, которые препятствуют поднятию их в толщу воды или уменьшают плавучесть, что позволяет им удерживаться на дне.

У живущих в толще воды и активно плавающих животных тело имеет обтекаемую форму и смазано слизью, уменьшающей трение при передвижении. Развита приспособления для повышения плавучести.

чести: скопления жира в тканях, плавательные пузыри у рыб, воздухоносные полости у сифонофор. У простейших раковины обладают пористостью. У пассивно плавающих животных увеличивается удельная поверхность тела за счет выростов, шипов, придатков; тело уплощается, происходит редукция скелетных органов. Разные способы передвижения: изгибание тела, с помощью жгутиков, ресничек, реактивный способ передвижения (голомоллюски).

У придонных животных исчезает или слабо развит скелет, увеличиваются размеры тела, обычно редукция зрения, развитие осязательных органов.

Для животных, пассивно плавающих в толще воды, характерно не только уменьшение массы, но и увеличение удельной поверхности тела: уплощается тело, на нем образуются выросты, шипы. Активное плавание у животных: с помощью ресничек, жгутиков, изгибания тела, реактивным способом за счет выбрасываемой струи воды. Кальмары развивают скорость до 40–50 км/ч.

У крупных животных имеются специализированные конечности – плавники, ласты, тело имеет обтекаемую форму и покрыто слизью, что позволяет им развивать достаточно высокую скорость передвижения, преодолевая сопротивление воды.

Только в водной среде встречаются неподвижные, ведущие прикрепленный образ жизни животные: гидроидные, коралловые полипы, морские лилии, двустворчатые моллюски. Глубоководные животные отличаются специфическими чертами организации: исчезновение или слабое развитие известкового скелета, увеличение размеров тела, нередко – редукция органов зрения, усиление развития осязательных рецепторов и т. д. Известно около 300 видов рыб, которые способны генерировать электричество и использовать его для ориентации и сигнализации. Электрический скат, электрический угорь используют электрические поля для защиты и нападения.

Всем без исключения водным организмам свойственен наиболее древний способ ориентации – восприятие химизма среды. Хеморецепторы многих гидробионтов (лососей, угрей и др.) обладают чрезвычайной чувствительностью. В тысячекилометровых миграциях они с поразительной точностью находят места нерестилищ и нагула.

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

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

3.2. Наземно-воздушная среда

Наземно-воздушная среда обитания находится на поверхности земли и в нижних слоях атмосферы. Многие эукариоты обитают именно в этой среде. Здесь распространена большая часть животных, растений, некоторые грибы, простейшие и бактерии.

В ходе эволюции эта среда была освоена позже, чем водная. Жизнь на суше потребовала таких приспособлений, которые стали возможными только при сравнительно высоком уровне организации как растений, так и животных.

Организмы, обитающие в наземно-воздушной среде, окружены газообразной средой, характеризующейся низкими влажностью, плотностью и давлением, высоким содержанием кислорода. Как правило, животные в этой среде передвигаются по почве (твердый субстрат), а растения укореняются в ней. В наземно-воздушной среде действующие экологические факторы имеют ряд характерных особенностей: более высокая интенсивность света в сравнении с другими средами (см. табл. 2), значительные колебания температуры, изменение влажности в зависимости от географического положения, сезона и времени суток. Воздействие факторов, перечисленных выше, неразрывно связано с движением воздушных масс – ветра.

Таблица 2 – Условия обитания организмов воздушной и водной среды (по Д. Ф. Мордухай-Болтовскому, 1974)

Условие (фактор) обитания	Значение условий для организмов	
	воздушной среды	водной среды
Влажность	Очень важное (часто в дефиците)	Не имеет (всегда в избытке)
Плотность	Незначительное (за исключением почвы)	Большое по сравнению с ее ролью для обитателей воздушной среды
Давление	Почти не имеет	Большое (может достигать 1000 атм.)
Температура	Существенное (колеблется в очень больших пределах – от –80 до 100 °С и более)	Меньшее по сравнению со значением для обитателей воздушной среды (колеблется гораздо меньше, обычно от –2 до +40 °С)
Кислород	Несущественное (большой частью в избытке)	Существенное (часто в дефиците)
Взвешенные вещества	Неважное, не используются в пищу (главным образом минеральные)	Важное (источник пищи, особенно органические вещества)
Растворенные вещества в окружающей среде	В некоторой степени (имеют значение только в почвенных растворах)	Важное (в определенном количестве необходимы)

В процессе эволюции у живых организмов наземно-воздушной среды выработались характерные анатомо-морфологические, физиологические адаптации.

Особенности воздействия основных экологических факторов на растения и животных в наземно-воздушной среде.

Воздух как экологический фактор характеризуется постоянством состава – кислорода в нем обычно около 21 %, углекислого газа 0,03 %.

Низкая плотность воздуха определяет его малую подъемную силу и незначительную опорность. Все обитатели воздушной среды тесно связаны с поверхностью земли, служащей им для прикрепления и опоры. Плотность воздушной среды не оказывает высокого сопротивления организмам при их передвижении по поверхности земли, однако затрудняет перемещение по вертикали. Для большинства организмов пребывание в воздухе связано только с расселением или поиском добычи.

Малая подъемная сила воздуха определяет предельную массу и размеры наземных организмов. Самые крупные животные, обитающие на поверхности земли, меньше, чем гиганты водной среды. Крупные млекопитающие (размером и массой современного кита) не могли бы жить на суше, так как были бы раздавлены собственной тяжестью.

Малая плотность воздуха создает незначительную сопротивляемость передвижению. Экологические выгоды этого свойства воздушной среды использовали многие наземные животные в ходе эволюции, приобретая способность к полету. К активному полету способны 75 % видов всех наземных животных, преимущественно насекомые и птицы, но встречаются летуны и среди млекопитающих и рептилий.

Благодаря подвижности воздуха, существующим в нижних слоях атмосферы вертикальным и горизонтальным передвижениям воздушных масс возможен пассивный полет ряда организмов. У многих видов развита анемохория – расселение с помощью воздушных потоков (см. рис. 22). Анемохория характерна для спор, семян и плодов растений, цист простейших, мелких насекомых, пауков и т. д. Пассивно переносимые потоками воздуха организмы получили в совокупности название аэропланктона по аналогии с планктонными обитателями водной среды.

Основная же экологическая роль горизонтальных воздушных передвижений (ветров) – косвенная – заключается в усилении и ослаблении воздействия на наземные организмы таких важных экологических факторов, как температура и влажность. Ветры усиливают отдачу животными и растениями влаги и тепла.



Рисунок 22 – Семена и плоды растений, распространяемые ветром

Газовый состав воздуха. Приземный слой воздуха довольно однороден (кислород – 20,9 %, азот – 78,1 %, инертные газы – 1 %, углекислый газ – 0,03 % по объему) благодаря его высокой диффузионной способности и постоянному перемешиванию конвекционным и ветровым потоками. Однако различные примеси газообразных, капельно-жидких и твердых (пылевых) частиц, попадающих в атмосферу из локальных источников, могут иметь существенное экологическое значение.

Высокое содержание кислорода способствовало повышению обмена веществ у наземных организмов, и на базе высокой эффективности окислительных процессов возникла гомойотермия животных. Кислород из-за постоянно высокого его содержания в воздухе не является фактором, лимитирующим жизнь в наземной среде. Лишь местами, в специфических условиях, создается временный его дефицит, например, в скоплениях разлагающихся растительных остатков, запасах зерна, муки и т. д.

Содержание углекислого газа может изменяться в отдельных участках приземного слоя воздуха в значительных пределах. Например, при отсутствии ветра в центре больших городов его концентрация возрастает в десятки раз.

Эдафические факторы. Свойства грунта и рельеф местности также влияют на условия жизни наземных организмов, в первую очередь растений. Свойства земной поверхности, оказывающие экологическое воздействие на ее обитателей, объединяют названием эдафические факторы среды.

Характер корневой системы растений зависит от гидротермического режима, аэрации, сложения, состава и структуры почвы (рис. 23).

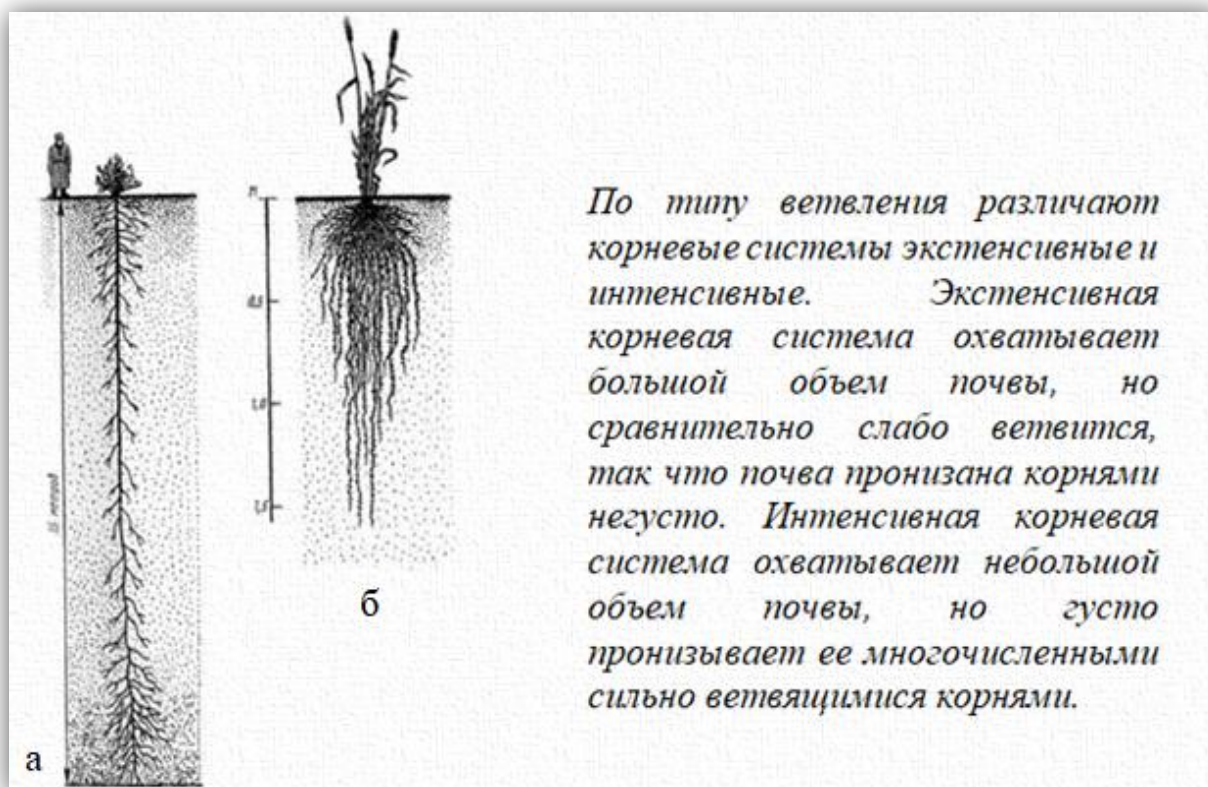


Рисунок 23 – Различные типы корневых систем: а – экстенсивный (верблюжья колючка), б – интенсивный (пшеница)

Например, корневые системы древесных пород (березы, лиственницы) в районах с многолетней мерзлотой располагаются на небольшой глубине и распростерты вширь. Там, где нет многолетней мерзлоты, корневые системы этих же растений менее распростерты и проникают вглубь. У многих степных растений корни могут доставать воду с большой глубины, в то же время у них много поверхностных корней в гумусированном горизонте почвы, откуда растения поглощают элементы минерального питания.

Рельеф местности и характер грунта влияют на специфику передвижения животных. Например, копытные, страусы, дрофы, живущие на открытых пространствах, нуждаются в твердом грунте для уси-

ния отталкивания при быстром беге. У ящериц, обитающих на сыпучих песках, пальцы окаймлены бахромкой из роговых чешуй, которая увеличивает поверхность опоры. Для наземных обитателей, роющих норы, плотные грунты неблагоприятны. Характер почвы в ряде случаев влияет на распределение наземных животных, роющих норы, зарывающих в грунт для спасения от жары или хищников либо откладывающих в почву яйца и т. д.

Погодные и климатические особенности. Условия жизни в наземно-воздушной среде осложняются, кроме того, погодными изменениями. Погода – это непрерывно меняющееся состояние атмосферы у земной поверхности, до высоты примерно 20 км (граница тропосферы). Изменчивость погоды проявляется в постоянном варьировании сочетании таких факторов среды, как температура и влажность воздуха, облачность, осадки, сила и направление ветра и т. п. Для погодных изменений наряду с закономерным чередованием их в годовом цикле характерны непериодические колебания, что существенно усложняет условия существования наземных организмов.

Климат местности. Многолетний режим погоды характеризует климат местности. В понятие климата входят не только средние значения метеорологических явлений, но также их годовой и суточный ход, отклонения от него и их повторяемость. Климат определяется географическими условиями района.

Зональное разнообразие климатов осложняется действием муссонных ветров, распределением циклонов и антициклонов, влиянием горных массивов на движение воздушных масс, степенью удаления от океана и многими другими местными факторами.

Для большинства наземных организмов, особенно мелких, важен не столько климат района, сколько условия их непосредственного местообитания. Очень часто местные элементы среды (рельеф, растительность и т. п.) так изменяют в конкретном участке режим температуры, влажности, света, движения воздуха, что он значительно отличается от климатических условий местности. Такие локальные модификации климата, складывающиеся в приземном слое воздуха, называют микроклиматом. В каждой зоне микроклиматы очень разнообразны. Можно выделить микроклиматы сколь угодно малых участков, например, венчиков цветков. Особый устойчивый микроклимат возникает в норах, гнездах, дуплах, пещерах и других закрытых местах.

Осадки. Помимо водообеспечения и создания запасов влаги, они могут играть и другую экологическую роль. Так, сильные ливневые дожди или град порой оказывают механическое воздействие на растения или животных.

Особенно многообразна экологическая роль снегового покрова. Суточные колебания температур проникают в толщу снега лишь до 25 см, глубже температура почти не изменяется. При морозах в $-20-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ под слоем снега в 30–40 см температура лишь ненамного ниже нуля. Глубокий снежный покров защищает почки возобновления, предохраняет от вымерзания зеленые части растений; многие виды уходят под снег, не сбрасывая листья, например ожика волосистая, вероника лекарственная и др.

Мелкие наземные звери ведут и зимой активный образ жизни, прокладывая под снегом и в его толще целые галереи ходов. Для ряда видов, питающихся подснежной растительностью, характерно даже зимнее размножение, которое отмечено, например, у леммингов, лесной и желтогорлой мыши, ряда полевок, водяной крысы и др. Тетеревиные птицы – рябчики, тетерева, тундровые куропатки – зарываются в снег на ночевку.

Крупным животным зимой снеговой покров мешает добывать корм. Многие копытные (северные олени, кабаны, овцебыки) питаются зимой исключительно подснежной растительностью, и глубокий снежный покров, а особенно твердая корка на его поверхности, возникающая в гололед, обрекают их на бескормицу. Глубина снежного покрова может ограничивать географическое распространение видов. Например, настоящие олени не проникают на север в те районы, где толща снега зимой более 40–50 см.

3.3. Почва как среда жизни

Земля – единственная из планет имеет почву (эдасфера, педосфера) – особенную, верхнюю оболочку суши. Эта оболочка сформировалась в исторически обозримое время – она ровесница сухопутной жизни на планете. Впервые на вопрос о происхождении почвы ответил М. В. Ломоносов: «Почва произошла от согнтия животных и растительных тел ... долгою времени...». А великий русский ученый В. В. Докучаев впервые назвал почву самостоятельным природным телом и доказал, что почва есть «...такое же самостоятельное естественно историческое тело, как любое растение, любое животное, любой минерал оно есть результат, функция совокупной, взаимной деятельности климата данной местности, ее растительных и животных орга-

низмов, рельефа и возраста страны..., наконец, подпочвы, т. е. грунтовых материнских горных пород. Все эти агенты-почвообразователи, в сущности, совершенно равнозначные величины и принимают равноправное участие в образовании нормальной почвы...».

И уже современный известный ученый почвовед Н. А. Качинский («Почва, ее свойства и жизнь», 1975) дает следующее определение: «Под почвой надо понимать все поверхностные слои горных пород, переработанные и измененные совместным воздействием климата (свет, тепло, воздух, вода), растительных и животных организмов».

Почва представляет собой рыхлый тонкий поверхностный слой суши, контактирующий с воздушной средой. Почва пронизана полостями, заполненными смесью газов и водными растворами (рис. 24), и поэтому в ней складывается чрезвычайно разнообразные условия, благоприятные для жизни множества микро- и макроорганизмов. Объем мелких полостей в почве – очень важная ее характеристика. В рыхлых почвах он может составлять до 70 %, а в плотной – около 20 % (рис. 24). Размеры полостей между частицами почвы, пригодные для обитания в них животных, обычно быстро уменьшаются с глубиной.

В этих порах и полостях или на поверхности твердых частиц обитает огромное множество микроскопических существ: бактерий, грибов, простейших, круглых червей, членистоногих. Более крупные животные сами прокладывают в почве ходы. Вся почва пронизана корнями растений. Глубина почвы определяется глубиной проникновения корней и деятельностью роющих животных. Она составляет не более 1,5–2 м.



Рисунок 24 – Структура почвы

В почве сглажены температурные колебания по сравнению с приземным слоем воздуха, а наличие грунтовых вод и проникновение осадков создают запасы влаги и обеспечивают режим влажности, промежуточный между водой и наземной средой. В почве концентрируются запасы органических и минеральных веществ, поставляемых отмирающей растительностью и трупами животных. Все это определяет большую насыщенность почвы жизнью. Неоднородность условий в почве резче всего проявляется в вертикальном направлении. С глубиной резко меняется ряд важнейших экологических факторов, влияющих на жизнь обитателей почвы. Прежде всего это относится к структуре почвы.

Независимо от типа почвы в ее профиле выделяют три основных горизонта, различающиеся по морфологическим и химическим свойствам (рис. 25):

1. Перегнойно-аккумулятивный горизонт А. В нем накапливается и преобразуется органическое вещество. После преобразования часть элементов из этого горизонта выносится с водой в нижележащие.

Этот горизонт наиболее сложный и важный из всего почвенного профиля по своей биологической роли. Он состоит из лесной подстилки – А₀, образованной наземным опадом (отмершая органика слабой степени разложенности на поверхности почвы).

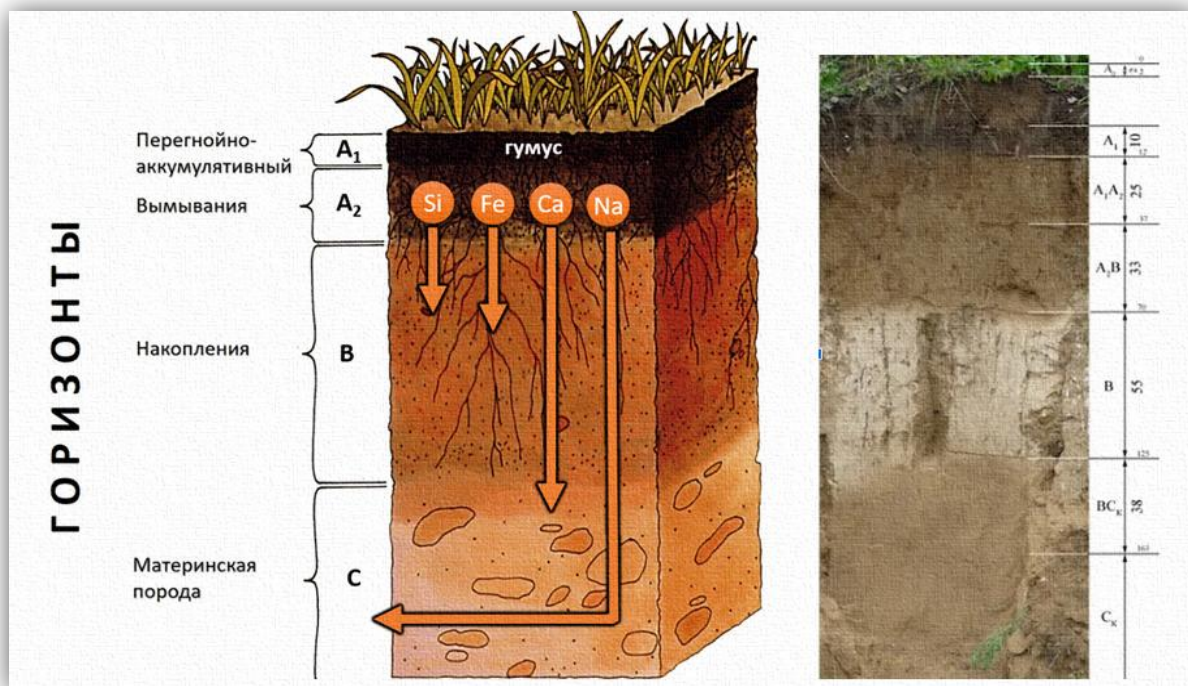


Рисунок 25 – Структура почвенного профиля

По составу и мощности подстилки можно судить об экологических функциях растительного сообщества, его происхождении, стадии развития. Ниже подстилки располагается темноокрашенный гумусовый горизонт – A1, образованный измельченными, разной степени разложения остатками растительной массы и массы животных. В деструкции остатков участвуют позвоночные животные (фитофаги, сапрофаги, копрофаги, хищники, некрофаги). По мере измельчения органические частицы поступают в следующий нижний горизонт – элювиальный (A2). В нем происходит химическое разложение гумуса на простые элементы.

2. Иллювиальный, или горизонт вымывания В. В нем оседают и преобразуются в почвенные растворы соединения, вынесенные из горизонта А. Это гуминовые кислоты и их соли, вступающие в реакцию с корой выветривания и усваиваемые корнями растений.

3. Материнская (подстилаящая) порода (кора выветривания), или горизонт С. Из этого горизонта – тоже после преобразования – минеральные вещества переходят в почву.

Вода (25–30 %) в почве представлена 4 типами: гравитационной, гигроскопической (связанной), капиллярной и парообразной.

1. Гравитационная – подвижная вода, занимает широкие промежутки между частицами почвы, просачивается вниз под собственной тяжестью до уровня грунтовых вод. Легко усваивается растениями.

2. Гигроскопическая, или связанная – адсорбируется вокруг коллоидных частиц (глина, кварц) почвы и удерживается в виде тонкой пленки за счет водородных связей. Освобождается от них при высокой температуре (102–105 °С). Растениям она недоступна, не испаряется. В глинистых почвах такой воды – до 15 %, в песчаных – 5 %.

3. Капиллярная – удерживается вокруг почвенных частиц силой поверхностного натяжения. По узким порам и каналам – капиллярам, поднимается от уровня грунтовых вод или расходится от полостей с гравитационной водой. Лучше удерживается глинистыми почвами, легко испаряется. Растения легко поглощают ее.

4. Парообразная – занимает все свободные от воды поры. Испаряется в первую очередь.

Осуществляется постоянный обмен поверхностных почвенных и грунтовых вод, как звено общего круговорота воды в природе, меняющий скорость и направление в зависимости от сезона года и погодных условий.

Состав почвенного воздуха изменчив. С глубиной в нем сильно падает содержание кислорода и возрастает концентрация углекислого газа. В связи с присутствием в почве разлагающихся органических веществ в почвенном воздухе может быть высокая концентрация таких токсичных газов, как аммиак, сероводород, метан и др. При затоплении почвы или интенсивном гниении растительных остатков местами могут возникать полностью анаэробные условия.

Колебания температуры резки только на поверхности почвы. Здесь они могут быть даже сильнее, чем в приземном слое воздуха. Однако с каждым сантиметром вглубь суточные и сезонные температурные изменения становятся все меньше и на глубине 1–1,5 м практически не прослеживаются.

Все эти особенности приводят к тому, что, несмотря на большую неоднородность экологических условий в почве, она выступает как достаточно стабильная среда, особенно для почвенных организмов. Крутой градиент влажности в почвенном профиле позволяет почвенным организмам путем незначительных перемещений обеспечить себе подходящую обстановку.

Почвенных обитателей в зависимости от их размеров и степени подвижности можно разделить на следующие группы:

1. Микробиота – это почвенные микроорганизмы, составляющие основное звено детритной пищевой цепи, представляют собой как бы промежуточное звено между растительными остатками и почвенными животными. Это зеленые и сине-зеленые водоросли, бактерии, грибы и простейшие. Это водные организмы, а почва для них – это система микроводоемов. Они живут в почвенных порах, заполненных гравитационной или капиллярной влагой, а часть жизни могут, как микроорганизмы, находиться в адсорбированном состоянии на поверхности частиц в тонких прослойках пленочной влаги.



Рисунок 26 – Почвенная микробиота

*(инфузория, азотфиксирующие бактерии *Rhizobium*)*

2. Мезобиота – это совокупность сравнительно мелких, легко извлекающихся из почвы, подвижных животных (почвенные нематоды, мелкие личинки насекомых, клещи и др.). Размеры представителей мезобиоты почв – от десятых долей до 2–3 мм. Для данной группы животных почва представляется как система мелких пещер. У них нет специальных приспособлений к рытью. Они ползают по стенкам почвенных полостей при помощи конечностей или червеобразно извиваясь. Насыщенный водяными парами почвенный воздух позволяет им дышать через покровы тела. Периоды затопления почвы водой животные переживают, как правило, в пузырьках воздуха. Воздух задерживается вокруг их тела из-за несмачиваемости покровов, снабженных у большинства из них волосками, чешуйками.



Рисунок 27 – Почвенная мезобиота (нематода и почвенный клещ (*Stratiolaelaps scimitus*))

Животные мезо- и микробиотипов способны переносить зимнее промерзание почвы, что особенно является важным, так как большинство из них не может уходить вниз из слоев, подвергающихся воздействию отрицательных температур.

3. Макробиота – это крупных почвенные животные, с размерами тела от 2 до 20 мм (личинки насекомых, многоножки, дождевые черви и др.). Они передвигаются в почве, расширяя естественные скважины путем раздвижения почвенных частиц либо роя новые ходы. Оба способа передвижения накладывают отпечаток на внешнее строение животных. Газообмен большинства видов данной группы осуществляется при помощи специализированных органов дыхания, но наряду с этим дополняется газообменом через покровы.



Рисунок 28 – Макробиота почв (многоножка и дождевой червь)

Роющие животные могут уходить из слоев, где возникает неблагоприятная обстановка. К зиме и в засуху они концентрируются в более глубоких слоях, большей частью в нескольких десятках сантиметров от поверхности.

4. Мегабиота – это крупные землерои, главным образом из числа млекопитающих. Многие из них проводят в почве всю жизнь (златокроты в Африке, слепушки, кроты в Евразии, сумчатые кроты в Австралии). Они прокладывают в почве целые системы ходов и нор. Приспособленность к роющему подземному образу жизни находит отражение во внешнем облике и анатомических особенностях этих животных: у них недоразвиты глаза, компактное вальковатое тело с короткой шеей, короткий густой мех, сильные компактные конечности с крепкими когтями (рис. 29).



Рисунок 29 – Мегабиота почв (медведка и крот)

Наиболее многочисленным и сложным составом живых организмов обладают верхние – органогенные слои-горизонты. В иллювиальном обитают только бактерии (серобактерии, азотфиксирующие), не нуждающиеся в кислороде.

Помимо постоянных обитателей почвы, среди крупных животных нередко выделяют отдельную экологическую группу обитателей нор (барсуки, сурки, суслики, тушканчики и др.) (рис. 30).



Рисунок 30 – Барсук и схема его норы

Они кормятся на поверхности, однако размножаются, зимуют, отдыхают, спасаются в почве.

По степени связи со средой обитания почвенные животные подразделяются на три основные экологические группы:

- **Геобионты** – постоянные обитатели почвы. Весь цикл их развития протекает в почвенной среде (например, дождевые черви).
- **Геофилы** – животные, часть цикла развития которых, чаще одна из фаз, обязательно происходит в почве (например, саранча).
- **Геоксены** – животные, иногда посещающие почву для временного укрытия или убежища (например, жуки, грызуны и млекопитающие, живущие в норах).

Особую группу представляют организмы, заселяющие сыпучие подвижные пески. Растения, адаптированные к таким местам обитания, называются псаммофитами, а животные – псаммофилами.

Растения, произрастающие на подвижных песках, исторически выработали ряд приспособлений. Так, древесные и кустарниковые псаммофиты (белый саксаул, песчаная акация) при засыпании их песком образуют придаточные корни. Придаточные почки и побеги развиваются на корнях, если растения обнажаются при выдувании песка. Некоторые псаммофиты спасаются от заноса песком быстрым ростом побегов, редукцией листьев. Большинство псаммофитов безлистные или имеют четко выраженную ксероморфную листву (листья жесткие с сизым восковым налетом, узкие и свернутые или блестящие и кожистые) и для сокращения транспирирующей поверхности. У псам-

мофитов развились специальные приспособления, увеличивающие летучесть и пружинистость плодов. Их плоды передвигаются вместе с движущимся песком и не засыпаются им.

К специфичным условиям жизни в сыпучих подвижных песках приспособлены и многие животные. У позвоночных псаммофилов конечности часто устроены в форме своеобразных «песчаных лыж», облегчающих передвижение по рыхлому грунту. У ящериц, живущих на песке, на пальцах развиваются роговые гребни. У тонкопалого суслика и гребнепалого тушканчика пальцы покрыты длинными волосами и роговыми выростами.

Птицы и млекопитающие песчаных пустынь способны преодолевать большие расстояния в поисках воды или длительное время обходиться без нее. Верблюды благополучно переносят отсутствие воды до 8–16 суток, обеспечивая организм необходимой влагой за счет окисления жиров. Некоторые животные во время засухи прячутся в норы, зарываются в песок или впадают в летнюю спячку.

В зонах недостаточного атмосферного увлажнения, в основном в степях и пустынях, широко распространены засоленные почвы. Это связано с тем, что в засушливом и жарком климате наблюдается неполное промывание почв осадками. В таких почвах преобладает восходящий ток воды, который приносит в верхние горизонты большое количество легкорастворимых солей, вредных для большинства растений и животных. Засоление почв может происходить и на низких побережьях морей и океанов, в местах выхода соленых источников и ключей.

Растения, обитающие на засоленных почвах, называются галофитами. Все они имеют очень высокое осмотическое давление, позволяющее им использовать почвенные растворы, поскольку сосущая сила корней превосходит сосущую силу почвенного раствора. Некоторые галофиты выделяют излишки солей через листья или накапливают их в своем организме. Типичными галофитами являются солерос, содовая и калийная солянки. Галофилы – это животные, адаптированные к жизни на засоленных почвах. В основном это беспозвоночные.

3.4. Живые организмы как среда

Многие виды гетеротрофных организмов в течение всей жизни или части жизненного цикла обитают в других живых существах, тела которых служат для них средой, существенно отличающейся по

свойствам от внешней. Использование одними живыми организмами других в качестве среды обитания – очень древнее и широко распространенное в природе явление. Способность использовать другие организмы как среду обитания хотя и характерна для представителей большинства крупных таксономических групп, но в целом уменьшается с усложнением их организации. Таким образом, паразитов больше всего среди микроорганизмов и относительно примитивных многоклеточных, а подверженность паразитизму наиболее развита у позвоночных животных и цветковых растений.

Внутриклеточные паразиты обнаружены у простейших (бактерии, сине-зеленые водоросли) и одноклеточных эукариотов (диатомовые, красные и зеленые водоросли, амёбы, радиолярии). А среди многоклеточных организмов нет ни одного, который не имел бы в своем теле (реже – на теле) паразитов. Чем сложнее строение организма и его органов, тем более разнообразнее условия, в которых могут проживать его сожители (и тем они многочисленнее).

Английский ученый А. Е. Шитли писал, что каждая птица – представляет собой настоящий летающий зоопарк. Перья служат пищей клещам-пухоедам, кожа – блохам, вшам, мосkitам. Во внутренних органах множество разных червей, в крови – бактерий. В свою очередь перечисленные паразиты тоже служат средой жизни для других, более мелких паразитов – это гиперпаразитизм. Например, для паразита капустной белянки наездника известно более 20 видов вторичных паразитов из перепончатокрылых.

Джонатан Свифт удачно отразил данное явление в высказывании:

Под микроскопом он открыл, что на блохе,

Живет блоху кусающая блошка;

На блошке той – блошинка-крошка,

В блошинку же вонзает зуб сердито

Блошиночка... и так *ad infinitum*,

То есть без конца

Пути возникновения паразитизма

1. Простое квартирантство, когда более мелкий организм поселяется в жилище более крупного или вблизи него и со временем переходит на тело хозяина, а затем и внутрь, переключаясь на питание за счет его пищи или соков и тем самым, причиняя ему вред.

2. Хищничество. Если хищник нападает на крупную добычу, которую не может уничтожить и съесть сразу, он прикрепляется к ней и

постоянно питается тканями или соками ее тела. При определенных условиях такой хищник проникает внутрь тела хозяина, и найдя там благоприятную среду – обилие пищи, превращается в паразита.

3. Случайное проникновение будущего паразита в организм хозяина. Крупные животные могут заглатывать с пищей мелкие формы, некоторые из них не погибают, а, приспособиваясь, к новым условиям, превращаются в паразитов.

Паразитов обычно делят на две группы:

Эктопаразиты – это наружные паразиты, обитающие на поверхности тела хозяина (клещи, пиявки, блохи). У растений-эктопаразитов большая часть тела находится вне хозяина, а в него внедряются и вступают в контакт с живыми клетками лишь органы чужеядного питания – присоски или гаустории (повилика европейская). Типичные эктопаразиты – характеризуются наличием мощных органов прикрепления – присосок, коготков и т. п., чтобы удержаться на теле хозяина.

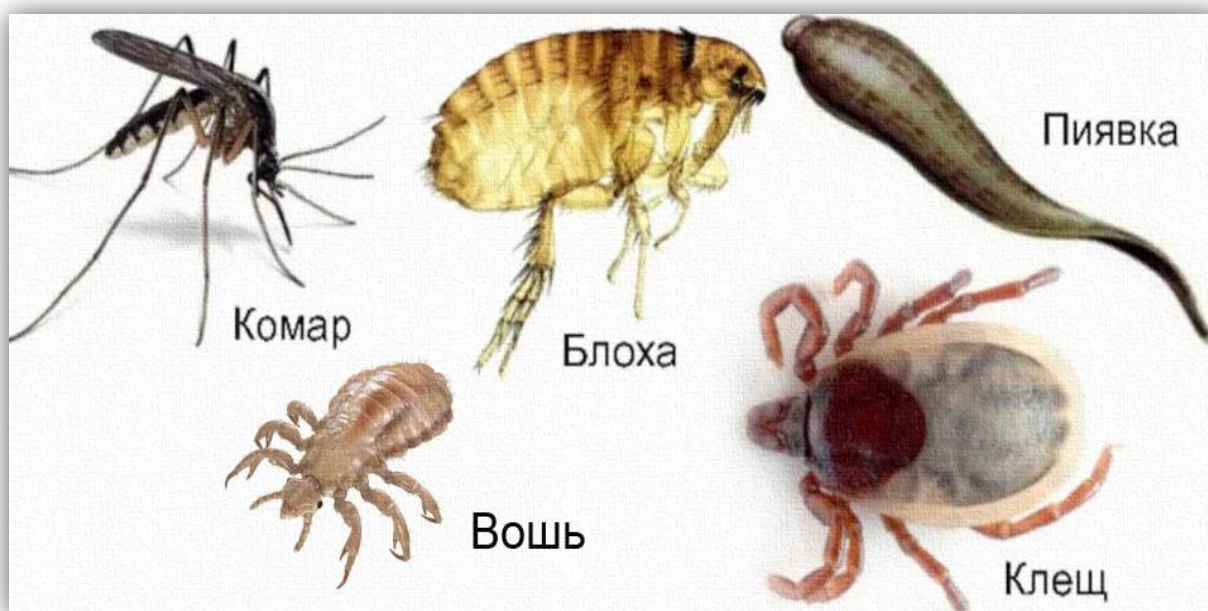


Рисунок 31 – Эктопаразиты

Эндопаразиты – это внутренние паразиты, живущие внутри тела-хозяина. Это большинство бактерий, вирусы, паразитические простейшие. У растений-эндопаразитов почти все тело помещается внутри тканей хозяина, наружу выходят лишь органы размножения (виды рода *Rafflesia*).

Различают стационарный и временный паразитизм. При стационарном паразитизме паразит на длительное время, часто на всю жизнь, связывает себя с хозяином. Стационарные паразиты могут быть приурочены к одному хозяину (постоянные): вши, пухоеды, чесоточные зудни, или их развитие протекает со сменой хозяев (периодические): многие ленточные черви, сосальщики. При временном паразитизме, паразиты часть жизни проводят свободно. К ним относят кровососущих двукрылых и многих клопов.

Паразиты обитают в специфических условиях внутренней среды хозяина. Это, с одной стороны, дает им целый ряд экологических преимуществ, а с другой, затрудняет осуществление их жизненного цикла по сравнению со свободноживущими видами.

Одно из главных преимуществ паразитов – обильное снабжение пищей за счет содержимого клеток, соков и тканей тела хозяина или содержимого его кишечника. Обильная легкодоступная пища служит условием быстрого роста паразитов. Там, где позволяет пространство, например, в кишечном тракте позвоночных, паразиты могут достигать очень больших размеров по сравнению с их свободноживущими родственниками. Так, человеческая и свиная аскариды – одни из наиболее крупных представителей класса нематод, а лентец широкий, бычий и свиной солитеры – гиганты среди плоских червей, достигающие в длину 8–12 м.

Вторым важным экологическим преимуществом для обитателей живых организмов является их защищенность от непосредственного воздействия факторов внешней среды. Внутри хозяина его сожители практически не встречаются с угрозой высыхания, резкими колебаниями температур, значительными изменениями солевого и осмотического режимов и т. п. Защищенность от внешних врагов, обилие легкоусвояемой пищи, относительная стабильность условий делают ненужной сложную дифференцировку тела, и многие внутренние паразиты и симбионты характеризуются в эволюции вторичным упрощением строения. Например, ленточные черви, всасывающие переваренную хозяином пищу через покровы, не имеют пищеварительной системы.

Выход во внешнюю среду чаще всего чреват для паразитов опасностями, поэтому на той стадии жизненного цикла, которую паразиты проводят вне хозяина, у них развиваются защитные приспособ-

собления, позволяющие пережить этот критический период (толстые и многослойные оболочки яиц гельминтов, цисты кишечных амёб).

Если в жизненном цикле паразитов нет стадии выхода во внешнюю среду, то таких защитных приспособлений не обнаруживается.

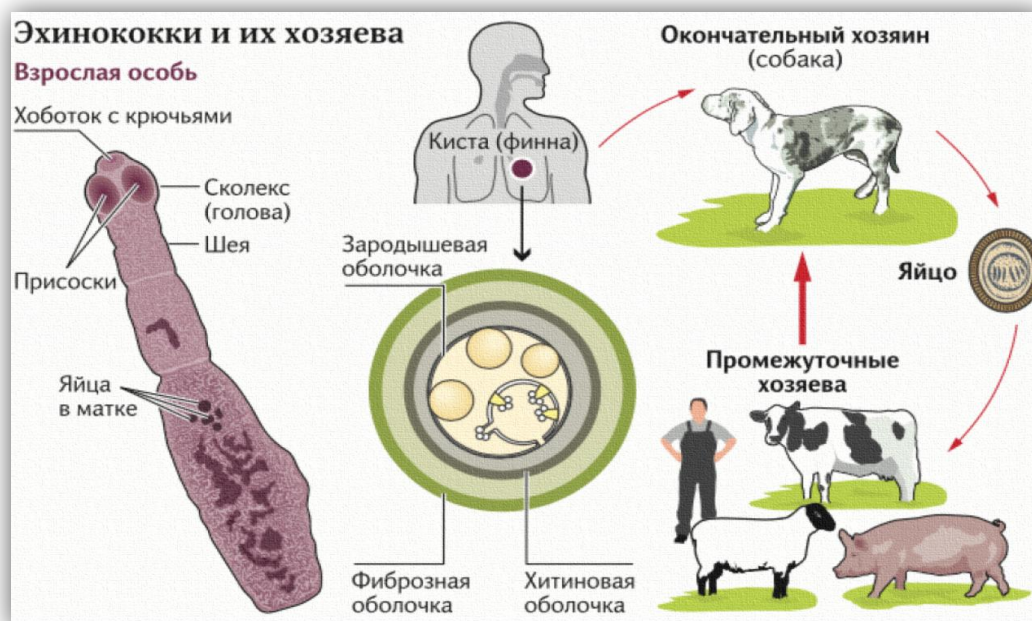


Рисунок 32 – Жизненный цикл эхинококка

Основные экологические трудности, с которыми сталкиваются внутренние сожители живых организмов, – это ограниченность жизненного пространства для тканевых и особенно внутриклеточных обитателей, сложности снабжения кислородом, трудность распространения от одной особи хозяев к другим, а также защитные реакции организма хозяина против паразитов.

Живые организмы не только испытывают воздействия со стороны паразитов и симбионтов, но и энергично реагируют на них. Обитатели такой живой среды должны преодолевать сопротивление организма хозяина, его защитные реакции. Это сопротивление паразитам получило название активного иммунитета. Полноценные, здоровые особи растений и животных часто обладают действенными защитными приспособлениями, не позволяющими проникать в них патогенными организмам. Например, устойчивость хвойных деревьев к нападению стволовых вредителей (жуков-короедов, личинок златок, усачей и пр.) обеспечивается прежде всего выделением смолы, которая содержит соединения, токсичные для насекомых. У животных защитной реакцией отторжения посторонних организмов является выработка гуморального иммунитета – образование в крови хозяина специфических белковых веществ – антител, подавляющих паразитов.

Недостаток кислорода в тканях, особенно в желудочно-кишечном тракте организмов-хозяев, приводит к тому, что у многоклеточных обитателей внутриорганизменной среды вырабатывается преимущественно анаэробный тип обмена. Необходимая для клеток энергия высвобождается за счет разных видов брожения, а не за счет дыхания.

Среда обитания паразитов ограничена как во времени (жизнью хозяина), так и в пространстве. Поэтому основные адаптации направлены на возможность распространения в этой среде, передачи от одного хозяина к другому. Главнейшие приспособления к этому – повышенная способность к размножению, выработка сложных жизненных циклов, использование переносчиков и промежуточных хозяев. Громадная плодовитость, свойственная паразитам, получила название «закон большого числа яиц». Человеческая аскарида продуцирует в среднем 250 тыс. яиц за сутки, а за свою жизнь – свыше 50 млн. Подавляющее большинство яиц и зародышей паразитов гибнет, не выдержав воздействия различных факторов внешней среды или не попав в очередного хозяина, и только чрезвычайная плодовитость увеличивает шансы на выживание.

Отношения между паразитом и хозяином в растительном и животном мире на популяционном и видовом уровнях определенным образом уравновешены. Очевидно, что паразит не может размножаться до такой степени, чтобы привести к вымиранию популяции хозяина и лишиться себя среды жизни.

Контрольные вопросы

1. Перечислите среды жизни и наиболее типичные их свойства. Назовите присущие отдельным средам жизни лимитирующие факторы, адаптации организмов.

2. Какие вы знаете основные экологические факторы водной среды? Дайте им характеристику.

3. В чем заключается влияние на организмы физических и химических факторов воздушной среды?

4. Что понимают под эдафическими факторами? Дайте характеристику экологическим факторам почв.

5. Назовите три основных способа приспособления (адаптации) организмов к неблагоприятным условиям среды.

4. ПОПУЛЯЦИЯ, ЕЕ СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

4.1. Общее понятие о популяции и ее структуре

Любой вид растений, животных, микроорганизмов представлен своеобразной группировкой организмов, включающей особи со сходной морфологией, физиологией, поведением и общим генофондом. Каждый вид занимает определенный ареал, в разных частях которого наблюдаются разные условия существования. Группировки особей внутри вида называются популяциями (от лат. *populus* – народ, население).

Термин «популяция» впервые введен в 1903 году датским биологом и генетиком В. Л. Иогансеном (1857–1927 гг.).

По С. С. Шварцу (1919–1976 гг.), **популяция** – это элементарная группировка организмов определенного вида, свободно скрещивающихся и относительно изолированных от других особей того же вида, обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания своей численности неограниченно длительное время в постоянно изменяющихся условиях среды.

Члены популяции характеризуются однотипными внешними признаками, сходными адаптациями, сходной специфической реакцией на воздействие факторов среды, своеобразным типом динамики численности, демографической и территориальной структурой.

Популяция как биологическая единица, обладает определенной структурой и функциями. Структура популяции – это состав особей и их распределение в пространстве. Местообитание какой-либо популяции наземных животных называют стацией. Пространство, занимаемое популяцией, может быть различным как для разных видов, так и в пределах одного вида. Величина местообитания популяции определяется в значительной мере подвижностью особей или радиусом индивидуальной активности. Если радиус индивидуальной активности невелик, величина популяционного ареала обычно также невелика. У растений радиус индивидуальной активности определяется расстоянием, на которое могут распространяться пыльца, семена или вегетативные части, способные дать начало новому растению. Популяции в зависимости от размеров занимаемой ими территории подразделяют на несколько видов (см. рис. 33).

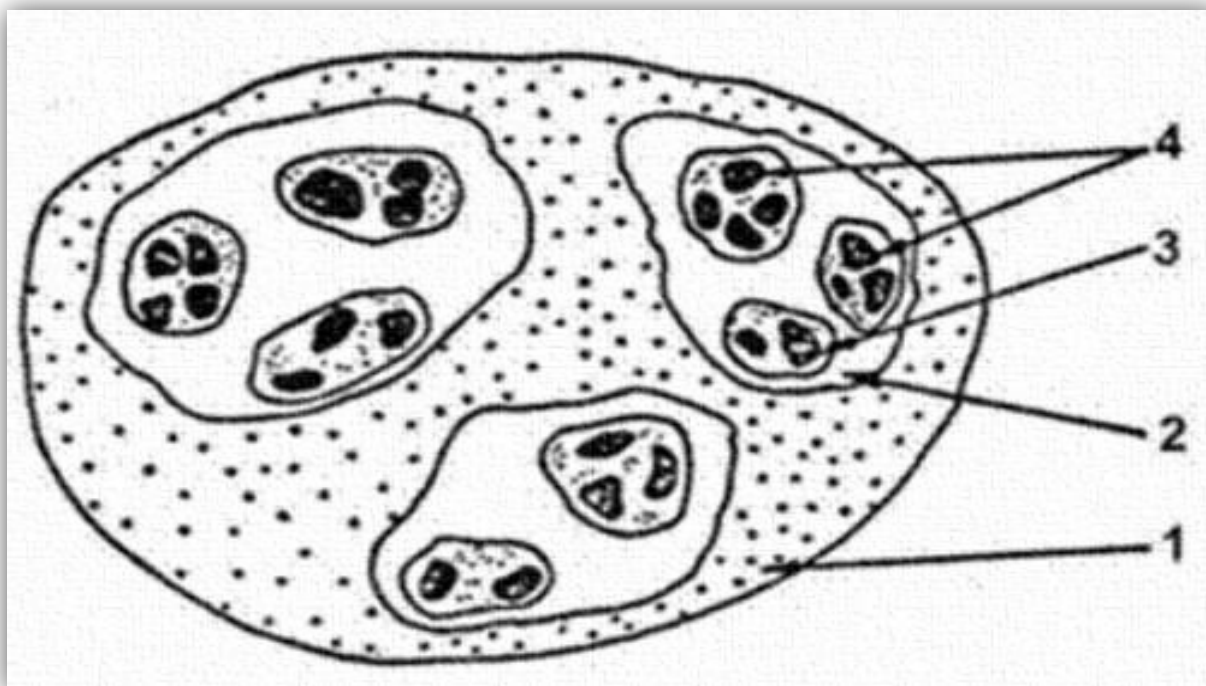


Рисунок 33 – Пространственная иерархия популяций (по Н. П. Наумову, 1963 г.): 1 – ареал вида, популяции; 2 – элементарная; 3 – экологическая; 4 – географическая

1. Элементарная (локальная) популяция – совокупность особей вида, занимающих какой-то небольшой участок однородной площади. Количество элементарных популяций, на которые распадается вид, зависит от разнородности условий в биогеоценозе: чем они однообразнее, тем меньше элементарных популяций и наоборот.

2. Экологическая популяция – совокупность элементарных популяций. В основном это внутривидовые группировки, приуроченные к конкретным биогеоценозам. (Например, белка обыкновенная заселяет различные типы леса. Поэтому могут быть выделены сосновые, пихтовые, елово-пихтовые ее экологические популяции). Они слабо изолированы друг от друга, и обмен генетической информацией между ними происходит довольно часто, но реже, чем между элементарными популяциями.

3. Географическая популяция складывается из экологических и охватывает группу особей, заселяющих территорию с географически однородными условиями существования. Они различаются плодовитостью, размерами особей, рядом экологических, физиологических, поведенческих и других особенностей, (степная и тундровая популяции узкочерепной полевки: тундровые более крупные, значительно

раньше начинают размножаться, обладают более высокой плодовитостью и больше накапливают жира).

4.2. Структуры популяции

Пространственная структура. Особи, составляющие популяцию, имеют различные типы пространственного распределения, выражающие их реакции на различные влияния. Различают три типа распределения или расселения особей внутри популяции (рис. 34).

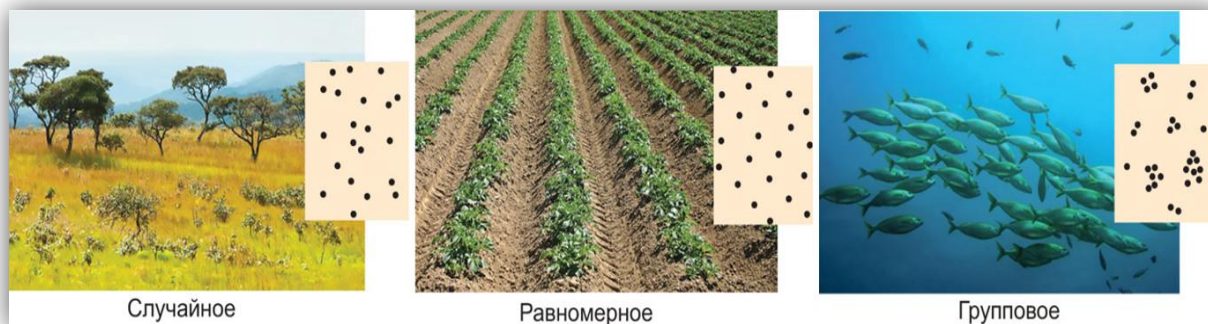


Рисунок 34 – Типы пространственного распределения особей в популяциях

1. Равномерное распределение в природе встречается редко. Чаще оно бывает связано с острой конкуренцией между разными особями. Хищные рыбы колюшки с их территориальным инстинктом.

2. Случайное распределение имеет место только в однородной среде. Так, на первых порах распределяется тля на поле. По мере ее размножения распределение приобретает групповой или пятнистый характер.

3. Групповое распределение встречается чаще, при этом оно может быть и случайным. Так, в сосновом лесу деревья сначала расселяются группами, а в дальнейшем их размещение становится равномерным. Групповое распределение обеспечивает более высокую устойчивость популяции по отношению к неблагоприятным условиям, по сравнению с отдельной особью.

Половая структура – соотношение особей мужского и женского пола в популяции. Половая структура свойственна только популяциям раздельнополых организмов. Теоретически соотношение полов должно быть одинаковым: 50 % от общей численности должны составлять мужские особи, а 50 % – женские особи. Фактическое соот-

ношение полов зависят от действия различных факторов среды, генетических и физиологических особенностей вида.

Возрастная структура – характеризуется соотношением особей по возрастам, фазам развития. Возрастная структура влияет на рождаемость, смертность, определяет способность к размножению в данный момент и дает возможность оценить перспективы популяции (рис. 35).

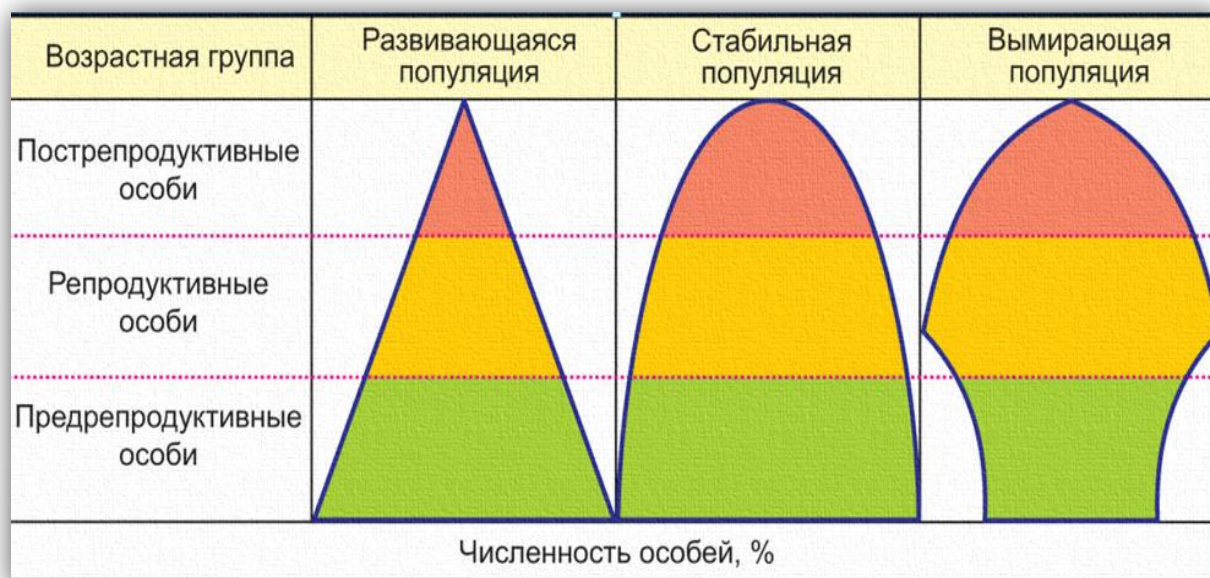


Рисунок 35 – Типы возрастных пирамид в популяции

На соотношения возрастных групп влияют:

- общая продолжительность жизни;
- время достижения половой зрелости;
- интенсивность размножения;
- степень приспособления к определенным условиям.

Обычно выделяют три экологических возраста:

- предрепродуктивный (ювенильный);
- репродуктивный;
- пострепродуктивный (сенильный).

Длительность каждого из них сильно варьирует в связи с продолжительностью жизни особей. Популяции, у которых короткий предрепродуктивный период, быстро восстанавливают свою численность.

В сокращающихся популяциях преобладают старые особи, уже не способные интенсивно размножаться. Такая возрастная структура свидетельствует о неблагоприятных условиях. В быстро растущих

популяциях доминируют интенсивно размножающиеся особи. В стабильных популяциях это соотношение составляет 1:1. Однако в популяциях древесных растений особи старшего возраста часто численно уступают молодым.

Генетическая структура – соотношение в популяции различных генотипов и аллелей. Совокупность генов всех особей популяции называют генофондом. Генофонд характеризуют частоты аллелей и генотипов. Частота аллеля – это его доля во всей совокупности аллелей данного гена. Сумма частот всех аллелей равна единице: $p + q = 1$, где p – доля доминантного аллеля (A), q – доля рецессивного аллеля (a).

Согласно закону Харди-Вайнберга, относительные частоты аллелей в популяции остаются неизменными из поколения в поколение. Закон Харди-Вайнберга справедлив, если соблюдаются следующие условия:

- популяция велика;
- в популяции осуществляется свободное скрещивание;
- отсутствует отбор;
- не возникает новых мутаций;
- нет миграции новых генотипов в популяцию или из популяции.

Очевидно, что популяций, удовлетворяющих этим условиям в течение длительного времени, в природе не существует. На популяции всегда действуют внешние и внутренние факторы, нарушающие генетическое равновесие. Длительное и направленное изменение генотипического состава популяции, ее генофонда получило название элементарного явления. Без изменения генофонда популяции невозможен эволюционный процесс.

Факторы, изменяющие генетическую структуру популяции, следующие:

1. Мутации – источник возникновения новых аллелей.
2. Неравная жизнеспособность особей (особи подвергаются действию отбора).
3. Неслучайное скрещивание (например, при самооплодотворении частота гетерозигот постоянно падает).
4. Дрейф генов – изменение частоты аллелей случайные и независимые от действия отбора (например, вспышки заболеваний).
5. Миграции – отток имеющихся генов и (или) приток новых.

Этологическая, или поведенческая, структура популяции – система взаимоотношений между членами одной популяции. Выделяют следующие виды:

- **Одиночный образ жизни**, при котором особи популяции независимы и обособлены друг от друга, характерен для многих видов, но лишь на определенных стадиях жизненного цикла. Полностью одиночное существование организмов в природе не встречается, так как при этом было бы невозможным осуществление их основной жизненной функции – размножения.

- **Семейный образ жизни**, при котором усиливаются связи между родителями и их потомством. Простейший вид такой связи – забота одного из родителей об отложенных яйцах: охрана кладки, инкубация, дополнительное аэрирование и т. п. Так, среди земноводных мраморная амбистома откладывает яйца в ямки во влажной лесной подстилке и остается их сторожить. Самка темной саламандры обвивает кладку своим телом и не покидает ее до выклева личинок.

- **Колонии** – групповые поселения оседлых животных, они могут существовать длительно или возникать лишь на период размножения, как, например, у многих птиц – грачей, чаек, гагар, тупиков и т. п.

- **Стаи** – временные объединения животных, которые проявляют биологически полезную организованность действий. Стаи облегчают выполнение каких-либо функций в жизни вида: защиты от врагов, добычи пищи, миграции. Наиболее широко стайность распространена среди птиц и рыб, у млекопитающих она характерна для многих собачьих. В стаях сильно развиты подражательные реакции и ориентация на соседей.

- **Стада** – более длительные и постоянные объединения животных по сравнению со стаями. В стадных группах, как правило, осуществляются все основные функции жизни вида: добывание корма, защита от хищников, миграции, размножение, воспитание молодняка и т. п. Основу группового поведения животных в стадах составляют взаимоотношения доминирования-подчинения, основанные на индивидуальных различиях между особями.

- **Эффект группы** – оптимизация физиологических процессов, ведущая к повышению жизнеспособности при совместном существо-

вании. Эффект группы проявляется в ускорении темпов роста животных, повышении плодовитости, более быстром образовании условных рефлексов, повышении средней продолжительности жизни индивидуума и т. д.

4.3. Основные характеристики популяций

Основными параметрами структуры популяции являются ее численность и плотность.

Численность популяции – это общее количество особей на данной территории или в данном объеме.

Плотность популяции определяется количеством особей или биомассой на единицу площади или объема (150 растений сосны на 1 га, 0,5 г циклопов в 1 м³ воды).

Плотность популяции отличается изменчивостью и зависит от ее численности. При возрастании численности не наблюдается увеличения плотности лишь в том случае, когда возможно распределение популяции, расширение ее ареала.

Динамика численности и плотности популяций находится в тесной зависимости от рождаемости и смертности, а также от способности слагающих их особей совершать миграции – перемещение особей из одной области обитания в другую.

Рождаемость – это способность популяции к увеличению численности за счет размножения особей. Характеризует частоту появления новых особей в популяции.

Различают рождаемость абсолютную и удельную.

Абсолютная (общая) рождаемость – это число новых особей (DNn), появившихся за единицу времени (Dt).

Удельная рождаемость – это скорость рождения новых особей на особь в единицу времени. $b = DNn/Dt \cdot N$.

Например, популяция, состоящая из 50 простейших организмов в некотором объеме воды, увеличивается путем деления. Через 1 ч ее численность возросла до 150 особей. Абсолютная рождаемость составила 100 особей в 1 ч, а удельная – 2 особи. В городе с населением 10 000 человек за год появилось 400 новорожденных. Абсолютная рождаемость 400 человек в год, а удельная – 0,04 (или 4 %). При оценивании удельной рождаемости людей в той или иной местности ее принято рассчитывать по отношению не ко всему населению, а только по отношению к общему числу женщин в возрасте от 20 до 40 лет.

Различают максимальную рождаемость и экологическую.

Максимальная рождаемость – это теоретический максимум скорости образования новых особей в идеальных условиях, когда отсутствуют внешние факторы, сдерживающие процессы размножения. Определяется физиологической плодовитостью. Например, один одуванчик менее чем за 10 лет способен заселить своими потомками земной шар, если все семена прорастут. Одна клетка бактерии за 36 часов может дать потомство, которое покроет сплошным слоем всю нашу планету.

Экологическая рождаемость – это скорость возрастания численности популяции при фактически сложившихся условиях жизни рассматриваемой группы особей. Экологическая рождаемость не постоянна и изменяется в зависимости от физических условий среды и состава популяции.

В целом для видов, которые не заботятся о потомстве, характерна высокая потенциальная и низкая экологическая рождаемость (взрослая самка трески выметывает миллион икринок, из которого в среднем доживают до взрослого состояния лишь 2 особи).

У менее приспособленных к неблагоприятным условиям видов высокая смертность в молодом возрасте компенсируется значительной плодовитостью. В благоприятных условиях плодовитость обычно низкая. Этим объясняется более высокая плодовитость животных в зонах умеренного климата по сравнению с тропическими видами.

Характер плодовитости зависит от скорости полового созревания, числа генераций в течение сезона, от соотношения в популяции самцов и самок. Если вид размножается с большой скоростью и чутко реагирует на изменения условий среды, то численность популяций его быстро и существенно меняется во времени. Это относится к многим насекомым и мышевидным грызунам.

Очевидно, что численность и плотность популяции будут зависеть от показателя смертности.

Смертность популяции – это количество особей, погибших за определенный период.

Абсолютная смертность – это число особей, погибших в единицу времени (DN_m). Удельная смертность (d) выражается отношением абсолютной смертности к численности популяции:

$$d = (DN_m) / Dt N.$$

Различают три типа смертности:

1. Смертность одинаковая во всех возрастах; (такой тип встречается очень редко и только у популяций находящихся в оптимальных условиях).

2. Повышенная гибель особей на ранних стадиях развития, тип свойствен большинству видов растений и животных. Например, у многих рыб до взрослых особей доживает 1–2 % от количества выметанной икры.

3. Характеризуется повышенной гибелью взрослых особей, в первую очередь старых особей. Наблюдается он у насекомых, личинки которых обитают в почве, воде, древесине, а также в других местах с благоприятными условиями; у проходных рыб, которые нерестуют один раз в жизни.

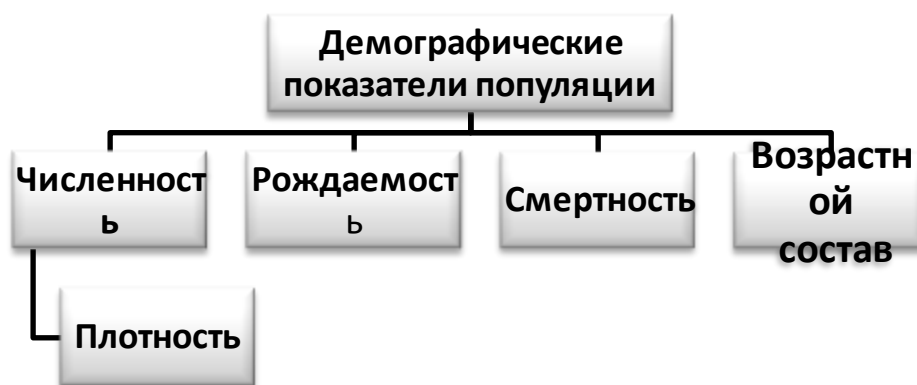


Рисунок 36 – Демографические показатели популяции

Динамика популяций – это процессы изменений ее основных биологических показателей во времени.

Изучение динамики популяции является важным для понимания и управления экосистемами и биологическими ресурсами. Вот несколько причин, по которым изучение динамики популяции важно:

- **Сохранение видов:** изучение динамики популяции помогает определить, какие виды находятся под угрозой и нуждаются в защите. Исследования популяционной динамики помогают установить, какие факторы влияют на вымирание видов и что можно сделать для их сохранения.

- **Управление ресурсами:** изучение динамики популяции важно для управления ресурсами, например, рыбными запасами. Понимание того, как изменения численности популяции могут влиять на размер популяции в будущем, помогает определить, сколько ресурсов можно потреблять, чтобы не исчерпать их.

- **Контроль популяции:** изучение динамики популяции также может помочь контролировать размер популяции. Если популяция животных или насекомых слишком велика, она может вызвать проблемы, например, вытеснение других видов, ухудшение качества почвы и т. д. Знание о динамике популяции может помочь предотвратить эти проблемы.

- **Понимание биологических процессов:** изучение динамики популяции позволяет лучше понимать биологические процессы, которые влияют на развитие и вымирание видов. Например, изучение динамики популяции может помочь понять, как изменения климата и другие факторы влияют на выживаемость и размножение животных.

В зависимости от соотношения рождаемости и смертности в популяции ее численность:

- растет;
- сохраняется на постоянном уровне;
- сокращается.

Ученым, исследующим динамику популяций, важно бывает знать не только общую смертность в популяции, но и количество особей, погибающих до достижения половой зрелости. Условием стабильности популяции является тот факт, что до половой зрелости доживают два потомка от каждой пары. Динамику смертности популяции в зависимости от возраста отображают на кривых выживания (рис. 37). Существуют три основных типа этих кривых. Кривые выживания конкретных видов могут занимать промежуточные положения между этими крайними формами.



- а – главным фактором смертности является естественное старение особей;
- б – смертность постоянна на протяжении всей жизни организма;
- в – повышенная смертность на ранних стадиях развития организма

Рисунок 37 – Типы кривых выживания

При заселении популяцией нового местообитания наблюдаются следующие фазы роста (рис. 38):

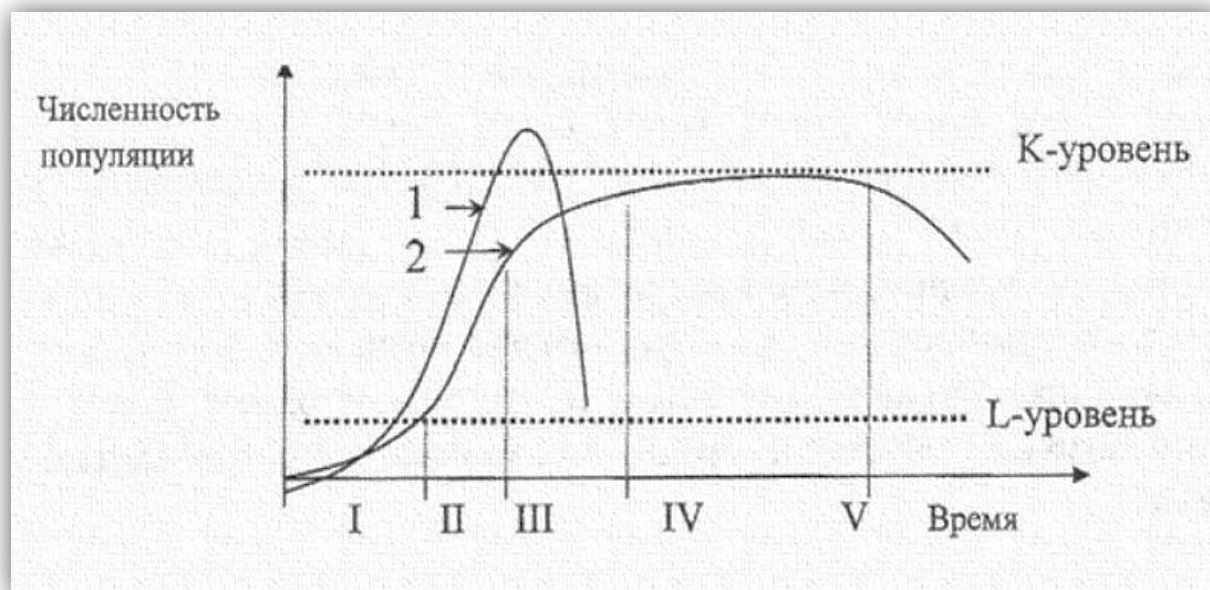


Рисунок 38 – Закономерности роста численности популяции. Фазы роста: I – лаг-фаза; II – логарифмическая фаза; III – фаза торможения; IV – стационарная фаза; V – фаза замедления роста; K-уровень – поддерживающая емкость среды (пища, места гнездования); L-уровень – минимальный уровень самоподдержания популяции

Типы роста:

1 – J-образная кривая; 2 – S-образная кривая.

Характеристика фаз:

- Лаг-фаза: адаптация к новой среде, например, синтез ферментов у бактерий.
- Логарифмическая фаза: максимальная скорость роста, число клеток увеличивается почти экспоненциально.
- Фаза торможения: снижение скорости роста, вследствие начала лимитирования ресурсами среды; включаются физиологические и этологические механизмы самоограничения численности.
- Стационарная фаза: скорость роста равна нулю, резко возрастает конкуренция за пищевые ресурсы; усиливаются процессы истощения среды, накопления шлаков (вторичных метаболитов).
- Фаза замедления роста: прекращается размножение, популяция вымирает.

Любая популяция теоретически способна к неограниченному росту численности, если ее не лимитируют факторы внешней среды. В таком случае скорость роста популяции будет зависеть только от величины биотического потенциала, свойственного виду. Этот показатель отражает теоретический максимум потомков от одной пары (или одной особи) за единицу времени (год или весь жизненный цикл).

При расчетах его чаще всего выражают коэффициентом r и вычисляют как максимально возможный прирост популяции DN за отрезок времени Dt , отнесенный к одной особи, при начальной численности популяции N_0 :

$$r = DN/N_0 * Dt.$$

Величина биотического потенциала чрезвычайно различна у разных видов. Например, самка косули способна произвести за жизнь 10–15 козлят, самка медоносной пчелы – 50 тыс. яиц, рыба-луна – до 3 млрд икринок. Биотический потенциал этих видов на самом деле еще больше, так как часть развивающихся яиц и зародышей погибает еще до рождения. Если бы все зародыши сохранялись, а все потомство выживало, численность любой популяции через определенные интервалы увеличивалась бы в геометрической прогрессии.

Кривая, отражающая на графике подобный рост популяции, быстро увеличивает крутизну и уходит в бесконечность. Такая кривая носит название экспоненциальной.

Но в природе биотический потенциал популяции никогда не реализуется полностью. Его величина обычно складывается как разность между рождаемостью и смертностью в популяциях: $r = b - d$, где b – число родившихся, а d – число погибших особей в популяции за один и тот же период времени.

В связи с тем, что рост популяции по экспоненциальному закону продолжается очень короткое время и по мере увеличения численности и скорость ее роста снижается, часто описание этого процесса выражается уравнением логистического роста. Кривая, отражающая на графике подобный рост популяции, носит название логистической.

Популяции многих видов организмов способны к саморегуляции своей численности. Выделяют три механизма торможения роста численности популяций:

1. При возрастании плотности повышается частота контактов между особями, что вызывает у них стрессовое состояние, уменьшающее рождаемость и повышающее смертность.

2. При возрастании плотности усиливается эмиграция в новые местообитания, краевые зоны, где условия менее благоприятны и смертность увеличивается.

3. При возрастании плотности происходят изменения генетического состава популяции, например, быстро размножающиеся особи заменяются медленно размножающимися.

При всем многообразии механизмов популяционного гомеостаза его функции можно сгруппировать в три категории (Шилов, 1997 г.):

- поддержание пространственной структуры;
- поддержание генетической структуры;
- регуляция численности и плотности населения.

Механизмы поддержания пространственной структуры разнообразны. Наиболее важные из них следующие.

Территориальная агрессия – наиболее прямая форма территориальных взаимоотношений. Животные, кормящиеся на своем участке, проявляют агрессию при защите его от соседей. Птицы активно защищают территорию своего гнездования, грызуны охраняют друг от друга места своего пропитания, хищники заботятся об охране своих охотничьих участков.

Маркирование территории – относительно мягкий механизм гомеостаза, не связанный с агрессией. У птиц это выражается в акустической маркировке участков. Некоторые обитатели водной среды также прибегают к звуковым сигнализациям. Так, голубые киты при общении друг с другом издают низкочастотные импульсы порядка 188 дБ, что позволяет считать подобные звуки самыми громкими звуками, которые способны издавать животные. Их можно услышать на расстоянии 860 км.

У рыб нередко окраска тела говорит чужаку о занятости территории. Разнообразны механизмы маркировки территории у млекопитающих. Многие животные для мечения участков используют запах мочи и экскрементов. Но наибольшее значение имеют выделения особых желез. Например, африканской гориллы, полевки, песчанки и другие виды мышевидных грызунов.

Нередко в качестве меток используют визуально различимые знаки. Например, следы когтей бурого медведя на стволах деревьев,

либо остатки шерсти, которыми многие представители семейства волчьих метят свою территорию.

Нежелательны любые отклонения параметров популяций от оптимальных, но если чрезмерно высокие значения их не представляют прямой опасности для существования вида, то снижение до минимального уровня, особенно численности популяции, представляют угрозу для вида.

Принцип минимального размера популяций: популяция не может состоять из меньшего числа особей, чем необходимо для ее стабильного развития и устойчивости к факторам внешней среды. Минимальными размерами популяций характеризуются очень многие виды на Дальнем Востоке: тигр амурский, леопард дальневосточный, белый медведь, утка-мандаринка, многие бабочки: хвостносец Мака и хвостносец Ксута, адмирал, зефиры, красавица Артемида, Аполлон, реликтовый усач, жук-олень; из растений: все аралиевые, орхидные, пихта цельнолистная, сосна густоцветковая, абрикос маньчжурский, можжевельник твердый, тис остроконечный, лилии двурядная, мозолистая, даурская; рябчик уссурийский, триллиум камчатский и многие другие виды.

Однако наряду с принципом минимального размера популяций есть и принцип, или правило, популяционного максимума (Ю. Одум, 1975 г.). Популяции эволюционируют так, что регуляция их плотности осуществляется на значительно более низком уровне по сравнению с верхним пределом емкости местообитания, достигаемым лишь в том случае, если полностью используются ресурсы энергии и пространства. При росте плотности популяции снижается обеспеченность пищей. У многих животных от потребления пищи прямо зависит плодовитость: при увеличении плотности популяции плодовитость падает, и это предотвращает дальнейший рост численности. Лишь теоретически популяция способна к неограниченному росту численности.

4.4. Экологические стратегии популяций

Приспособления организмов, в конечном итоге, направлены на повышение вероятности выжить и оставить потомство. Экологическая стратегия популяции – это ее общая характеристика роста и размножения.

Экологическая стратегия зависит также и от особенностей вида, и от условий среды. среди многообразия стратегий можно выделить два крайних типа, которые называются *r*-стратегией и *K*-стратегией.

- ***r*-стратегия** – определяется отбором, направленным прежде всего на повышение скорости роста популяции и, следовательно, таких качеств, как высокая плодовитость, ранняя половозрелость, короткий жизненный цикл, способность быстро распространяться на новые места обитания и пережить неблагоприятное время в покоящейся стадии.

- ***K*-стратегия** – направлена на повышение выживаемости в условиях уже стабилизировавшейся численности. Это отбор на конкурентоспособность, повышение защищенности от хищников и паразитов, повышение вероятности выживания каждого потомка.

***r*-стратеги** (эксплеренты) характеризуются низкой конкурентоспособностью, высокой плодовитостью, отсутствием заботы о потомстве, быстрым развитием и короткой продолжительностью жизни. *r*-стратегов образно называют шакалами, поскольку они способны за короткое время завоевывать освободившееся экологическое пространство.

Популяции видов, у которых рождаемость и смертность в значительной мере зависят от их плотности (т. е. от характеристики самой популяции), в меньшей степени зависят от действия внешних факторов. Они поддерживают численность, близкую к величине *K*, поэтому способ воспроизведения таких популяций называется *K*-стратегия. К *r*-стратегам относятся насекомые, головоногие, рыбы, многие грызуны.

***K*-стратеги** (виоленты) характеризуются высокой конкурентоспособностью, низкой плодовитостью, заботой о потомстве, длительным развитием и длительной продолжительностью жизни. *K*-стратегов образно называют львами, поскольку они способны долгое время удерживать экологическое пространство. К этой группе относятся крупные млекопитающие, человекообразные обезьяны и человек.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика к- и г-видов

г-вид (вид – оппортунист)	К-вид (с тенденцией к равновесию)
Размножаются быстро: высокая плодовитость, время генерации короткое	Размножаются медленно: низкая плодовитость, продолжительное время генерации
Имеют J-образную кривую роста численности популяции	Имеют S-образную кривую роста численности популяции
Скорость размножения не зависит от плотности популяции	Скорость размножения зависит от плотности популяции, быстро увеличивается, если плотность падает
Вид не всегда устойчив на данной территории	Вид устойчив на данной территории
Расселяются широко и в больших количествах	Расселяются медленно
Малые размеры особей	Крупные размеры особей
Малая продолжительность жизни особей	Большая продолжительность жизни
Слабые конкуренты	Сильные конкуренты
Лучше приспособлены к изменениям окружающей среды (менее специализированные)	Менее устойчивы к изменениям условий среды (высокая специализация для жизни в устойчивых местообитаниях)
Пример: бактерии, тли, однолетние растения	Примеры: человек, дерево, кондор

Кроме г-стратегии и К-стратегии, выделяют еще и S-стратегию. S-стратеги (пациенты) населяют местообитания с неблагоприятными условиями жизни для большинства организмов, в которых конкуренция практически отсутствует. Поэтому S-стратегов образно называют верблюдами. По низкому значению г они близки к львам (виолентам), а по высокому значению К – к шакалам (эксплерентам). По длительности развития и длительности жизни S-стратеги могут быть сходными и с г-стратегами, и с К-стратегами.

Очевидно, что каждый организм испытывает г- и К-отбор, но г-отбор преобладает на ранней стадии развития популяции, а К-отбор характерен для стабилизированных систем, т. е. г-стратегия обеспечивает выживание за счет количественного роста, а К-стратегия – за

счет качественного совершенствования взаимоотношений между особями и особей с абиотической средой. Эти две стратегии по существу представляют два различных решения одной задачи – длительного выживания вида.

Контрольные вопросы

1. Вспомните и воспроизведите определение популяции. Какие основные критерии используются при расчленении вида на популяции?
2. Назовите основные виды структуры популяций.
3. Что понимается под биотическим потенциалом популяции (вида)? Почему он не реализуется полностью в природных условиях? Какие факторы препятствуют реализации потенциала?
4. Назовите механизмы, за счет которых регулируется численность особей в популяциях. Перечислите механизмы межвидового и внутривидового регулирования численности особей.
5. Применим ли к популяциям термин «гомеостаз»? В чем он проявляется?
6. Что понимается под территориальным поведением животных?
7. Что понимается под продолжительностью жизни вида? Кривые выживания.
8. Каковы экологические причины, вызывающие рост численности популяции по экспоненте и по логистической кривой?
9. В чем суть экологических стратегий выживания?
10. Какие экологические причины вызывают саморегуляцию плотности популяции?

5. БИОЦЕНОЗ И ЕГО СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

5.1. Биоценоз и его структура

Раздел экологии, изучающий ассоциации популяций разных видов растений, животных и микроорганизмов, пути их формирования и взаимодействия с окружающей средой называется **синэкология** (от греч. *syn* – вместе).

Термин «синэкология» предложил швейцарский ботаник К. Шретер в 1902 г.

В природе популяции разных видов объединяют в макросистемы более высокого ранга, так называемые сообщества или биоценозы.

Биоценоз (от греч. *bios* – жизнь, *koinos* – общий) – это совокупность популяций всех видов живых организмов, населяющих определенную географическую территорию, отличающуюся от других соседних территорий по химическому составу почв, вод, а также по ряду физических показателей (высота над уровнем моря, величина солнечного облучения и т. д.).

Понятие «биоценоз» было предложено немецким гидробиологом Карлом Мебиусом в 1877 г.

В природе биоценозы бывают разного масштаба.

Это, например, биоценоз моховой кочки, разрушающегося пня, луга, пруда, болота, леса.



Рисунок 39 – Биоценоз дубравы и биоценоз пруда

В состав биоценоза входят следующие компоненты:

- фитоценоз – совокупность растений на определенной территории;
- зооценоз – животные, проживающие в пределах фитоценоза;

- микробиоценоз – совокупность микроорганизмов, населяющих почву. Конкретные сообщества складываются в строго определенных условиях окружающей среды – (почва, грунтовые воды, климат).

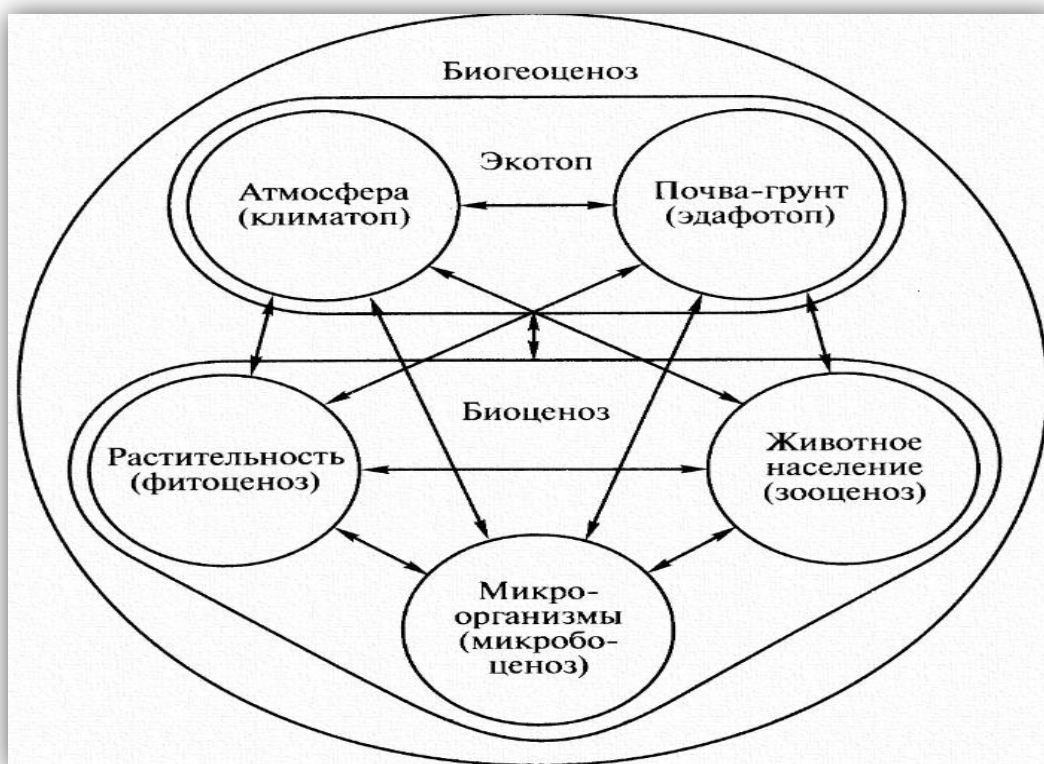


Рисунок 40 – Структура биоценоза

Взаимодействуя с компонентами биоценоза, почва и грунтовые воды образуют эдафотоп, а атмосфера – климатоп. Компоненты неживой природы, образуют косное единство – экотоп. Относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом называется биотопом. Это может быть какой-то участок суши или водоема, берег моря или склон горы. Биотоп – это неорганическая среда, которая является необходимым условием существования биоценоза.

Биоценоз имеет видовую, пространственную и экологическую структуры.

Под видовой структурой биоценоза понимают разнообразие в нем видов и соотношение их численности или массы. Каждый биоценоз характеризуется строго определенным видовым составом. Везде, где условия абиотической среды приближаются к оптимальным для жизни, возникают богатые видами сообщества (тропические леса, коралловые рифы). Молодые, формирующиеся сообщества обычно имеют меньший набор видов, чем давно сложившиеся, зрелые. Био-

ценозы, созданные человеком (огороды, сады, поля), обычно беднее видами по сравнению со сходными с ними природными системами (лесные, луговые, степные).

Для оценки роли отдельного вида в видовой структуре биоценоза используют следующие показатели, основанные на количественном учете.

1. Обилие вида – это число особей вида на единицу площади или объема занимаемого пространства. (Например, число птиц, гнездящихся на 1 км² степного участка,). Для расчета обилия вместо числа особей иногда используют значение их общей биомассы. Обилие вида изменяется во времени (сезонные, годовые колебания) и в пространстве (от одного биогеоценоза к другому).

2. Частота встречаемости характеризует равномерность и неравномерность распределения вида в биоценозе. Рассчитывается как процентное отношение числа проб и учетных площадок, где встречается вид, к общему числу таких проб или площадок. Можно высчитать частоту для одной выборки и для всех выборок данного биоценоза и на этой основе построить гистограмму частот.

3. Постоянство представляет собой следующее отношение, выраженное в процентах:

$$C = (p \cdot 100)/P,$$

где p – число выборок, содержащих изучаемый вид; P – общее число взятых выборок.

В зависимости от значения C есть следующие категории видов:

- постоянные виды встречаются более чем в 50 % выборок;
- добавочные виды встречаются в 25–50 % выборок;
- случайные виды встречаются менее чем в 25 % выборок.

Численность и встречаемость вида не связаны прямой зависимостью. Вид может быть малочисленным, но встречаемость довольно высокая, или многочисленным, но с низкой встречаемостью. В лесу, который состоит из десятков видов растений, обычно один или два из них дают до 90 % древесины. Данные виды называют доминирующими и доминантными. Они занимают ведущее положение в биоценозе. Наземные биоценозы, как правило, носят название по доминирующим видам: березовый лес, ковыльно-типчаковая степь, сфагновое болото.

4. Степень доминирования – это показатель, отражающий отношение числа особей данного вида к числу особей всех видов рассматриваемой группировки. Так, если из 200 птиц, зарегистрированных на данной территории, 100 составляют зяблики, степень доминирования этого вида среди птиц составляет 50 %. Виды, живущие за счет доминантов, получили название преобладающих. Например, в основном лесу таковыми являются кормящиеся на сосне насекомые, белки, мышевидные грызуны.

Доминанты господствуют в сообществе и составляют его видовое ядро. Однако не все доминантные виды влияют одинаково на биоценоз. Среди них выделяют те, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени создают среду для всего сообщества и без которых поэтому существование большинства других видов невозможно. Такие виды называют эдификаторами. Это строители сообщества. Удаление эдификатора из биоценоза влечет за собой изменение физической среды, в первую очередь микроклимата биотопа. Эдификаторами наземных биоценозов выступают определенные виды растений: в березовых лесах – береза, в сосновых – сосна, в степях – злаковые растения. В некоторых случаях эдификаторами являются животные. На территориях, занятых колониями сурков, именно их роющая деятельность определяет большей частью характер ландшафта, микроклимат и условия произрастания растений.

Второстепенные виды (малочисленные) очень важны в сообществе. Их преобладание – это гарантия устойчивого развития биоценоза. В наиболее богатых биоценозах практически все виды малочисленны, но чем беднее видовой состав, тем больше видов-доминантов. Разнообразие биоценоза тесно связано с его устойчивостью: чем выше видовое разнообразие, тем стабильнее биоценоз.

Наиболее благоприятные условия для существования множества видов характерны для переходных зон между сообществами, которые называют экотонами, а тенденцию к увеличению здесь видового разнообразия называют краевым эффектом. Экотон богат видами прежде всего потому, что они попадают сюда из пограничных сообществ, но, кроме того, он может содержать и свои характерные виды, которых нет в этих сообществах. Яркий пример – лесная опушка, на которой пышнее и богаче растительность, гнездится значительно больше птиц, больше насекомых, чем в глубине леса. Здесь разнообразнее условия освещенности, влажности, температуры. Чем сильнее разли-

чия двух соседствующих биоценозов, тем разнороднее условия на их границах и тем сильнее проявляется пограничный эффект.

Таким образом, все виды, слагающие биоценоз, в определенной степени связаны с доминирующими видами и эдификаторами.

Внутри биоценоза формируются в той или иной степени тесные группировки, комплексы популяций, которые зависят от растений-эдификаторов или от других элементов биоценоза, создаются своеобразные структурные единицы биоценоза – консорции.

Консорции (термин был введен Л. Г. Раменским в 1952 г.) – это совокупность популяций организмов, жизнедеятельность которых в пределах одного биоценоза трофически или топически связана с центральным видом – растением. Популяции растения, например березы, на базе которого формируется консорция, называют детерминантом, а виды, объединенные вокруг него – консортами. Среди консортов имеются виды, которые получают от детерминанта питание и энергию или связаны с ним трофически (пищевыми связями), и есть виды, связанные топически (находящиеся на нем жилище и укрытие). Многие консорты одновременно и сами являются детерминантами консорций. Так, белка – консорт ели, имеет свою консорцию из хищников (куница), паразитов, располагающихся на ее теле или в гнезде, и организмов, питающихся ее пометом. Входя в консорцию, белка вносит в нее и своих консортов. В связи с этим все виды консорций делят на консортов 1-го порядка, 2-го порядка и т. д. Консортами 1-го порядка являются виды, связанные непосредственно с детерминантом, а виды, идущие в свите консортов 1-го порядка, составляют группу консортов 2-го порядка. Среди консортов имеются виды, входящие в состав только одной консорции, а есть и такие, которые являются членами двух или более консорций, тем самым способствуя объединению организмов биоценоза в единый комплекс. Связи в консорциях могут быть длительными, т. е. на протяжении всей жизни консортов: здесь они растут, развиваются, размножаются (жуки-короеды, усачи), или же связи носят сезонный характер (клестеловик, хвоееды). Состав консорции – результат длительного процесса подбора видов, способных существовать в условиях местообитания детерминанта. Каждая консорция – структурная единица биоценоза.

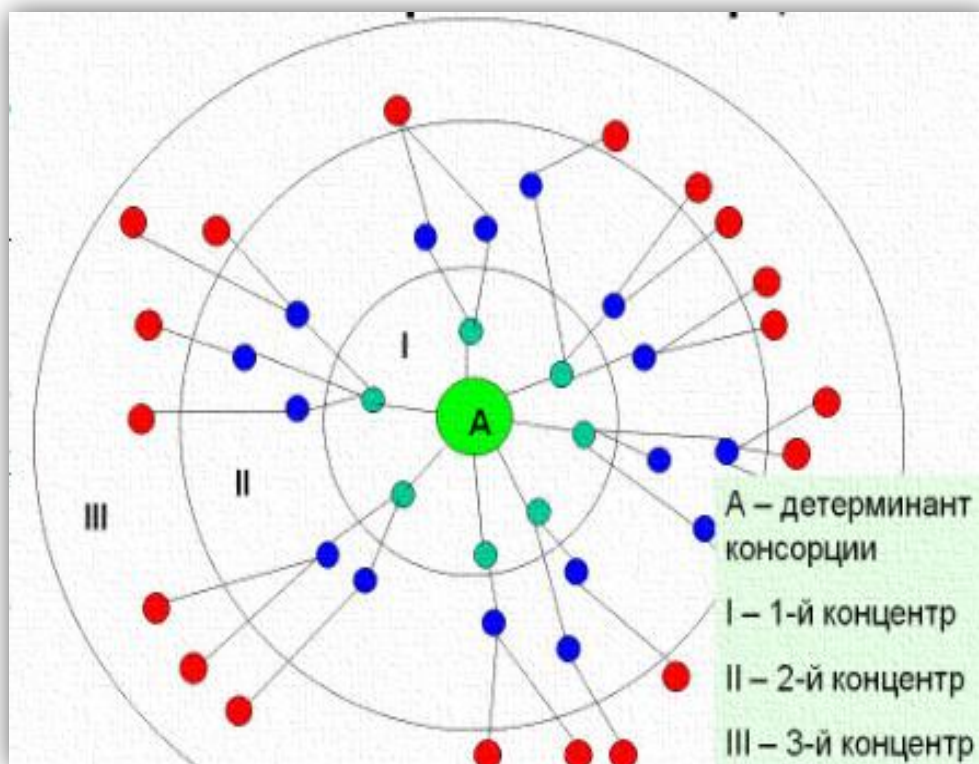


Рисунок 41 – Схема строения консорции

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

Ярусность – это вертикальное расслоение биоценозов на равновысокие структурные части. Особенно четко она выражена в растительных сообществах (фитоценозах). Вертикальное ярусное строение особенно хорошо заметно в лесах умеренного и тропических поясов (5–6 ярусов). Ярусность позволяет растениям более полно использовать световой поток – в верхних ярусах располагаются светолюбивые (гелиофиты), в нижних – теневыносливые (факультативные гелиофиты) и в самом низу улавливают остаток света тенелюбивые растения (сциофиты). Ярусность выражена и в травянистых сообществах, но не столь явно как в лесах. В вертикальном направлении под воздействием растительности изменяется микросреда: выравнивается и повышается температура, изменяется газовый состав за счет изменения направления потоков углекислого газа ночью и днем, выделения сернистых газов хемосинтезирующими бактериями и т. п. Изменение микросреды способствует образованию и определенной ярусности фауны – от насекомых, птиц и до млекопитающих.

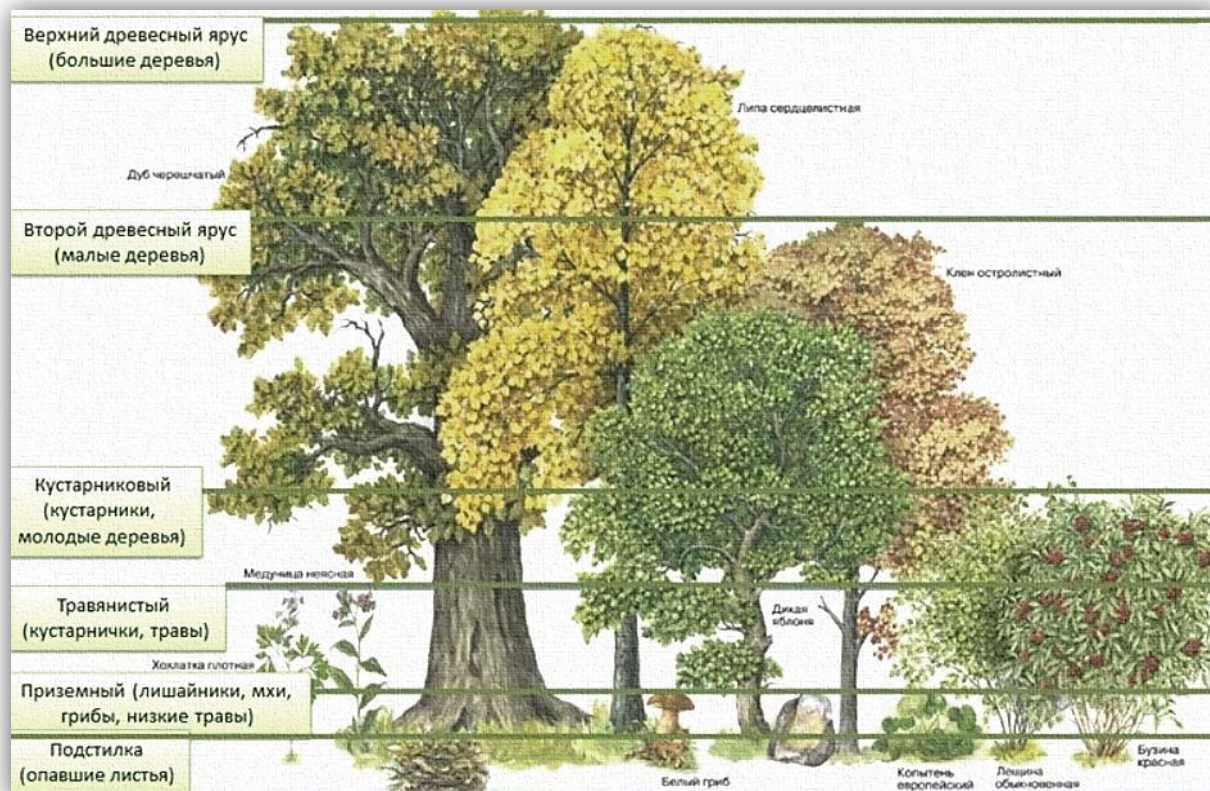


Рисунок 42 – Вертикальная ярусность в лесу

Помимо ярусности, в пространственной структуре биоценоза наблюдается **мозаичность** – изменение растительного и животного мира по горизонтали.



Рисунок 43 – Мозаичность ландшафтов

Мозаичность обусловлена рядом причин: неоднородностью микрорельефа, почв, средообразующим влиянием растений и их биологическими особенностями. Она может возникнуть в результате деятельности животных (образование выбросов почвы и их последующее зарастание, образование муравейников, вытаптывание трав-

стоя копытными) или человека (выборочная рубка, кострища и др.), вследствие вывалов древостоя во время ураганов и т. д.

Разные типы биоценозов характеризуются определенным соотношением экологических групп организмов, которое выражает экологическую структуру сообщества.

Биоценозы со сходной экологической структурой могут иметь разный видовой состав, так как в них одни и те же экологические ниши могут быть заняты сходными по экологии, но далеко не родственными видами. Такие виды, выполняющие одни и те же функции в сходных биоценозах называют викарирующими (или замещающими). Явление экологического викариата широко распространено в природе. Например, одну и ту же экологическую нишу занимают куница в европейской и соболь в азиатской тайге. Экологическая структура биоценозов, складывающихся в определенных климатических и ландшафтных условиях, строго закономерна. Так, например, в биоценозах разных природных зон закономерно изменяется соотношение фитофагов и сапрофагов (животные, питающиеся трупами других животных, гниющими остатками (жуки-мертвоеды, личинки мух)). В степных, полупустынных и пустынных районах животные-фитофаги преобладают над сапрофагами, в лесных сообществах умеренного пояса, наоборот, сильнее развита сапрофагия. Основной тип питания животных в глубинах океана – хищничество, тогда как в освещенной, поверхностной зоне пелагиали много фильтраторов, потребляющих фитопланктон, либо видов со смешанным характером питания. Трофическая структура таких сообществ различна.

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

5.2. Типы связей и взаимоотношений между организмами в биоценозе

Прямые и косвенные межвидовые связи по значению, которое они имеют для занятия видом в биоценозе определенного положения, подразделяются на 4 типа (по В. Н. Беклемишеву, 1970):

Трофические связи – один вид питается другим, в том числе останками или продуктами жизнедеятельности.



Рисунок 44 – Трофические взаимоотношения организмов

Топические связи характеризуют любое физическое или химическое изменение условий обитания одного вида в результате жизни другого.



Рисунок 45 – Топические взаимоотношения организмов

Форические связи – один вид участвует в распространении другого. Перенос животными семян, спор, пыльцы – зоохория. Перенос животными других более мелких животных – форезия.



Рисунок 46 – Форические взаимоотношения организмов

Фабрические связи – один вид использует для своих сооружений (фабрикация) продукты выделения, мертвые остатки или даже живых особей другого вида.



Рисунок 47 – Фабрические взаимоотношения организмов

Каждый конкретный вид из-за сложности межвидовых взаимоотношений может преуспевать не везде, где складываются для него подходящие условия физической среды. Отмечают физиологический и синэкологический оптимумы в распространении вида.

Физиологический оптимум – благоприятное для вида сочетание всех видов абиотических факторов, при котором возможны наиболее быстрые темпы роста и размножения.

Синэкологический оптимум – биотическое окружение, при котором вид испытывает наименьшее давление со стороны врагов и конкурентов, что позволяет ему успешно размножаться. Физиологический и синэкологический оптимумы не всегда совпадают. Например, массовое размножение гессенской мухи – вредителя зерновых – после особенно суровых зим, которые должны были бы неблагоприятно сказаться на численности данного насекомого. В нормальные по

условиям годы гессенскую муху сильно истребляют несколько видов ее естественных врагов – паразитических перепончатокрылых наездников. Из-за слабой морозоустойчивости в суровые зимы враги гессенской мухи погибают практически полностью. Это дает возможность вредителю восстановить собственную численность, уменьшенную низкими температурами в зимний период, и беспрепятственно размножиться в угрожающем для урожая количестве.

Межвидовые связи, формирующие биоценоз, обуславливают закономерные соотношения в нем видов, их экологических особенностей, численности, распределения в пространстве, т. е. создают определенную структуру биоценоза.



Рисунок 48 – Основные типы возможных биотических межвидовых взаимоотношений

Таким образом, все биотические связи можно разделить на 6 групп:

- популяции не влияют друг на друга (00);
- популяции имеют взаимовыгодные связи (++);
- отношения вредны для обоих видов (– –);

- один из видов получает выгоду, другой испытывает угнетение (+ –);
- один вид получает пользу, другой не испытывает вреда (+ 0);
- один вид угнетается, другой не извлекает пользы (– 0).

Конкуренция – это взаимоотношения, возникающие между видами со сходными экологическими требованиями.

При внутривидовой конкуренции между особями сохраняются взаимоотношения, при которых они в состоянии размножаться и обеспечивать передачу свойственных им наследственных свойств.



Рисунок 49 – Внутривидовая конкуренция

Внутривидовая конкуренция проявляется в территориальном поведении, когда, например, животное защищает место своего гнездовья или известную площадь в его округе. Так, в период размножения птиц самец охраняет определенную территорию, на которую, кроме своей самки, не допускает ни одной особи своего вида. Такую же картину можно наблюдать и у многих рыб (например, колюшки). Проявлением внутривидовой конкуренции является существование у животных социальной иерархии, которая характеризуется появлением в популяции доминирующих и подчиненных особей.

Конкуренция между особями одного вида из-за пищи по мере увеличения плотности популяции становится более острой. В некоторых случаях внутривидовая конкуренция может приводить к дифференциации вида, к распадению его на несколько популяций, занимающих разные территории. Так, у саванной овсянки один экологический подви́д размещается на сухих холмах, другой – на прибрежных солончаках. Конкуренция нередко является причиной переселения части особей популяции из одного географического района в другой.



Рисунок 50 – Межвидовая конкуренция

Межвидовой конкуренцией называют активный поиск двумя или несколькими видами одних и тех же пищевых ресурсов среды обитания. Конкурентные взаимоотношения, как правило, возникают между видами со сходными экологическими требованиями. При совместном обитании каждый из них находится в невыгодном положении в связи с тем, что присутствие другого вида уменьшает возможности в овладении пищевыми ресурсами, убежищами и другими средствами к существованию, имеющимися в местообитании. Конкуренция относится к форме экологических отношений, отрицательно сказывающейся на взаимодействующих партнерах. Конкурентные взаимоотношения могут быть самыми различными – от прямой физической борьбы до мирного совместного существования. И вместе с тем, если два вида с одинаковыми экологическими потребностями оказываются в одном сообществе, то обязательно один конкурент вытесняет другого. Это одно из общих экологических правил, получившее название «закон конкурентного исключения», сформулированного Г. Ф. Гаузе. Победителем в конкурентной борьбе оказывается тот вид, который в данной экологической обстановке имеет хотя бы небольшие преимущества перед другим, а следовательно, и большую приспособленность к условиям окружающей среды.

Нейтрализм – оба вида независимы и не оказывают друг на друга никакого влияния. При нейтральзме особи не связаны друг с другом непосредственно, и сожительство их на одной территории не влечет для них как положительных, так и отрицательных последствий, это зависит от состояния сообщества в целом.



Рисунок 51 – Организмы, не влияющие друг на друга непосредственно (нейтрализм)

Аменсализм – тип межвидовых взаимоотношений, при котором в совместной среде обитания один вид подавляет существование другого, не испытывая противодействия.

Так тяжелые крупные животные, такие, как слоны или носороги, могут негативно влиять на мелкие растения, уничтожая их своим весом и не получая при этом никакой выгоды.

Примером одностороннего отрицательного средообразования может служить влияние деревьев-доминантов на виды мохового и травяного ярусов. Под пологом деревьев уменьшается освещенность, повышается влажность воздуха. При разложении опада деревьев почвы обедняются, поскольку при этом образуются кислоты, способствующие вымыванию элементов минерального питания вглубь почвенного слоя. Этот процесс особенно активен в таежном еловом лесу, так как ель – сильный средообразующий вид. Выносливые виды, участвующие в напочвенном покрове, компенсируют пагубность этого влияния и обеспечивают экологическое равновесие в таком лесу. При этом деревья (ингибиторы) не вступают в конкурентные отношения с видами напочвенного покрова (аменсалами), так как конкуренция подразумевает соревнование между видами при использовании определенного ресурса среды.



Рисунок 52 – Пример аменсализма (ели и травы)

Плесневый гриб *Penicillium* выделяет пенициллин – вещество, подавляющее рост различных бактерий, но бактерии не оказывают влияния на плесневый гриб.

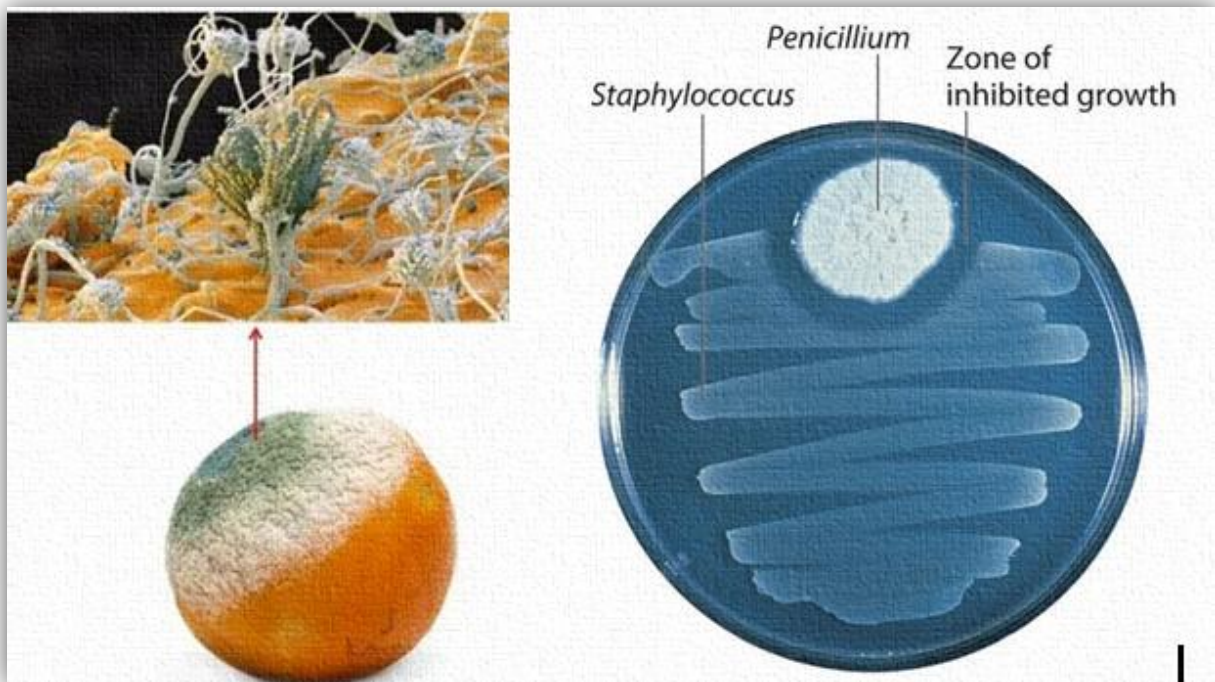


Рисунок 53 – Пример аменсализма (пеницилум и его влияние на бактерии)

Хищничество – такой тип взаимоотношений, при котором представители одного вида поедают представителей другого, т. е. организмы одного вида служат пищей для другого.



Рисунок 54 – Хищничество

Паразитизм – это форма взаимоотношений между видами, при которой организмы одного вида (паразита, потребителя) живут за счет питательных веществ или тканей организма другого вида (хозяина) в течение определенного времени.

Примером в мире растений может послужить *Orobanche* – это род паразитических цветковых растений, которые получают воду и питательные вещества, паразитируя на корнях других растений. Они не имеют листьев и хлорофилла, их корневая система служит для всасывания воды и питательных веществ из корней хозяина. Как и большинство паразитических растений, они имеют специализированную структуру – гаустории, которые используются для присоединения к корням хозяйского растения.



Рисунок 55 – Растение-паразит. Заразиха подсолнечника

Раффлезия – растение-паразит с самыми большими цветками в мире – более 1 м в диаметре и массой более 11 кг. Стеблей и корней у этого растения нет. Все нужные для своего развития вещества это растение получает, паразитируя на корнях и стеблях лиан из рода циссус.



Рисунок 56 – Растение-паразит. Раффлезия

Хищником называют свободно живущий организм, питающийся другими животными организмами или растительной пищей. Паразит не ведет свободной жизни, и хотя бы на одной стадии своего развития он связан с поверхностью (эктопаразит) или с внутренними органами (эндопаразит) другого организма, являющегося его хозяином.

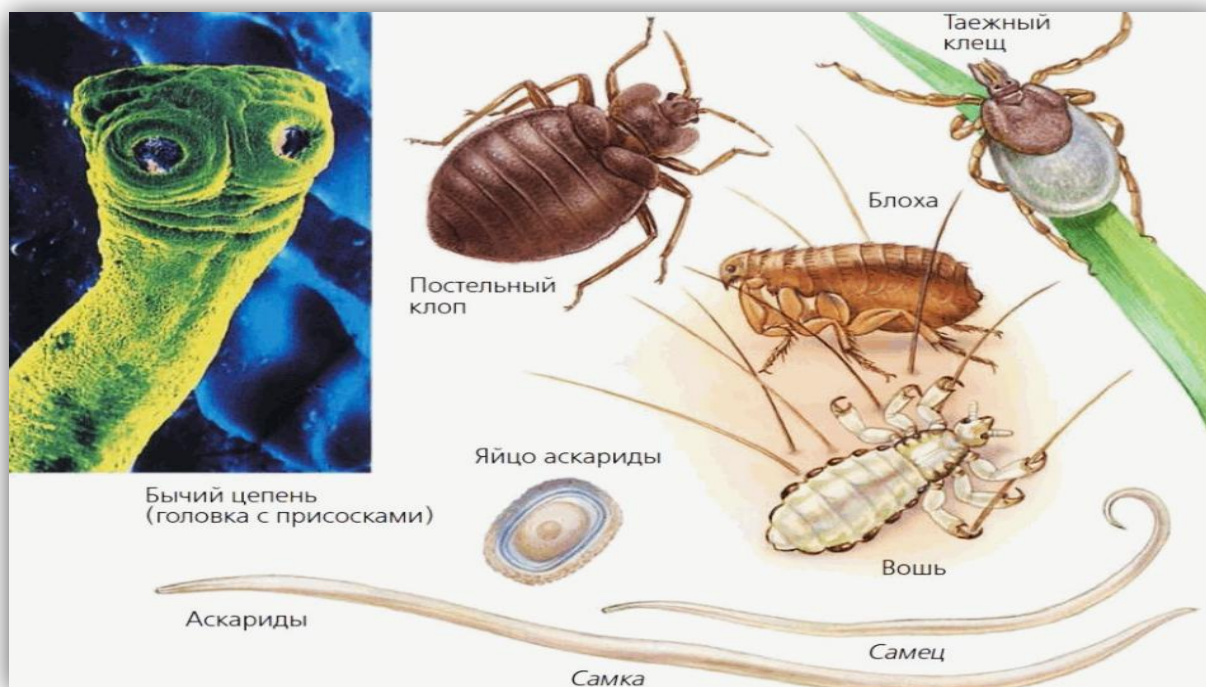


Рисунок 57 – Примеры паразитирующих организмов



Рисунок 58 – Личинки овода

И хищник, и паразит могут существовать за счет одного или нескольких видов. При этом различают следующие виды:

- полифаги – нападающие на большое число видов. К ним относятся многие хищные млекопитающие и насекомые. Насекомые-фитофаги питаются самыми различными растениями. Так, гусеница стеблевого мотылька поражает более чем 200 видов растений;
- олигофаги – живущие за счет нескольких, часто близких видов. Например, колорадский жук питается картофелем и другими растениями, относящимися главным образом к пасленовым. Солитер паразитирует в человеке, свинье, различных плотоядных и грызунах;
- монофаги – живущие за счет только одного хозяина. Монофагия является правилом для многих паразитических насекомых, например, таких, как грушевый цветоед – на груше, шелковичный червь – на тутовом дереве.

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

Комменсализм – взаимоотношения, при которых один из партнеров получает пользу, не нанося ущерба другому (усоногие рачки, прикрепляющиеся к коже кита, преимущество – более быстрое передвижение).

Различают три формы комменсализма:

1. Трофобиоз, или нахлебничество, основано на потреблении остатков пищи хозяев. Таковы, например, взаимоотношения львов и гиен, подбирающих остатки недоеденной пищи, или акул с рыбами-прилипалами.



Рисунок 59 – Пример нахлебничества. Рыба прилипала

2. Синойкия (квартиранство). Примером синойкии являются взаимоотношения птиц-волоклеев или буйволоковых скворцов, которые садятся на плечи буйволов и вычищают их шерсть от паразитов. Живут не только на буйволах, но и на носорогах, жирафах, зебрах, бегемотах и антилопах.



Рисунок 60 – Пример квартиранства. Буйволоковые скворцы

3. Сотрапезничество – потребление разных веществ или частей одного и того же ресурса. Так, взаимоотношения между различными видами почвенных бактерий, перерабатывающих разные органические вещества из перегнивших растительных остатков и высшими

растениями, которые потребляют образовавшиеся при этом минеральные соли. Комменсализм обычно связан с поиском пищи или необходимого укрытия. Пример – сосуществование некоторых мелких рыб с крупными актиниями (рис. 61).



Рисунок 61 – Пример комменсализма. Актиния и рыба-клоун

Рыбки нечувствительны к стрекательным нитям актинии и подбирают остатки пищи между щупальцами, а актинии невольно обеспечивают этим рыбкам защиту. Очень часто комменсалами являются бактерии и простейшие, живущие в кишечнике и на поверхности более крупных организмов.

Мутуализм – симбиотические взаимоотношения, неразделимые взаимопользные связи двух видов, предполагающие обязательное тесное сожительство организмов. Например, лишайник, сожительство гриба и водоросли – возник из паразитизма гриба на водорослях.



Рисунок 62 – Симбиоз водоросли и гриба – строение лишайника

Гриб предохраняет водоросль от избыточного освещения и высушивания, доставляет минеральные вещества и воду. Водоросль обеспечивает гриб синтезированными ею органическими веществами. Водоросль может существовать самостоятельно, а гриб нет.

К мутуализму относятся симбиоз азотфиксирующих организмов с голосеменными и цветковыми растениями – отношения между высшим растением и бактериями. На корнях многих растений встречаются клубеньки, образованные бактериями или реже грибами.

Клубеньковые бактерии фиксируют атмосферный азот и переводят его в доступную для высших растений форму.

Например, клубеньки на корнях растений из семейства бобовых образованы бактериями из рода ризобиум (*Rhizobium*), а также на корнях видов лисохвоста, лоха, облепихи, подокарпуса, ольхи (*Actinomyces alni*) и других растений.



Рисунок 63 – Клубеньки на корнях бобовых растений

Благодаря этому растения, зараженные клубеньковыми бактериями, могут хорошо расти на почвах, бедных азотом, а содержание азота в почве после культуры таких растений возрастает. В свою очередь бактерии получают от высших растений углеводы.

Протокооперация (Сотрудничество) – простой тип симбиотических связей.

При этой форме совместное существование выгодно для обоих видов, но не обязательно для них, т. е. не является неременным условием выживания видов (популяций). Например, дерево и гриб. Грибы делятся с деревьями водой и солями, а деревья питают грибы питательными веществами.



Рисунок 64 – Пример протокооперации – микориза

Следует помнить, что в природе во взаимоотношения оказывается вовлеченной не пара видов, а гораздо большее число. Межвидовые связи в природе бесконечно разнообразны.

5.3. Концепция экологической ниши

Экологическая ниша – это совокупность всех связей вида со средой обитания, которые обеспечивают существование и воспроизведение особей данного вида в природе.

Термин экологическая ниша предложил в 1917 г. Дж. Гриннелл для характеристики пространственного распределения внутривидовых экологических группировок.

Первоначально понятие экологической ниши было близко к понятию местообитания. Однако в 1927 г. Ч. Элтон определил экологическую нишу как положение вида в сообществе, подчеркнув особую важность трофических связей. Российский биолог и эколог Г. Ф. Гаузе расширил это определение: экологическая ниша – это место вида в экосистеме – совокупность всех требований живых организмов к условиям существования.

Понятие «экологическая ниша» следует отличать от понятия «местообитание». В последнем случае подразумевается та часть пространства, которая заселена видом и которая обладает необходимыми абиотическими условиями для его существования. Экологическая ниша вида зависит не только от абиотических условий среды, но и в не меньшей мере от его биоценотического окружения. Характер за-

нимаемой экологической ниши определяется как экологическими возможностями вида, так и тем, насколько эти возможности могут быть реализованы в конкретных биоценозах. Это характеристика того образа жизни, который вид может вести в данном сообществе.

Экологическую нишу, определяемую только физическими особенностями организмов, называют фундаментальной, а ту, в пределах которой вид реально встречается в природе, – реализованной. Реализованная ниша – эта та часть фундаментальной ниши, которую данный вид, популяция в состоянии отстоять в конкурентной борьбе.

Каждое местообитание постоянно предоставляет возможности жизнедеятельности множеству организмов. Соответствующие экологические ниши формируются в результате развития тех или иных специальных адаптаций у определенных видов. Так, представители разных видов птиц, обитающих совместно, имеют разные рационы питания, активны в разное время суток, и как следствие, занимают разные экологические ниши. Один и тот же вид в разные периоды развития может занимать различные экологические ниши. Например, головастик питается растительной пищей, а взрослая лягушка – уже плотоядное животное.

Суть принципа вытеснения, также известного как принцип Гаузе, состоит в том, что каждый вид имеет свою собственную экологическую нишу. Никакие два разных вида не могут занять одну и ту же экологическую нишу. Сформулированный таким образом принцип Гаузе подвергался критике. Например, одним из известных противоречий этому принципу является парадокс планктона. Все виды живых организмов, относящихся к планктону, живут на очень ограниченном пространстве и потребляют ресурсы одного рода (главным образом солнечную энергию и морские минеральные соединения).

Современный подход к проблеме разделения экологической ниши несколькими видами указывает, что в некоторых случаях два вида могут разделять одну экологическую нишу, а в некоторых такое совмещение приводит один из видов к вымиранию.

Экологическая ниша не может быть пустой. Если вид вымирает и ниша пустеет, то она тут же заполняется другим видом.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют показатели оценки видового биоразнообразия биологических сообществ?
2. Приведите примеры организмов доминантов и эдификаторов.
3. Какие процессы могут отражать изменения видового состава сообщества? Каково значение разнообразия видов в сообществе?
4. Что такое экотон? Каковы причины краевого эффекта?
5. Чем можно объяснить длительное сосуществование конкурирующих видов в природе?
6. В чем причина конкурентной борьбы за экологическую нишу и суть принципа Гаузе?
7. В чем состоят положительные взаимодействия между видами?
8. Что называется «экологической нишей»? Чем это понятие отличается от «местообитания»?

6. ЭКОСИСТЕМЫ И ПРИНЦИПЫ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

6.1. Понятие экосистемы, биогеоценоза, биома

Термин «экосистема» введен в экологию английским ботаником А. Тенсли в 1935 г.

Экосистема – любая совокупность взаимодействующих живых организмов и условий среды, функционирующих как единое целое за счет обмена веществом, энергией и информацией. Экосистема – это взаимосвязанный комплекс живых и неживых компонентов Земли. Живые компоненты: растения, животные, грибы, микроорганизмы (биоценоз); неживые компоненты: атмосфера, солнечная энергия, вода, почва (биотоп экосистемы).

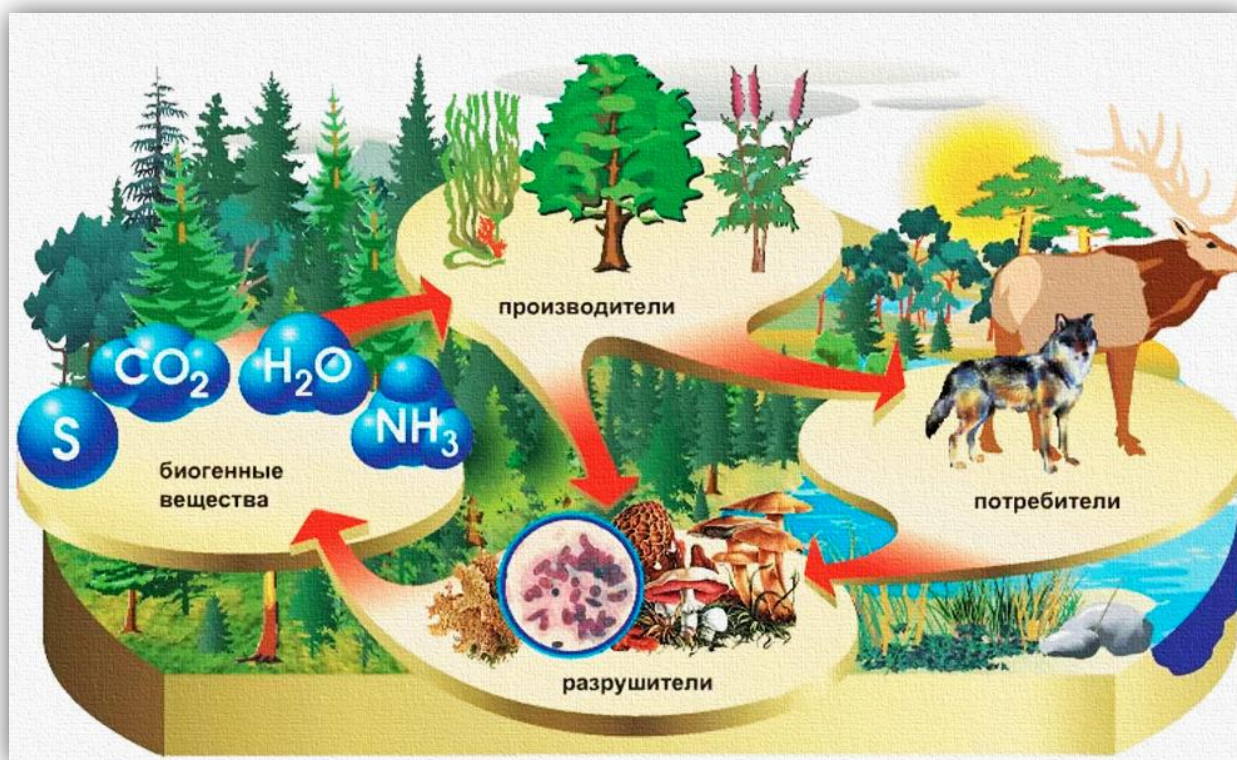


Рисунок 65 – Структурная схема экосистемы

Биогеоценоз – (термин предложен русским ученым В. Н. Сукачевым в 1942 г.) – участок земной поверхности с однородными природными явлениями, которые объединены обменом веществ и энергии в единый природный комплекс.

Термины «биогеоценоз» или «экосистема» можно применять к сообществам и их средам различных размеров, например, кочка среди болота или пенек в лесу, нора с ее населением, аквариум являются при-

мерами микроэкосистемы; отдельную растительную ассоциацию со всеми ее живыми компонентами (например, ельник-брусничник и т. п.) или озеро можно назвать мезоэкосистемой, а океан, суша и отдельные типы растительности (лес, степь, луг и т. п.) являются макроэкосистемой.



Рисунок 66 – Структурная схема биоценоза

Взаимосвязь всех биогеоценозов нашей планеты создает гигантскую глобальную экосистему, называемую биосферой.

Однако в последние годы в содержании этих близких по сущности понятий – «биогеоценоз» и «экосистема» – обозначилось различие. При этом у одних и тех же структурных единиц природы, но обозначенных разными терминами, обсуждаются разные стороны и свойства. Поэтому создается видимость разности самих природных объектов, обозначаемых разными названиями, тогда как речь идет лишь о разных подходах в изучении (и описании) свойств одного и того же природного тела. Действительно, понятия «биогеоценоз» и «экосистема» не синонимичны (как, например, не являются синонимами имя и фамилия, одного человека), но оба учения – о биогеоценозе и об экосистеме – дополняют и обогащают друг друга (принцип дополнительности), обеспечивают более полное и разностороннее выявление свойств надорганизменных природных биосистем, образующих живой покров нашей планеты.

Основные отличия заключаются в том, что термином «биогеоценоз» обозначается природный комплекс живых организмов и окружающей среды, осуществляющий круговорот веществ, на конкретном участке земной поверхности, границы которого можно даже нанести на карту, к тому же биогеоценозы обычно имеют свои определенные названия (ельник-кисличник или ельник-зеленомошник, злаково-полынная степь и пр.). Тогда как термином «экосистема» обозначают любую совокупность живых организмов и условий среды, в которой может осуществляться круговорот веществ между живой и неживой частями, независимо от того, на какой конкретной поверхности Земли протекают эти события. Примером отдельных экосистем может быть разлагающаяся лепешка коровьего помета, небольшой временный водоем (канавка, пруд, аквариум), или луг, лес, поле, озеро, или целый океан, материк, город, или вся биосфера нашей планеты. Во всех этих и других случаях между живым населением и абиотической средой существуют теснейшие материально-энергетические связи, определяющие тип круговорота веществ и скорость протекающих процессов. Однако все это свойственно и биогеоценозу.

В последние годы термин «экосистема» стал особенно популярным. Сопоставляя определения, можно увидеть, что понятия «экосистема» в понимании ряда экологов есть то же самое, что «биогеоценоз» (и «биоценоз») у многих других экологов. Поэтому вполне справедливы слова видного эколога нашей страны И. А. Шилова, который пишет: «Несмотря на некоторые различия в смысловых нюансах, термины «биоценоз», «экосистема» и «биогеоценоз» практически означают одно и то же природное явление, надвидовой уровень организации биологических систем». Поэтому вполне правомерны все три термина, хотя они не являются синонимами. Главное что они обозначают одно и то же природное явление – надорганизменную многовидовую биосистему как систему надвидового уровня организации живой материи.

Очень крупные экосистемы называются биомами. Каждый биом включает целый ряд меньших экосистем, связанных друг с другом. Каждая экосистема имеет характерный набор растений, животных и микроорганизмов. Выделение в биомах различных экосистем производится условно. Четкие границы между ними встречаются редко. Между биомами находится переходная зона с видами свойственными обоим соседствующим экосистемам, например, лесостепи. Экосисте-

мы не изолированы, процессы в одной экосистеме неизбежно затрагивают другие экосистемы.

Ю. Одум выделяет три группы природных экосистем:

- наземные экосистемы – это тундра, тайга, широколиственные леса, пустыня, степи, саванны;
- морские экосистемы: открытый океан, прибрежные воды, глубоководные зоны, устья рек;
- пресноводные экосистемы – стоячие воды, текущие воды, заболоченные угодья.

6.2. Концепция экосистемы

Сложный процесс взаимодействия организмов и среды в экосистеме протекает в форме биологического круговорота веществ и движения энергии. Круговорот в экосистеме (биогеоценозе) выполняет функцию фактора, интегрирующего взаимодействие биотопа и биоценоза. В различных экосистемах круговорот веществ идет при участии различных компонентов и с разной скоростью, но везде его первоосновой является процесс автотрофного биосинтеза.

Поддержание жизнедеятельности организмов и круговорот веществ в экосистемах осуществляется только при постоянном притоке энергии. Энергия поступает в экосистему в виде солнечного излучения. Согласно основным законам термодинамики, в экосистеме энергия переходит из одного вида в другой. Часть поступающей солнечной энергии преобразуется сообществом и переходит в качественно более высокую ступень (в химические связи), трансформируясь в органическое вещество, являющееся более концентрированной формой энергии, чем солнечный свет. Но большая часть энергии деградирует, проходя в процессе движения через экосистему, и покидает ее в виде низкокачественной тепловой энергии (метаболическое тепло).

Концепция экосистемы базируется на принятии принципа (закона) энергетической проводимости, согласно которому поток энергии, вещества и информации в системе должен быть сквозным, охватывающим всю экосистему или косвенно отзывающимся в ней. Иначе система не будет иметь свойств единства, целостности. Естественно, что в разных экосистемах длительность (и скорость) прохождения потока энергии, вещества и информации будет разной, специфической для конкретной экосистемы.

Само движение вещества и энергии в экосистеме подчинено ряду закономерностей. Среди них:

- закон сохранения массы (масса веществ до химической реакции равна массе веществ после химической реакции);
- закон сохранения энергии или первый закон термодинамики (энергия не создается и не исчезает, а переходит из одного состояния в другое);
- второй закон термодинамики (энергетические процессы могут идти самопроизвольно лишь при переходе энергии из концентрированной формы в рассеянную), при этом происходящие потери энергии в виде тепла обуславливают невозможность стопроцентного перехода одного вида энергии (например, кинетической) в другую (например, механическую или энергию химических связей);
- закон максимизации энергии (выживает в соперничестве с другими та система, которая способствует лучшему поступлению энергии и использует ее максимальное количество наиболее эффективным способом);
- правило основного обмена (динамическая система в стационарном состоянии использует приход энергии, вещества и информации главным образом для своего самоподдержания и саморазвития).

Вещество и энергия для функционирования и развития системы должны обязательно поступать из внешней среды. Открытые системы, к которым относятся экосистемы, могут развиваться только за счет использования материально-энергетических и информационных возможностей окружающей среды. Изолированное саморазвитие экосистемы невозможно. Вещество, энергия и информация, поступающие в систему извне, по сути являются важнейшими факторами существования этой системы.

Живые организмы, входящие в состав экосистемы, неодинаково ассимилируют вещества и энергию. Зеленые растения непрерывно усваивают из атмосферного воздуха огромное количество углекислого газа и образуют ежегодно около 170 млрд. тонн органического вещества. При этом растения запасают много солнечной энергии, общее количество которой оценивается в $20,9 \cdot 10^{22}$ кДж. Кроме того, синтез органического вещества может осуществляться и бактериями. Животные в отличие от растений и бактерий не могут осуществлять реакции фото- и хемосинтеза и вынуждены использовать солнечную

энергию опосредованно – через органическое вещество, созданное фотосинтезирующими организмами.

Таким образом, благодаря разнообразию населения в биогеоценозе образуется цепь последовательной передачи вещества и заключенной в нем энергии от одних организмов к другим (трофическая цепь). Этот сквозной поток энергии, проходя через трофическую цепь экосистемы, постепенно гасится, поскольку на всех этапах этой цепи идет потеря энергии, главным образом в виде тепла.

Американский ученый Р. Л. Линдеман (1942 г.) сформулировал правило, имеющее реальную силу, которое именуют как закон пирамиды энергий или закон 10 %. Согласно этому закону, с одного уровня в трофической цепи экосистемы может быть передано следующему, более высокому звену в среднем только 10 % количества энергии, притом этот процесс носит не плавный, а ступенчатый, точнее каскадный характер. В настоящее время подсчитано, что в дикой природе от одного трофического уровня населению следующего передается доступной энергии в среднем не больше, а значительно меньше 10 %, и чем длиннее пищевые сети, тем больше тратится энергии. На этой основе сформулированы понятия о пирамиде энергетических потоков и пирамиде биомасс в экосистеме и др.

Важно отметить, что звенья, образующие пищевую (трофическую) цепь, неравнозначны с точки зрения занимаемого места в структуре экосистемы. Поэтому экологи вычленяют не просто звенья в пищевой цепи, а рассматривают их как особые трофические уровни. По их количеству определяют трофико-энергетическую структуру экосистемы.

На первом трофическом уровне, естественно, находятся продуценты – зеленые растения, на втором – растительноядные организмы, за ними следуют представители более высокого, третьего уровня – плотоядные организмы, на их основе возникает четвертый уровень – плотоядные второго порядка. В экосистеме, богатой видами, может развиваться пять и даже шесть трофических уровней.

Структура экосистемы характеризуется (как и биогеоценоза) наличием двух системообразующих частей – биотопа и биоценоза, которые включают в себя четыре функционально различных компонента, осуществляющих круговорот веществ и поток энергии.

1. Абиотические факторы среды, или биотоп (местообитание), то есть весь комплекс неживой природы, в том числе: физические факторы (солнечная энергия, давление, теплота и прочее), химические факторы (вода, биогенные элементы, минеральные соли, газы), откуда биоценоз черпает средства жизни и куда выделяет продукты своего обмена.

2. Продуценты, или образователи, представленные комплексом разнообразных зеленых растений и фотосинтезирующих бактерий. Они обеспечивают все живущее здесь население органическим веществом и запасенной энергией. Основная масса из них – автотрофы, т. е. фотосинтезирующие макро- и микроорганизмы, частично их дополняют и хемосинтезирующие бактерии.

3. Комплекс всевозможных организмов – гетеротрофов, живущих за счет готовых органических веществ, которые создали продуценты. Это – консументы, или потребители. Среди них – многообразие организмов растительных, плотоядных, паразитических и пр.

4. Комплекс организмов, разлагающих органические соединения до минерального состояния. Это – редуценты, или разлагатели, представление макро- и микроорганизмами, среди них бактерии, грибы, животные (простейшие).

Между четырьмя звеньями существует тесная взаимосвязь и зависимость. Свойства каждого звена во многом определяют свойства каждого последующего звена, равно как и оно само находится в зависимости от функционирования других звеньев. Все процессы жизнедеятельности организмов в биогеоценозе протекают на фоне взаимодействия с окружающей средой. Сюда включается аккумуляция солнечной энергии, потребление химических веществ из почвы, воздуха и возвращение веществ от живых организмов в абиотическую среду.

Экосистемы могут быть любого ранга в зависимости от того, какого ранга (т. е. какое количество и качество поступающей энергии) в нем осуществляется круговорот веществ, вовлекающий с помощью живого населения (продуценты, консументы и редуценты) биогенные элементы абиотической среды (углерод, азот, фосфор, калий и т. д.) в циклы. Каждая экосистема характеризуется своим особым биогеохимическим циклом движения веществ и энергии. В действительности, хотя в каждой экосистеме биогеохимический круговорот (то же на уровне биогеоценоза) может быть завершен, в реальности обособленных круговоротов в природе нет – все они объединяются (на уровне

биосферы) в единую систему – биологический круговорот. В этом процессе проявляется глобальная функция живого населения нашей планеты.

Таким образом, основными компонентами экосистемы являются: природный резервуар элементов минерального питания и сообщества живых организмов с функционально различными свойствами в виде продуцентов, консументов и редуцентов. Продуценты – это система автотрофов, способных с помощью световой энергии строить ткань своего тела из неорганических соединений. Консументы и редуценты – гетеротрофные организмы. Первые – растительноядные и плотоядные организмы, вторые – организмы, разлагающие всевозможные остатки органики. Те и другие в сети цепей питания разрушают органические вещества, созданные продуцентами, возвращают химические элементы в минеральный резервуар неживой природы. В результате вещества вновь становятся доступными для автотрофов. Возврат биогенных элементов в среду осуществляется как в течение жизни организмов (путем дыхания, выделения, дефекации, регулярного отпада частей тела – волос, кожи, рогов, скорлупы, листьев, побегов, корневых волосков и так далее), так и после их смерти в результате разложения трупов и отмерших растений.

Известно, что ресурсы биогенных элементов, необходимых для построения тел живых организмов на земной поверхности, не безграничны, но система биогеохимических круговоротов придает этим запасам свойство бесконечности, необходимое для продолжения жизни внутри каждой отдельной экосистемы и в глобальном масштабе – в биосфере в целом.

Однако следует заметить: в то время как вещество, в том числе биогенные элементы (углерод, фосфор, азот и др.), необходимые для жизни, и вода многократно используются внутри самой экосистемы, энергия, поступающая в нее извне в виде солнечного излучения, необратимо превращается в тепло. Энергия в экосистеме может накапливаться в виде химических связей органических веществ, снова высвобождаться или экспортироваться по цепям питания, но она не используется вторично.

При характеристике экосистемы обычно рассматриваются такие ее свойства:

1. Структура экосистемы, ее функциональные компоненты, круговороты химических веществ, величина и скорость однонаправ-

ленного потока энергии, качество этой энергии, то есть все то, что определяет, как работает экосистема.

2. Энергетика системы, характер поступления энергии (естественное солнечное или в виде топлива) с расчетом энергетического баланса скорости фиксации солнечной энергии в химические связи с синтезируемой биомассой в зависимости от присутствующего населения и условий окружающей среды, их качественного и количественного состояния.

3. Направления и скорость движения веществ и энергии по цепям питания и разложения, геохимические циклы в круговороте веществ для выяснения функционирования систем.

4. Продуктивность экосистемы в виде биологической продукции (первичной, вторичной) и биомассы, пирамиды продукции (пирамиды энергии и биомассы), продуктивность отдельных трофических уровней или отдельных представителей живого населения, привлекающих внимание человека с тех или иных позиций.

5. Трофико-динамическое состояние экосистемы и утилизация организмами природных ресурсов и потока энергии с количественной оценкой значения отдельных популяций, входящих в экосистему и находящихся на разных ступенях использования энергии.

6. Биологическая регуляция геохимической среды, отражающая факты зависимости химической и физической среды на земле от жизнедеятельности организмов.

6.3. Потоки вещества и энергии в экосистеме

Жизнь на Земле существует за счет солнечной энергии – единственный на земле пищевой ресурс, энергия которого в соединении с углекислым газом и водой рождает процесс фотосинтеза. Солнечная энергия через растения как бы передается всем организмам.

Энергия передается от организма к организму, создавая пищевую или трофическую цепь, т. е. перенос веществ и заключенной в них энергии от автотрофов к гетеротрофам, происходящий в результате поедания одними организмами других. Число звеньев в ней может быть различным, но обычно их бывает от 3 до 5.

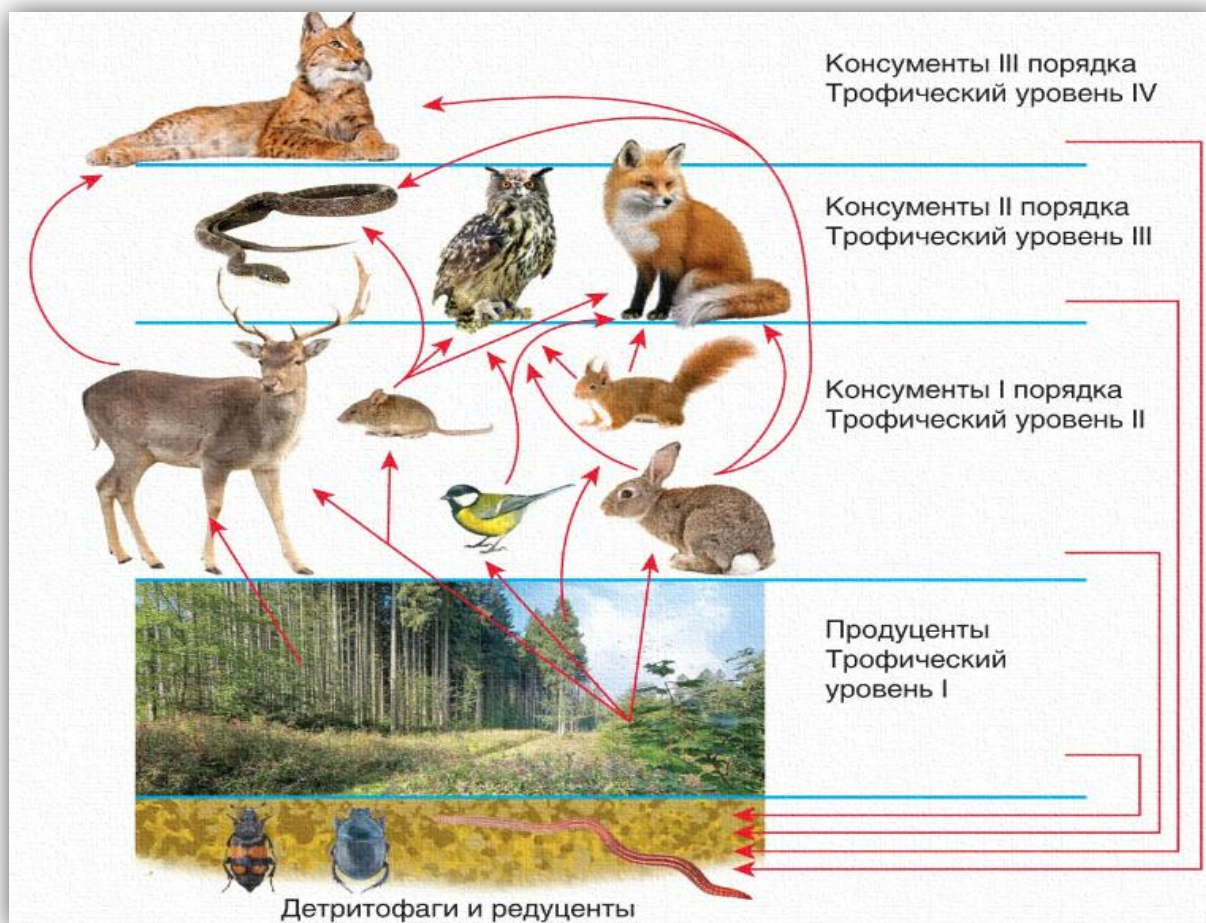


Рисунок 67 – Сеть питания в лесной экосистеме

Совокупность организмов, объединенных одним типом питания и занимающих определенное положение в пищевой цепи называется трофический уровень.

Первый трофический уровень – это продуценты (гелиотрофы, хемотрофы), второй – это растительноядные консументы 1-го порядка (фитофаги), третий – плотоядные консументы 2-го порядка, питающиеся растительноядными консументами 1-го порядка (зоофаги), четвертый – редуценты или деструкторы, разлагают органические вещества до неорганических.

Большая часть энергии при переходе с одного трофического уровня на другой, более высокий теряется. Приблизительно потери составляют 90 %: на каждый следующий уровень передается не более 10 % энергии от предыдущего уровня. Так, если калорийность продуцента 1000 Дж, то при попадании в тело фитофага остается 100 Дж, в теле хищника 10 %.

Таким образом, входя в экосистему, поток лучистой энергии разбивается на две части, распространяясь по двум видам трофических сетей, но источник энергии общий – солнечный свет.

Различают два вида трофических цепей: цепи выедания или пастбищные, которые начинаются с поедания фотосинтезирующих растений (растения – гусеницы – насекомоядные птицы – хищные птицы), и детритные цепи разложения, которые начинаются с остатков отмерших растений, трупов, экскрементов животных (коровий помет – личинки мух – скворцы – ястребы – перепелятники).

Принцип биологического накопления. В круговорот веществ в экосистеме часто добавляются вещества, попадающие сюда извне. Эти вещества концентрируются в трофических цепях и накапливаются в них, то есть происходит биологическое накопление. Это явление наглядно видно на примере концентрирования радионуклидов и пестицидов в трофических цепях. Наиболее известна способность к биологическому накоплению ДДТ – вещества, ранее широко применяемого для борьбы с вредными насекомыми и запрещенного к применению в настоящее время.

6.4. Продуктивность экосистем

Продуктивность экологической системы – это скорость, с которой продуценты усваивают лучистую энергию в процессе фотосинтеза и хемосинтеза, образуя органическое вещество, которое затем может быть использовано в качестве пищи. Различают разные уровни продуцирования, на которых создается первичная и вторичная продукция. Органическая масса, создаваемая продуцентами в единицу времени, называется первичной продукцией, а прирост за единицу времени массы консументов – вторичной продукцией.

Первичная продукция подразделяется на два уровня – валовую и чистую продукции. Валовая первичная продукция – это общая масса валового органического вещества, создаваемая растением в единицу времени при данной скорости фотосинтеза, включая и траты на дыхание. Растения тратят на дыхание от 40 до 70 % валовой продукции. Меньше всего ее тратят планктоновые водоросли – около 40 % от всей использованной энергии. Та часть валовой продукции, которая не израсходована «на дыхание», называется чистой первичной продукцией – это величина прироста растений, – и именно эта продукция потребляется консументами, редуцентами.

Вторичная продукция не делится на валовую и чистую, так как консументы и редуценты, т. е. все гетеротрофы, увеличивают свою массу за счет первичной продукции: используют ранее созданную продукцию; рассчитывают вторичную продукцию отдельно для каждого трофического уровня, так как она формируется за счет энергии, поступающей с предшествующего уровня.

Все живые компоненты экосистемы – продуценты, консументы и редуценты – составляют общую биомассу сообщества в целом или его отдельных частей, тех или иных групп организмов. Биомассу обычно выражают через сырой и сухой вес, но можно выразить и в энергетических единицах – калориях и джоулях, что позволяет выявить связь между величиной поступающей энергии и средней биомассой.

На образование биомассы расходуется не вся энергия, но та энергия, которая используется, создавая первичную продукцию, может использоваться в разных экосистемах по-разному. Если скорость изъятия энергии консументами отстает от скорости прироста растений, то это ведет к постепенному приросту биомассы продуцентов и возникает избыток мертвого органического вещества. Последнее приводит к заторфовыванию болот, зарастанию мелких водоемов, созданию большого запаса подстилки в таежных лесах. В стабильных сообществах практически вся продукция тратится в трофических сетях и биомасса остается постоянной. Разные биогеоценозы продуцируют неодинаковое количество органических веществ. Мало их образуется в пустынных экосистемах и тундрах. Наиболее продуктивны леса, особенно тропические.

6.5. Экологические пирамиды

Функциональные взаимосвязи, т. е. трофическую структуру можно изобразить графически в виде экологических пирамид. Основанием пирамиды служит уровень продуцентов, а последующие уровни питания образуют этажи и вершину пирамиды.

Известны три основных типа экологических пирамид.

1. Пирамида чисел – отражающая численность организмов на каждом трофическом уровне (пирамида Элтона). Эта пирамида – наиболее простое приближение к изучению трофической структуры экосистемы. При этом сначала подсчитывают число организмов на данной территории, сгруппировав их по трофическим уровням и

представив в виде прямоугольника, длина (или площадь) которого пропорциональна числу организмов, обитающих на данной площади (или в данном объеме, если это водная экосистема).

Пирамида численности может иметь правильную форму, т. е. суживаться кверху (правильная или прямая), а может быть и перевернутой вершиной вниз (перевернутая или обращенная)

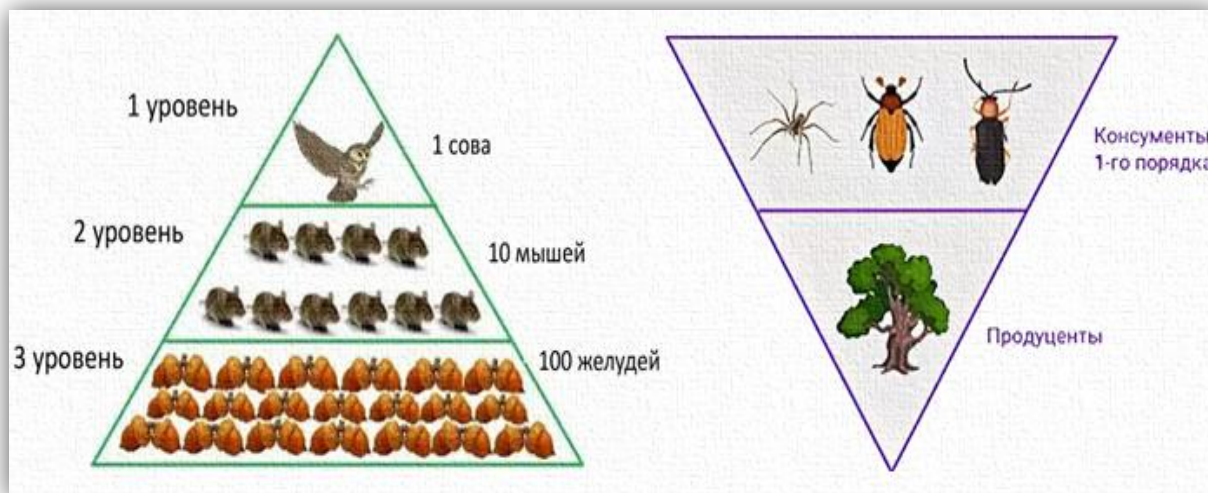


Рисунок 68 – Пирамиды чисел

2. Пирамида биомассы, характеризующая массу живого вещества – общий сухой вес, калорийность и т. д.

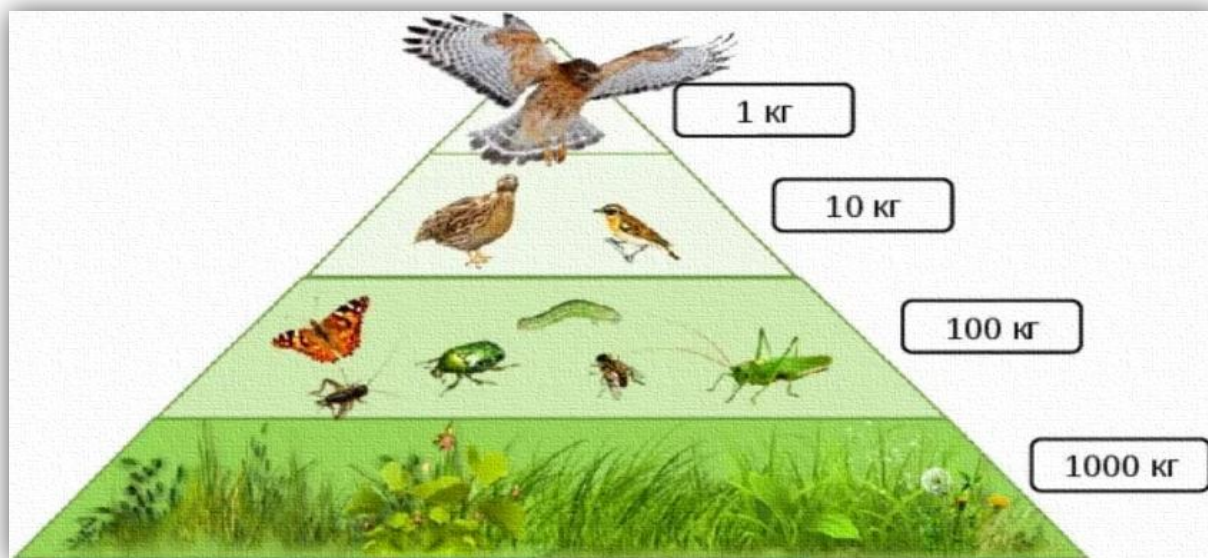


Рисунок 69 – Пирамида биомассы

3. Пирамида продукции (или энергии), имеющая универсальный характер, показывающая изменение первичной продукции (или энергии) на последующих трофических уровнях.

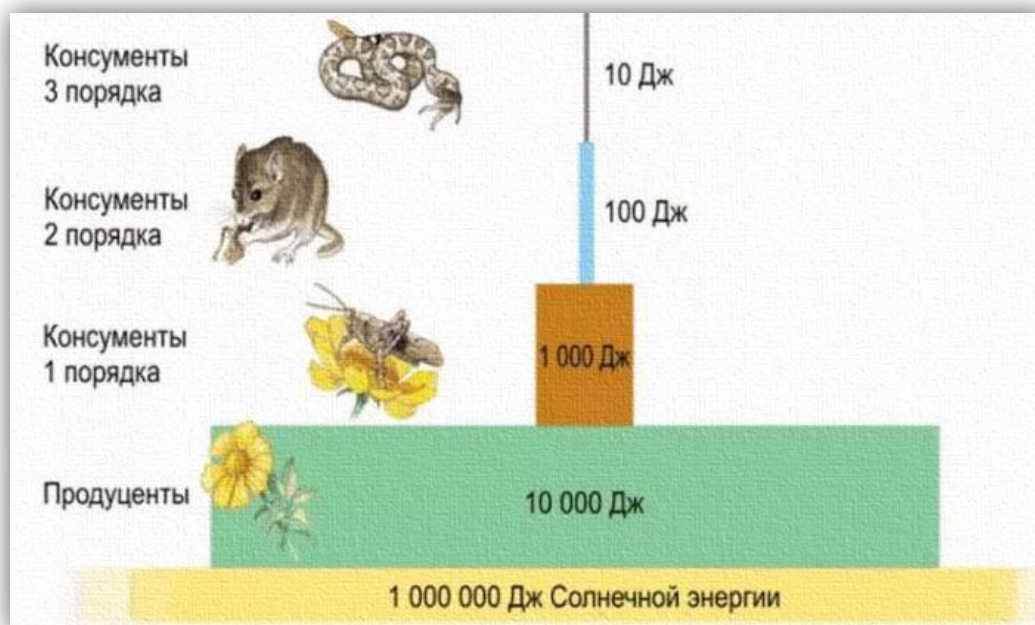


Рисунок 70 – Пирамида продукции и поток энергии

Пирамида чисел отображает отчетливую закономерность, обнаруженную Элтоном: количество особей, составляющих последовательный ряд звеньев от продуцентов к консументам, неуклонно уменьшается. В основе этой закономерности лежит, во-первых, тот факт, что для уравнивания массы большого тела необходимо много маленьких тел; во-вторых, от низших трофических уровней к высшим теряется количество энергии (от каждого уровня до предыдущего доходит лишь 10 % энергии) и, в-третьих, обратная зависимость метаболизма от размера особей (чем мельче организм, тем интенсивнее обмен веществ, тем выше скорость роста их численности и биомассы).

В наземных экосистемах действует следующее правило пирамиды биомасс: суммарная масса растений превышает массу всех травоядных, а их масса превышает всю биомассу хищников. Это правило соблюдается, и биомасса всей цепочки изменяется с изменениями величины чистой продукции, отношение годового прироста которой к биомассе экосистемы невелико и колеблется в лесах разных географических зон от 2 до 6 %. И только в луговых растительных сообществах она может достигать 40–55 %, а в отдельных случаях, в полупустынях – 70–75 %. Для океана правило пирамид недействительно: она имеет перевернутый вид, так как для экосистемы океана характерна тенденция накопления биомассы на высоких уровнях, у хищников. Хищники живут долго и скорость оборота их поколений мала,

но у продуцентов – фитопланктонных водорослей – оборачиваемость может в сотни раз превышать запас биомассы. Это значит, что их чистая продукция и здесь превышает продукцию, потраченную консументами, т. е. через уровни продуцентов проходит больше энергии, чем через всех консументов. Отсюда понятно, что еще более совершенным отражением влияния трофических отношений на экосистему должно быть правило пирамиды продукции (или энергии): на каждом предыдущем трофическом уровне количество биомассы, создаваемой за единицу времени (или энергии), больше, чем на последующем. Пирамида продукции отражает законы расходования энергии в трофических цепях.

В конечном счете, все три правила пирамид отражают энергетические отношения в экосистеме, а пирамида продукции (энергии) имеет универсальный характер.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под трофической структурой экосистем? Что называют трофическим звеном и трофической цепью?

2. Какие энергетические процессы происходят в экосистемах? По каким закономерностям энергия рассеивается и передается в цепях питания? Почему энергетическая цена животной пищи существенно выше энергетической цены растительной пищи?

3. Как взаимосвязаны энергетические потоки и трофические цепи в экосистеме? Цепи выедания (пастбищные) и цепи разложения (детритные).

4. Какое экологическое значение имеют продуцирование и разложение в природе?

5. Что называется продуктивностью и биомассой экосистем? Как связаны эти показатели с воздействием экосистем на среду?

6. Что называется сукцессией? Назовите виды сукцессий. Приведите примеры первичных и вторичных сукцессий.

7. Как изменяются основные параметры и свойства экосистем в сукцессионном ряду? Перечислите основные закономерности сукцессионного процесса.

8. В чем сущность первичной и вторичной сукцессии? Эвтрофикация.

9. Что понимается под сукцессионной серией? Как возникает климаксное сообщество?

7. УЧЕНИЕ О ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ – БИОСФЕРЕ

7.1. Понятие о биосфере. Учение В.И. Вернадского

В эру научно-технического прогресса особое значение приобретают знания о жизненных процессах на Земле в целом. Важную роль в этих процессах играют живые организмы. За миллиарды лет, прошедшие с момента образования нашей планеты, они наполнили атмосферу кислородом и азотом, очистили ее от углекислого газа, сформировали отложения известняка, нефти, природного газа. В процессе эволюции на Земле образовалась особая оболочка – биосфера (греч. *bios* – «жизнь», *sphaira* – «шар») в буквальном переводе обозначающая «сферу жизни».

Это понятие ввел немецкий ученый, профессор Лейпцигского университета Ф. Ратцель (1845–1904 гг.) в книге «Органический мир и его происхождение» (1869 г.). В этой книге он рассматривал органическое население Земли как живой покров планеты, а ее поверхность называл пространством жизни. В 1875 г. Эдуард Зюсс (1831–1914 гг.) в книге «Лик Земли» писал о биосфере как особой оболочке Земли, охваченной жизнью, наравне с атмосферой, гидросферой, литосферой.

Заслуга в разработке стройного, целостного научного учения о биосфере как области жизни принадлежит русскому академику В. И. Вернадскому (1926 г.). В основе его учения лежат представления о планетарной геохимической роли живого вещества и о самоорганизованности биосферы.

По современным представлениям, биосфера – это особая оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами. Она охватывает часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы, взаимосвязанные биогеохимическими циклами миграции веществ и энергии. Верхний предел жизни можно провести в стратосфере, на уровне озонового экрана, поглощающего космическое коротковолновое излучение. Фактически организмы распространяются ниже его границы. До 5 км, в редких случаях до 10 км, с потоками воздуха, с пылью могут подниматься в атмосферу споры и микроорганизмы. На 7 км в высоту из птиц поднимается кондор. В горах на 8-километровой высоте наблюдались тли, на 6-километровой высоте встречались бабочки, цветковые растения –

на высоте 6,5 км. Нижней границей в геосфере являются слои, расположенные на глубине 3–3,5 км и имеющие температуру порядка 100 °С. Нефтеносные воды с микроорганизмами были обнаружены при бурении на полуострове Мангышлак на глубине 4–4,5 км. Нижняя граница в гидросфере совпадает с максимальными океаническими глубинами (Марианский желоб – порядка 11 км).

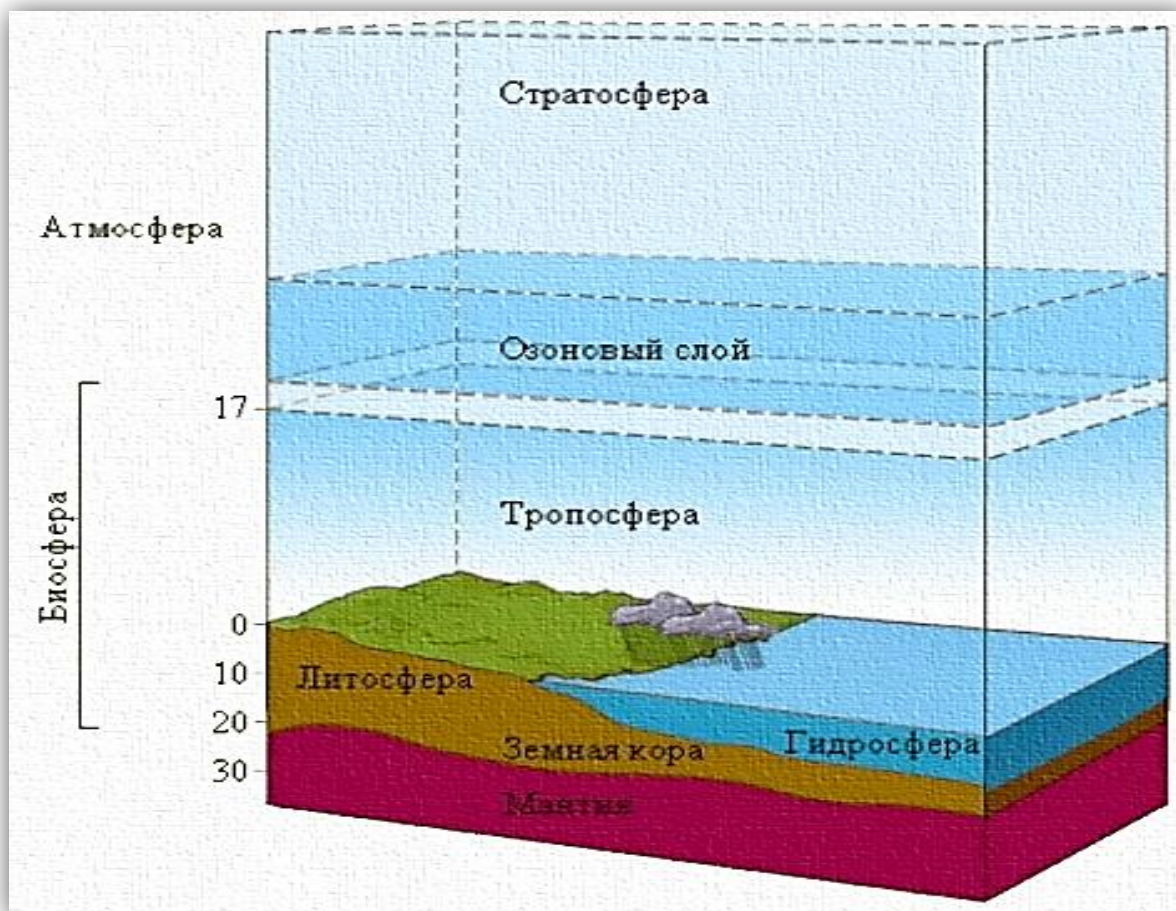


Рисунок 71 – Границы биосферы

Вещественный состав биосферы в соответствии с учением В. И. Вернадского включает семь глубоко разнородных, но геологически не случайных частей:

- живое вещество – совокупность всех живых организмов, населяющих нашу планету (люди, животные, птицы, растения, рыбы, микроорганизмы и т. д.);
- биогенное вещество – органические и органоминеральные вещества, созданные живыми организмами на протяжении геологической истории Земли и являющиеся источником чрезвычайно мощной энергии (все формы детрита, а также торф, уголь, известняк, нефть, газ биогенного происхождения и т. д.);

- косное вещество – совокупность всех неживых тел, образующихся в результате процессов, не связанных с деятельностью живых организмов (породы магматического и метаморфического происхождения, некоторые осадочные породы и т. д.);

- биокосное вещество – совокупность неживых тел, образованных в результате жизнедеятельности живых организмов (почва, кора выветривания, ил, природные воды, приземный воздух атмосферы и т. д.);

- вещество радиоактивного распада (элементы и изотопы уранового, ториевого и актиноуранового ряда);

- рассеянные атомы земного вещества и космических излучений;

- вещество космического происхождения в форме метеоритов, космической пыли и т. д.

В учении о биосфере выделяют следующие основные подходы:

- энергетический (связь биосферных явлений с космическим излучением (прежде всего, излучением Солнца) и радиоактивными процессами в недрах Земли);

- биогеохимический (роль живого в распределении атомов в биосфере);

- информационный (принципы организации и управления в живой природе);

- пространственно-временной (формирование и эволюция различных структур биосферы);

- ноосферный (глобальные аспекты воздействия человека на окружающую среду).

Функции и свойства живого вещества. В. И. Вернадский в своем учении о биосфере особое место уделял живому веществу. Его он рассматривал не просто как живые существа, заполняющие пространство среды, а как целостную функционально значимую для биосферы компоненту, реализующую непрерывную связь многообразных геологических и биологических процессов, отмечая, что биологическое разнообразие – основа формирования устойчивых биогеохимических циклов вещества и энергии в биосфере нашей планеты.

Живое вещество – это совокупность всех форм жизни в биосфере. Характеризуя его, Вернадский отмечал, что живое вещество «рассеянное в мириадах особей, непрерывно умирающих и рождающихся», несмотря на удивительную разницу форм и размеров живых организмов, обладает одним общим свойством – оно проявляется в био-

сфере как физико-химическое единство. Такое единство в свойствах живого вещества Вернадский объясняет единством возникновения и развития жизни, в результате чего на нашей планете наблюдается не только родство всех многообразных живых организмов, но проявляется и их физико-химическое сродство. Он допускает, что это единство не исключает широкого различия реакций живых существ на физическое и химическое воздействия окружающей среды, однако эта разница проявляется лишь в количественных, а не качественных показателях. Единство действия живого вещества в биосфере, сформулированное В. И. Вернадским, считается одним из основных законов всего органического мира.

Другое важное обобщение, сделанное В. И. Вернадским и названное им как биогеохимический принцип, заключается в том, что в биосфере с помощью живого вещества постоянно совершается биогенная миграция химических элементов (атомов) из внешней среды в живое вещество и из живого вещества в окружающую среду. Организм выбирает из среды нужные ему элементы в виде соединений и атомы в виде изотопов. При этом биохимические процессы распадаются на два типа: одни связаны с питанием, дыханием, размножением организмов; другие – с разрушением тела отмерших организмов, то есть с разрушением тела живого вещества и переходом его в косную материю. Эти два функционально разнокачественных типа живых организмов, характеризующих гетерогенность биосферы, являются важнейшими функциональными (материально-энергетическими) компонентами в структуре биосферы.

Важнейшая функция биосферы – регулярное создание живого вещества. Количество живого вещества всех групп растительных и животных организмов составляют биосферу. Скорость ее продуцирования (на единицу площади) – одна из необходимых характеристик продуктивности биосферы. Продуктивность биомассы – величина зональная, и в год она составляет: от 1 и менее т/га – в полярных и тропических пустынях, 1–2,5 т/га в тундре, 8–10 т/га в тайге, 10–15 т/га – в широколиственных лесах и лесостепях, до 30–50 т/га – во влажных тропических лесах. Обновление всего живого вещества происходит в среднем за восемь лет: наземной биомассы – за 14 лет, в океане – 33 дня, в том числе фитомасса океана – ежедневно, при этом годовая продукция биомассы близка к таковой для пустынь – 1,7 т/га в год.

Развивая идеи о роли живого вещества в биосфере, Вернадский охарактеризовал особенности этого вещества, как уникального явления планеты. Особенности живого вещества, по его мнению, заключаются в следующем.

- Несмотря на удивительную разницу форм и размеров живых организмов, живое обладает одним общим свойством – оно проявляется в биосфере как физико-химическое единство.

- Все химические реакции в живом веществе благодаря участию ферментов протекают значительно быстрее, чем в других веществах планеты. И наоборот, химические реакции, протекающие в неживой материи очень быстро, в живых организмах идут намного медленнее. Химические реакции протекают в живых организмах с удивительной упорядоченностью и в менее жестких условиях, чем вне их. Упорядочивающую роль в химических реакциях живого вещества выполняют преимущественно ферменты.

- В возникающих химических связях живого вещества заключено огромное количество свободной энергии. Термином «свободная энергия» Вернадский называл солнечную энергию. Поэтому живое вещество выступает как накопитель и трансформатор лучистой энергии мирового пространства.

- Живому веществу свойственна подвижность, обеспечивающая перенос вещества против силы тяжести и в горизонтальном направлении. С помощью движения живое вещество способно заполнить собой все возможное пространство путем растекания живого под «давлением жизни». Растекаясь по земной поверхности, оно переносит вместе с собой органические вещества и энергию, полученную от Солнца. В. И. Вернадский выделяет две формы растекания, движения живого вещества:

- а) пассивную (осуществляется путем роста и размножения организмов);

- б) активную (осуществляется путем направленного перемещения организмов), выражающуюся в движении животных, растений, бактерий, грибов и человека.

- Живое вещество характеризуется значительно большим морфологическим и химическим разнообразием, чем любое косное вещество. Притом оно постоянно обновляется, так как благодаря размножению существует на Земле в форме непрерывного чередования поколений.

- Живое вещество, в отличие от косного, постоянно производит работу («геологическую работу»), то есть увеличивает биологическую массу и разнообразие форм жизни, изменяет среду обитания и тем преобразовывает физико-химические параметры биосферы. Вся масса осадочных пород – это результат работы живого вещества.

- Живое вещество представлено в биосфере в виде дискретных тел – отдельных особей. Будучи дисперсным, живое вещество на Земле никогда не существует в виде обособленных организмов, а всегда представлено сообществами популяций разных видов (биоценозами), между которыми существуют различные взаимосвязи, важнейшими среди них выступают пищевые связи. Возникновение биоценозов идет в истории Земли одновременно с появлением живых организмов.

- Характерной для живого вещества является способность к эволюционному процессу. В истории Земли появилось огромное число разнообразных видов, способных существовать в тех или иных условиях биосферы. Путем эволюции у животных сформировались разные типы обмена веществ, способность создавать из неорганических органические вещества, способность их утилизировать и возвращать в косную среду. Разнообразие живых форм, отличающихся разным типом взаимодействия с внешней средой – одни из нее потребляют вещества, другие разлагают и выделяют в среду продукты жизнедеятельности, – имеет большое значение в поддержании жизни как планетарного явления.

- Специфические свойства живого вещества показывают, что в биосфере Земли нет другого вещества, более мощного и активного в геологическом отношении.

7.2. Функции живого вещества в биосфере

- **Газовая** – способность изменять и поддерживать определенный газовый состав среды обитания и атмосферы в целом. Живые существа постоянно обмениваются кислородом и углекислым газом с окружающей средой в процессах фотосинтеза и дыхания. Они строго контролируют концентрации газов, оптимальные для всей биоты. Преобладающая масса газов на Земле (азот, метан) имеет биогенное происхождение.

- **Концентрационная** – «захват» из окружающей среды живыми организмами и накопление в них атомов биогенных химических элементов. Пропуская через свое тело большие объемы природных веществ, живые организмы осуществляют биогенную миграцию и концентрирование химических элементов и их соединений. В теле живых организмов в основном концентрируются водород, углерод, кислород, азот, натрий, магний, кремний, кальций, калий, хлор, сера. Это объясняет неоднородность химического состава биосферы и ее отличие от химического состава неживого вещества планеты.

- **Энергетическая** – связывание и запасание солнечной энергии в органическом веществе и последующее рассеяние энергии при потреблении и минерализации органического вещества. Эта функция связана с питанием, дыханием, размножением и другими процессами жизнедеятельности организмов.

- **Окислительно-восстановительная** – окисление и восстановление различных веществ с помощью живых организмов. Под влиянием живых организмов происходит интенсивная миграция атомов элементов с переменной валентностью (Fe, Mn, S, P, N и др.), создаются их новые соединения, происходит отложение сульфидов и минеральной серы, образование сероводорода и т. п.

- **Информационная** – для живых организмов активная информация записана в молекулярной накопленной живыми организмами определенной информации, закрепление ее в наследственных структурах и передача последующим поколениям. Это одно из проявлений адаптационных механизмов.

- **Деструктивная** – разрушение организмами и продуктами их жизнедеятельности, в том числе и после их смерти, как остатков органического вещества, так и косных веществ. Наиболее существенную роль в этом отношении выполняют редуценты (деструкторы) – сапрофитные грибы и бактерии.

- **Транспортная** – перенос вещества и энергии в результате активной формы движения организмов.

- **Средообразующая** – преобразование физико-химических параметров среды в результате процессов жизнедеятельности организмов.

- **Рассеивающая** – функция, противоположная концентрационной, – рассеивание веществ в окружающей среде. Она проявляется через трофическую и транспортную деятельность организмов. На-

пример, рассеивание вещества при выделении организмами экскрементов, смене покровов и т. п.

- **Биогеохимическая деятельность человека** – превращение и перемещение веществ биосферы в результате человеческой деятельности для хозяйственных и бытовых нужд человека. Например, использование концентраторов углерода – нефти, угля, газа и др.

7.3. Круговороты веществ в биосфере

Растения, животные и микроорганизмы связаны постоянным обменом веществ и энергии с окружающей природной средой. Наряду с образованием живого вещества и аккумуляцией энергии в биосфере, идут противоположные процессы – разрушение сложных органических соединений и их превращение в простые минеральные: углекислый газ, различные соли, аммиак, вода и др. Для того чтобы биосфера могла существовать, должны постоянно функционировать круговороты биогенных элементов. Биогенными являются элементы, которые обязательно входят в состав живых организмов: это С, Н, О, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, B, Cl, Br, I. К самым главным биогенным элементам относятся первые шесть: С, Н, О, N, P, S.

Непрерывный круговорот биогенных веществ – основное условие существования жизни и всей биосферы. Из-за исключительно важной роли живых организмов в функционировании круговорота веществ в биосфере называют биологическим или биотическим круговоротом.

Круговоротом веществ называют взаимный обмен веществами между различными природными телами. На Земле различают два круговорота веществ: большой, или геологический, и малый, или биологический.

Большой круговорот веществ в природе (геологический) обусловлен взаимодействием солнечной энергии с глубинной энергией Земли и перераспределяет вещества между биосферой и более глубокими горизонтами Земли. Этот круговорот в системе «магматические породы – осадочные породы – метаморфические породы (преобразованные температурой и давлением) – магматические породы» происходит за счет процессов магматизма, метаморфизма, литогенеза и динамики земной коры. Символом круговорота веществ является спираль: каждый новый цикл круговорота не повторяет в точности

старый, а вносит что-то новое, что со временем приводит к весьма глубоким изменениям (рис. 72).

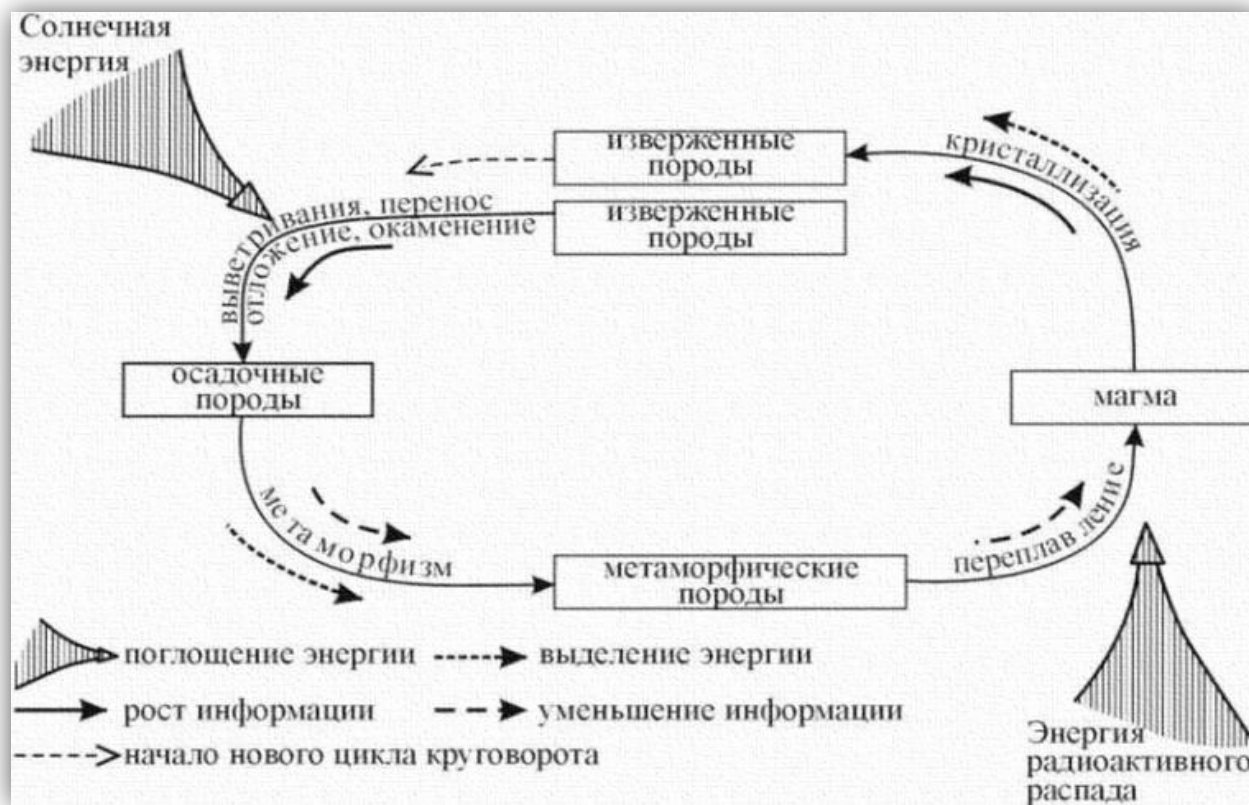


Рисунок 72 – Большой (геологический) круговорот веществ

Большой круговорот – это и круговорот воды между сушей и океаном через атмосферу. Влага, испарившаяся с поверхности океана (на это тратится 50 % солнечной энергии), частично переносится на сушу, где выпадает в виде осадков, которые вновь возвращаются в океан в виде поверхностного и подземного стока, а часть осадков выпадает на эту же водную поверхность океана. В круговороте на Земле ежегодно участвуют более 500 тыс. км³ воды.

Круговорот воды в целом играет основную роль в формировании природных условий на нашей планете. С учетом транспирации воды растениями и поглощения ее в биогеохимическом цикле, весь запас воды на Земле распадается и восстанавливается за два миллиона лет.



Рисунок 73 – Круговорот воды в биосфере

Малым, или биологическим, круговоротом веществ называют обмен химическими элементами (атомами) между живыми организмами и косными компонентами биосферы: атмосферой, гидросферой и литосферой.

Биологический круговорот характеризуется наличием четырех обязательных взаимосвязанных компонентов:

- 1) запаса химических веществ и энергии;
- 2) продуцентов;
- 3) консументов;
- 4) редуцентов.

В итоге все живое население биосферы и окружающая среда, откуда организмы черпают средства жизни и куда выделяют свои продукты жизнедеятельности, создают целостное, тесно связанное, взаимодействующее единство – экологическую систему (экосистему). Организмы вовлекают атомы биогенных веществ из косной части биосферы в свои тела, где поглощенные вещества вступают в различные биохимические реакции, а затем выделяются организмами во внешнюю среду в виде продуктов жизнедеятельности или мертвых тел. Организованная взаимосвязью организмов в глобальную экосистему, жизнь на планете продолжается уже миллионы лет.

В различных биогеоценозах круговорот веществ идет при участии различных компонентов и с разной скоростью, но везде его первоосновой является процесс автотрофного биосинтеза. Изменения массы живого вещества, его структуры, химизма влияют на характер биологического круговорота, его ритма, интенсивности и скорости движения веществ и энергии, дают возможность прогнозировать степень устойчивости глобальной экосистемы. Круговороты биогенных элементов нередко выходят из равновесия, в итоге эти элементы либо накапливаются в экосистеме, либо удаляются из нее. Любая экосистема устойчива лишь в том случае, когда входящие в ее состав взаимодействующие комплексы живых организмов достаточно полно поддерживают круговорот веществ. Изменения массы живого вещества, его структуры, химизма определяют изменения характера биологического круговорота. В описании круговорота веществ иногда называют восходящую часть круговорота и нисходящую часть. Восходящую часть образует взаимодействие растений с окружающей абиотической средой, итогом которого является создание первичной продукции, а нисходящую – все звенья экосистемы, обеспечивающие расход синтезированной продукции до неорганических веществ. Устойчивой оказывается та экосистема, в которой восходящий поток круговорота уравнивается нисходящим потоком.

Круговорот веществ в природе – это относительно повторяющиеся (циклические) взаимосвязанные химические, физические и биологические процессы превращения и перемещения веществ в природе. Движущими силами круговорота служат потоки энергии Солнца (а также и космоса) и непрерывная деятельность живого вещества. С их помощью идет перемещение, концентрирование и перераспределение огромных масс химических элементов, вовлеченных зелеными растениями с помощью фотосинтеза в органические вещества живых существ.

Круговорот веществ поддерживается в экосистеме планеты постоянным притоком все новых и новых порций энергии. Однако круговорота энергии не бывает. Энергия, согласно закону сохранения, не исчезает бесследно, а переходит из одной формы в другую и расходуется на жизнедеятельность организмов, при этом переходит в тепловую форму и рассеивается в окружающем пространстве. В то же время химические элементы, мигрируя в виде пищи от одного организма к другому, могут выходить в абиотическую среду и вновь вовлекать-

ся автотрофами в круговорот жизни, потому многократно (бесконечно) двигаются в круговороте. В какой-то мере круговорот веществ и поток энергии в биосфере напоминают вращение мельничного колеса (круговорот веществ) в струе быстро текущей воды (потоки энергии).

Геологический и биологический круговороты тесно взаимодействуют между собой, порой они сливаются воедино. Однако структурно и функционально они существенно отличаются друг от друга.

По А. О. Тарасову биологический круговорот отличается от геологического следующими особенностями:

1. Действие биологического круговорота разворачивается в границах биогеоценоза, тогда как геологический осуществляется на больших территориях – материках и прилегающих к ним частях океанов.

2. Причиной и движущей силой биологического круговорота является разный характер питания продуцентов и редуцентов, а геологического – круговорот воды между океаном и сушей.

3. В биологическом круговороте участвуют только биогенные элементы, тогда как в геологическом – все химические элементы, находящиеся в земной коре.

4. Продолжительность циклов химических элементов в биологическом круговороте кратковременна – год, несколько лет, десятки или сотни лет, а продолжительность цикла в геологическом – равна десяткам и сотням тысяч лет.

7.4. Биогеохимические циклы

В биологическом круговороте веществ биосферы выделяют несколько циклов химических элементов.

Циклами называют более или менее замкнутые пути циркуляции биогенных веществ из внешней среды в организмы и опять во внешнюю среду. В них прослеживают циркуляцию движения отдельных жизненно важных элементов (например, С, О, Н, N, S, P, Ca, K, Si и др.) и направленность потока энергии, характерные для отдельных биогеоценозов, отдельных регионов или для биосферы в целом. Из них видно, что биогенные элементы разными путями попеременно переходят из живого вещества в неорганическую материю, а из нее вновь идут в живое вещество. Такие элементы называют биофильными.

Скорости круговорота биогенных элементов различны (см. рис. 74).

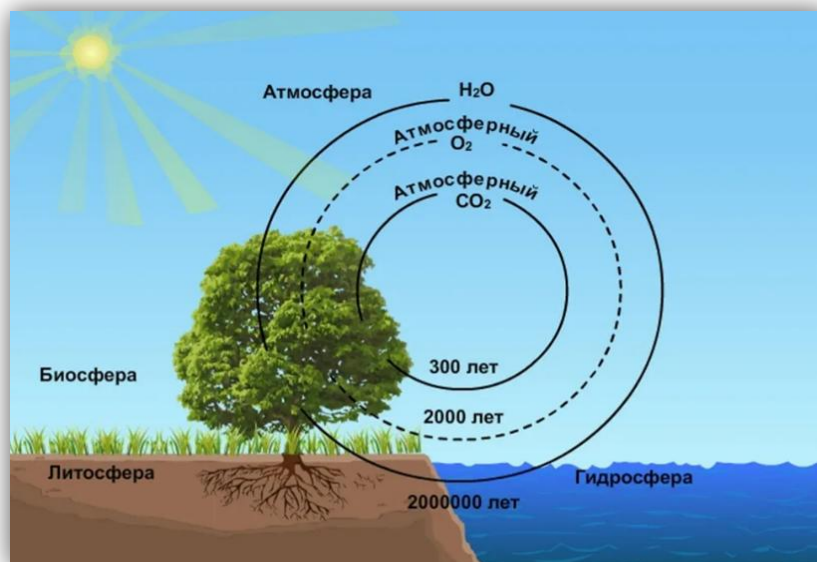


Рисунок 74 – Скорости круговоротов некоторых биогенных элементов (по П. Клауду и Л. Джибору, 1972)

Они зависят как от роли, которую они выполняют в жизнедеятельности организмов, так и от количества этих элементов в земной коре. Например, углерод, содержащийся в углекислом газе атмосферы, совершает полный цикл за 300 лет, атмосферный кислород – за 2 000 лет, а водород воды – за 2 000 000 лет.

Отдельные биогеохимические циклы элементов сливаются в экосистемах (биогеоценозах) в единый биологический круговорот и затем вместе с другими объединяются в общий глобальный биологический круговорот биосферы. Все биогеохимические циклы биогеоценозов не замкнуты. При этом каждый новый цикл не является точным повторением предыдущего, так как природа не остается неизменной.

Вещества и солнечная энергия вовлекаются в круговорот, но энергия в виде тепла уходит, рассеиваясь в пространстве. Нередко и органические вещества выходят из круговорота в окружающую среду в виде залежей. Поэтому и в отдельных биогеоценозах, и во всей биосфере круговороты не замкнуты.

В биогеохимических круговоротах следует различать две части:

1) резервный фонд – это огромная масса движущихся веществ, не связанных с организмами;

2) обменный фонд – значительно меньший, но весьма активный, обусловленный прямым обменом биогенным веществом между организмами и их непосредственным окружением.

В биосфере в целом можно выделить: круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере и гидросфере (океан); осадочный цикл с резервным фондом в земной коре (в геологическом круговороте).

Все эти циклические процессы движутся солнечной энергией, расходуя ее (рис. 75). В связи с этим следует отметить лишь один единственный на Земле процесс, который не тратит, а наоборот, связывает солнечную энергию и даже накапливает ее – это создание органического вещества в результате фотосинтеза. Пока растения находятся на свету, в их листьях постоянно происходит фотосинтез и синтезируется глюкоза, из которой почти сразу же образуются другие углеводы. Из глюкозы и минеральных солей растительные клетки производят белки, жиры и другие необходимые вещества.

В связывании и запасании солнечной энергии заключается основная планетарная функция живого вещества на нашей планете.

Достигающее биосферы излучение несет энергию около $3 \cdot 10^{24}$ Дж в год. Только около 0,3 % этой энергии непосредственно преобразуется в процессе фотосинтеза в энергию химических связей органических веществ и только 0,1 % оказывается заключенной в чистой первичной продукции. Дальнейшая судьба этой энергии обусловлена передачей органического вещества пищи по трофическим уровням гетеротрофов.

В соответствии с законом пирамиды энергий с каждого ее уровня на последующий переходит приблизительно 10 % энергии (правило 10 %).

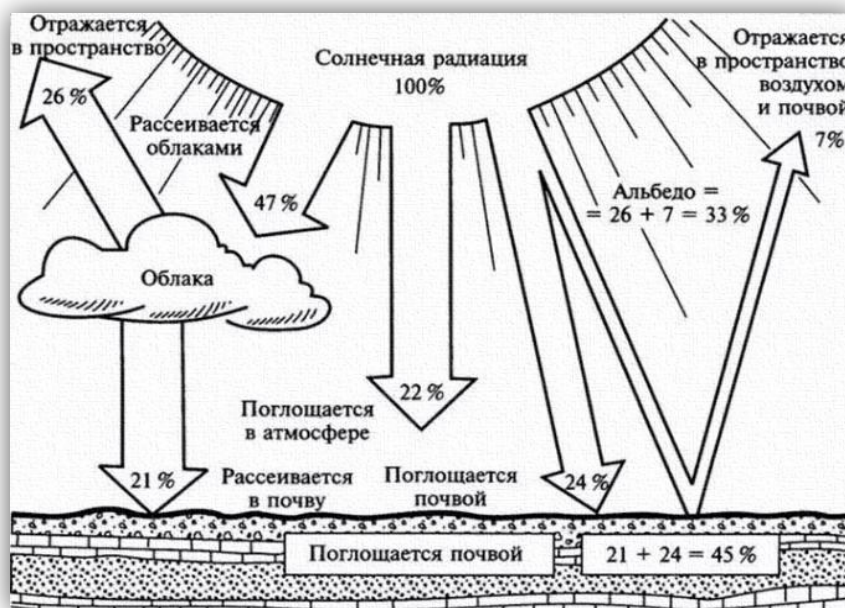


Рисунок 75 – Поступление и распределение солнечной энергии в пределах биосферы Земли

Но участие разных групп гетеротрофов в деструкции органики тоже имеет похожую последовательность: около 90 % энергии ЧПП освобождают микроорганизмы и грибы, менее 10 % – беспозвоночные животные и не более 1 % – позвоночные животные – конечные консументы. В соответствии с последней цифрой и сформулировано правило 1 %: для биосферы в целом доля возможного конечного потребления чистой первичной продукции в энергетическом выражении не должна превышать одного процента.

К наиболее жизненно важным биогенным элементам, из которых в основном состоят белковые молекулы относятся углерод, азот и кислород.

В круговороте углерода (CO_2) (рис. 76) четко прослеживается трофическая цепь:

- продуценты – улавливающие углерод из атмосферы при фотосинтезе;
- консументы – поглощающие углерод вместе с телами продуцентов и консументов низших порядков,
- редуценты – возвращающие углерод вновь в круговорот. Скорость оборота CO_2 составляет порядка 300 лет. В Мировом океане трофическая цепь осложняется тем, что часть углерода мертвых организмов уходит в осадочные породы и участвует уже в геологическом круговороте. Если представить, что биотический возврат углерода в атмосферу прекратится, а фотосинтез продолжается, то атмосфера полностью очистилась бы от CO_2 за 7 лет.



Рисунок 76 – Круговорот углерода в биосфере

Скорость круговорота кислорода – 2 000 лет, именно за это время весь кислород атмосферы проходит через живое вещество. Основной поставщик кислорода на Земле – зеленые растения.

С круговоротом кислорода тесно связано образование в высоких слоях атмосферы озона (рис. 77).

Ежегодно растения производят на суше $53 \cdot 10^9$ т кислорода, а в океанах – $414 \cdot 10^9$ т. Главный потребитель кислорода – животные, почвенные организмы и растения, расходующие его на дыхание. Но и на промышленные и бытовые нужды ежегодно расходуется 23 % кислорода, который освобождается в процессе фотосинтеза.



Рисунок 77 – Круговорот кислорода в биосфере

Биогеохимический круговорот азота (рис. 78) не менее сложен и охватывает все области биосферы. Поглощение его растениями ограничено, так как они усваивают азот только в форме соединения его с водородом и кислородом. Редуценты (почвенные бактерии) постепенно разлагают белковые вещества отмерших организмов и превращают их в аммонийные соединения, нитраты и нитриты. Азот в виде нитратов и нитритов усваивается растениями и может передаваться по трофическим цепям. Часть нитратов в процессе круговорота загрязняет подземные воды.

Азот возвращается в атмосферу вновь с выделенными при гниении газами. Роль бактерий в цикле азота такова, что если будет уничтожено только двенадцать их видов, участвующих в круговороте азота, жизнь на Земле прекратится.



Рисунок 78 – Круговорот азота в биосфере

Биогеохимические циклы фосфора и серы (рис. 79, 80) значительно менее совершенны, чем циклы указанных выше веществ, так как это типичный осадочный биогеохимический цикл. Возвратиться опять в круговорот эти биогены могут лишь в результате геологических процессов или путем извлечения их из окружающей среды живым веществом.

Фосфор содержится в горных породах, образовавшихся в прошлые геологические эпохи, и может попасть в круговорот в случае выветривания этих пород. В круговороте фосфора можно выделить две части – водную и наземную. В водных экосистемах он усваивается фитопланктоном и передается по трофической цепи вплоть до консументов третьего порядка – морских птиц. С их экскрементами (гуано) фосфор вновь поступает в море и ступает в круговорот, туда же он возвращается и из отмирающих морских животных, но часть их скелетов достигает дна, и тогда он снова попадает в осадочные породы.

В наземных экосистемах фосфор извлекают растения из почв, и далее он распространяется по трофической сети. Возвращается в почву после отмирания организмов и с их экскрементами, а теряется из нее в результате водной эрозии.



Рисунок 79 – *Круговорот фосфора в биосфере*

Сера не является лимитирующим биогеном, так как ее природные ресурсы достаточно велики. Она также имеет основной резервный фонд в отложениях и почве, но в отличие от фосфора, имеет резервный фонд и в атмосфере. В обменном фонде главная роль принадлежит микроорганизмам.

В горных породах сера встречается в виде сульфидов (FeS_2), в растворах – в форме иона (SO_4^{2-}), в газообразной фазе – в виде сероводорода (H_2S) или сернистого газа – SO_2 . В морской среде сульфат-ион занимает второе место по содержанию после хлора и является основной доступной формой серы, которая восстанавливается автотрофами и включается в состав аминокислот.

В некоторых организмах сера накапливается в чистом виде (S_2) и при их отмирании на дне морей образуются залежи самородной серы. В наземных экосистемах сера возвращается в почву при отмирании растений, окисляется, и возникшие сульфаты поглощаются растениями из поровых растворов почвы – так продолжается круговорот. Круговорот серы также может быть нарушен вмешательством человека: сернистый газ (SO_2), являющийся продуктом сжигания ископаемого топлива, нарушает процессы фотосинтеза и приводит к гибели растительности.

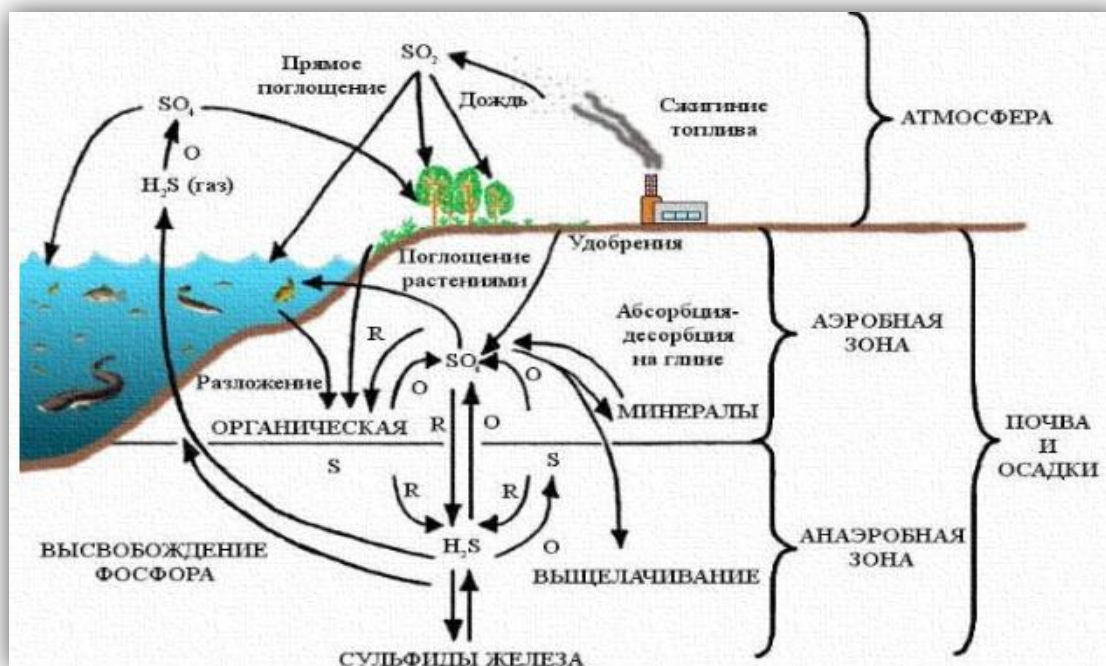


Рисунок 80 – Круговорот серы (по Ю. Одуму, 1975)

Таким образом, биогеохимические циклы легко нарушаются человеком и становятся ациклическими.

Контрольные вопросы

1. Какое место биосфера занимает среди оболочек Земли? В чем ее коренное отличие от других оболочек?
2. Из чего состоят абиотическая и биотическая части биосферы как глобальной экосистемы?
3. Что понимал В. И. Вернадский под живым веществом планеты?
4. Какие биохимические принципы лежат в основе биогенной миграции?
5. Как осуществляется большой круговорот веществ, в том числе большой круговорот воды, в природе?
6. Какие важнейшие функции живого вещества обеспечиваются посредством малого круговорота веществ в природе?
7. Какова роль резервного и обменного фондов в биогеохимическом круговороте веществ?
8. В чем особенности биогеохимических циклов основных биогенных элементов?

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Ниже представлены практические задания по основным вопросам дисциплины «Экология и охрана окружающей среды». Пособие содержит задания в виде таблиц, схем, рисунков, кроссвордов и тестов. Задания даны в соответствии с тематическим планом лекционного курса по «Экологии и охране окружающей среды» и направлены на расширение и углубление знаний студентов.

Для эффективного обучения студенты должны овладеть не только теоретическими знаниями, но и практическими навыками. Студенты изучают теоретические понятия, законы, факты, но очень редко связывают их с окружающей средой. Представленные практические задания предполагают изучение экологических понятий и законов. С помощью практических заданий студенты приобретают навыки научного исследования, синтеза и анализа изучаемого материала.

Условные обозначения



Вопрос для устного ответа



Выполнить задание в тетради



Распечатать лист для выполнения задания



Решить задачу

Занятие № 1. Современная структура экологии. Методы



Раскройте понятия «экология» и «охрана окружающей среды».



Правильно ли говорить:

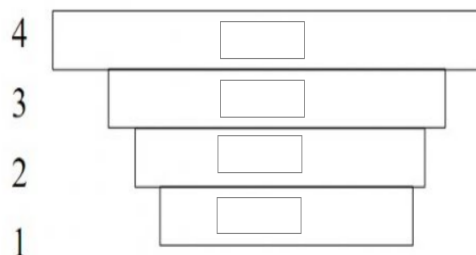
- в нашем городе плохая экология;
- забота об экологии;
- испортить экологию;
- экология – основа природопользования?



Когда возникла наука экология? С чем это было связано?



Рассмотрите схему и внесите объекты исследования экологии в порядке их усложнения. Объекты исследования: экосистема, популяция, биосфера, особь.



Уровни организации живого и объекты изучения экологии

Уровень организации	Наука
?	Экология
Экосистемный	
Биоценотический	
Популяционный	
Организменный	?
Органный	
?	Гистология
Клеточный	?



Установите соответствия между направлениями экологии и их содержанием:

- | | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| 1) аутэкология; | а) учение о популяции и ее среде; |
| 2) биоценология; | б) учение об организме и его среде; |
| 3) глобальная экология; | в) учение о биосфере; |
| 4) демэкология; | г) учение об экосистеме. |



Охарактеризуйте подходы к проблеме взаимоотношений человека и природы:

- антропоцентрический (технологический);
- биоцентрический (экоцентрический).

Аргументируйте ваше личное предпочтение антропоцентрического или экоцентрического подхода к взаимоотношению человеческого общества и природы.



Назовите свойства живых систем по их кратким характеристикам:

- | | |
|----------------------------------|----------------------|
| а) обмен веществ и энергии; | г) рост и развитие; |
| б) единство химического состава; | д) изменчивость; |
| в) клеточное строение; | е) наследственность; |
| | ж) раздражимость. |

Краткая характеристика

1. Живые существа состоят из тех же химических элементов, что и неживые, но в живых организмах 98 % химического состава приходится на четыре элемента: углерод, кислород, азот и водород.
2. Молекула ДНК способна хранить, передавать наследственную информацию, благодаря матричному принципу репликации, обеспечивая материальную преемственность между поколениями.
3. Все живое избирательно реагирует на внешние воздействия специфическими реакциями. У простейших и растений проявляется в виде тропизмов, таксисов. У организмов, имеющих нервную систему, – в виде рефлекторной деятельности.
4. При передаче наследственной информации иногда возникают различные отклонения, приводящие к изменению признаков и свойств у потомков. Если эти изменения благоприятствуют жизни, они могут закрепиться отбором.
5. Живые организмы – открытые системы, совершающие постоянный обмен веществом и энергией с окружающей средой. При изменении условий среды происходит саморегуляция жизненных процессов по принципу обратной связи, на-

правленная на восстановление постоянства внутренней среды – гомеостаза.

6. Все живые организмы имеют определенную организацию, структурной и функциональной единицей которой для всех организмов (кроме вирусов) является клетка.
7. Изменение организмов в процессе онтогенеза и филогенеза.



Экологические законы Б. Коммонера

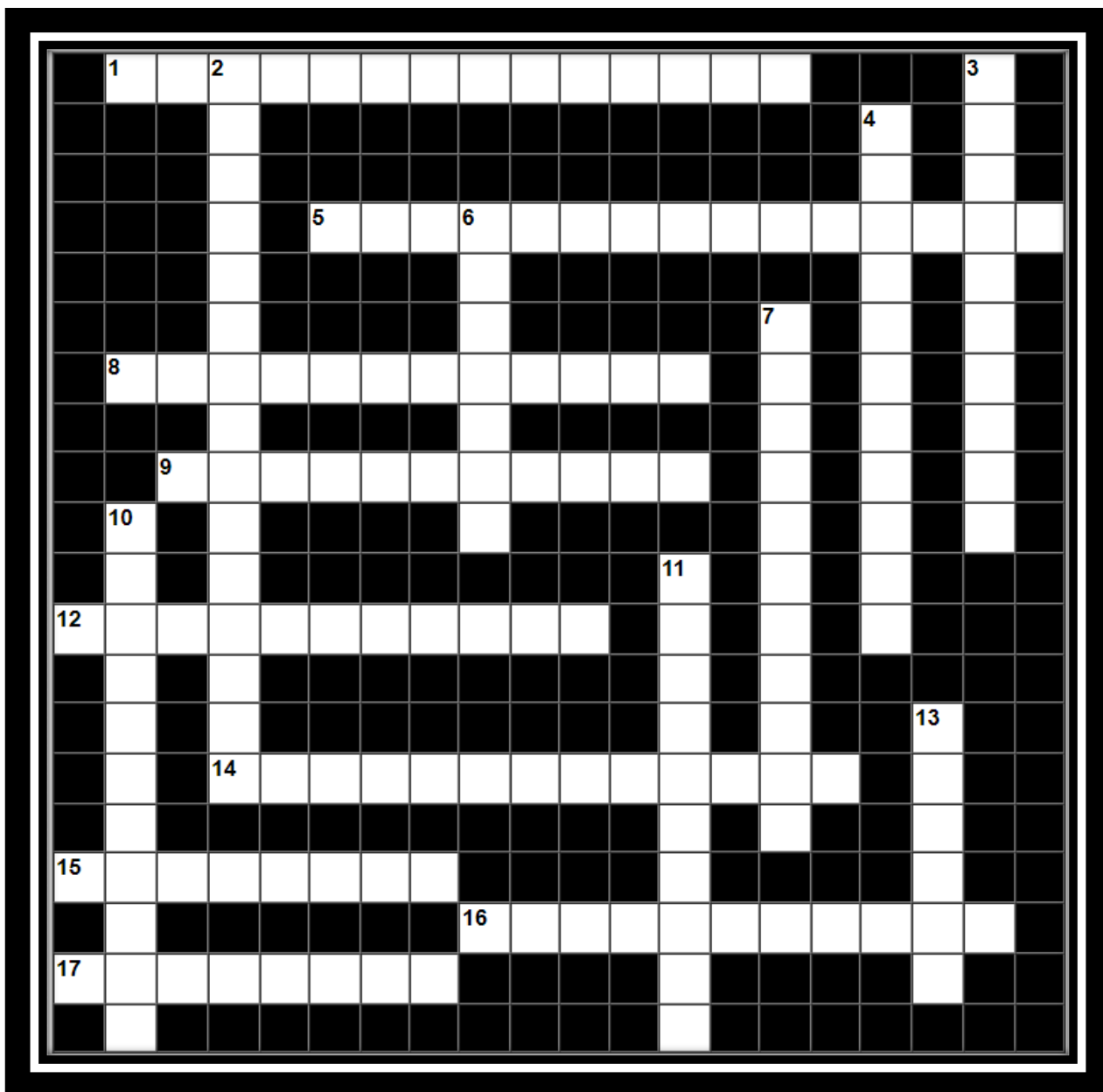
В 1971 г. американский биолог и специалист в области охраны среды Барри Коммонер сформулировал 4 закона экологии. Далее приведены примеры раскрытия содержания законов Б. Коммонера. Прочитайте их и назовите закон, которому они соответствуют:

1. Закон вытекает из закона сохранения материи и призывает по-новому рассматривать проблему отходов материального производства.
2. В экологии, так же как в экономике, каждая вещь чего-то стоит. «Глобальная система представляет собой единое целое, в рамках которой ничего не может быть выиграно или потеряно и которая не может являться объектом всеобщего улучшения». Платить придется энергией за утилизацию отходов, удобрением за повышение урожая, лекарствами и санаториями за ухудшение здоровья.
3. В природе не существует такой вещи как мусор. Отходы одних организмов служат другим. Одна из главных причин современного экологического кризиса состоит в том, что огромные количества веществ извлечены из земли, преобразованы в новые соединения и рассеяны в окружающей среде.
4. Возмущения в одной части сложной системы (например, в биосфере) неизбежно вызывают изменения в других ее частях. Сложность обнаружения связей в системе обусловлена несколькими парадоксами:
 - парадокс многозвенности;
 - парадокс кумулятивности;
 - парадокс разрыва причины и следствия во времени.

5. Закон имеет двойной смысл: одновременно призывает сблизиться с природой и крайне осторожно обращаться с природными системами.
6. Природу нельзя покорять, можно только сотрудничать с ней, исправляя последствия хозяйственной деятельности и способствуя сохранению природного равновесия.
7. В настоящее время надо нести расходы на содержание служб, контролирующих рациональное использование природных ресурсов, на восстановление естественных экосистем, нарушенных неправильным использованием.
8. Закон близок по смыслу к закону внутреннего динамического равновесия: изменение одного из показателей системы вызывает функционально-структурные количественные и качественные перемены, при этом сама система сохраняет общую сумму вещественно-энергетических качеств.
9. Изымать биологические ресурсы из экосистемы можно лишь в таком количестве, чтобы она смогла сама восстановить за счет своих механизмов устойчивости. Нельзя покорять природу, с ней надо сотрудничать.



Кроссворд по теме «Экология как наука»





По горизонтали:

1. _____ метод позволяет усреднять полученные данные, и тем самым получать более объективную информацию о количественных и меристических признаках изучаемых природных объектов и явлений.
5. Направление в экологии, занимающееся изучением биогеоценозов и их совокупности – биогеоценоотическим покровом Земли.
8. Обнаружение и определение антропогенных нагрузок по реакциям на них живых организмов и их сообществ.
9. Раздел экологии, изучающий популяции.
12. Преднамеренное или случайное переселение человеком особей какого-либо вида животных и растений за пределы естественного ареала.
14. Метод _____ делает возможным описание объектов и явлений природы относительно простыми моделями, воссоздаваемыми в лабораторных условиях.
15. Американский биолог и эколог, автор четырех знаменитых законов экологии, сформулированных в виде афоризмов.
16. Раздел экологии, изучающий взаимоотношения организма (на стыке с физиологией) с окружающей средой.
17. Оболочка Земли, заселенная живыми организмами, находящаяся под их воздействием.

По вертикали:

2. Мировоззрение, в котором человек рассматривается как центр и высшая цель мироздания.
3. Комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды.
4. Мировоззрение, подразумевающее постановку интересов природы в центр относительно интересов человека.
6. Автор термина экология.
7. Направление к экологии, изучающее экологию видов.
10. Раздел экологии, изучающий биоценозы.
11. Выдающийся ученый, академик, философ и общественный деятель, автор учения о живом веществе и биосфере, о переходе биосферы в ноосферу.
13. Известный английский натуралист, автор учения об эволюции органического мира.

Занятие № 2. Пути и виды адаптации организмов к неблагоприятным условиям окружающей среды



На какие группы традиционно делят экологические факторы? Приведите по 5 примеров разных групп экологических факторов.



Заполните таблицу, распределив экологические факторы по группам: влажность, температура, конкуренция, состав воздуха, загрязнение атмосферы, вырубка лесов, рекультивация нарушенных земель, осушение болот, строительство зданий, давление, хищничество, свет, состав воды, ветер, загрязнение водной среды, разрушение почвы, состав почвы уничтожение животных, симбиоз, выброс углекислого газа заводами, опыление насекомыми цветковых растений, концентрация газов в воде, сжигание листвы осенью, разлив нефтепродуктов.

Абиотические	Биотические	Антропогенные



Приведите примеры антропогенных факторов, которые по воздействию на сообщества близки к природным абиотическим и биотическим факторам.



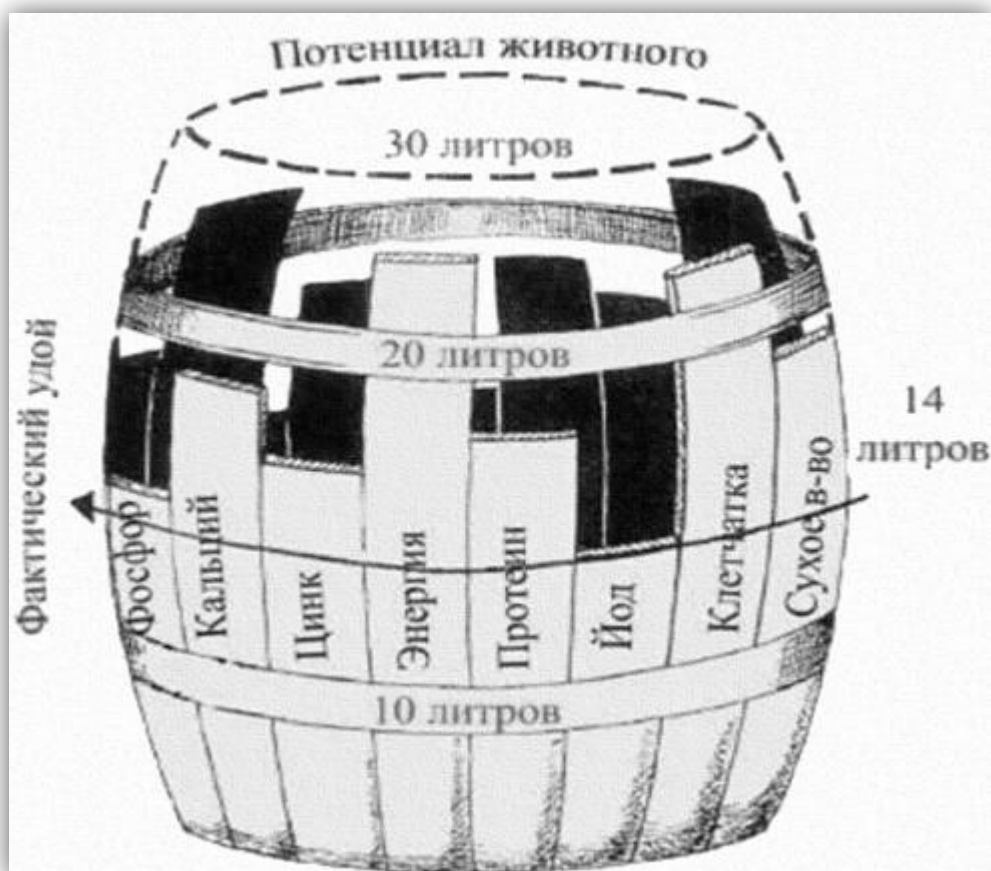
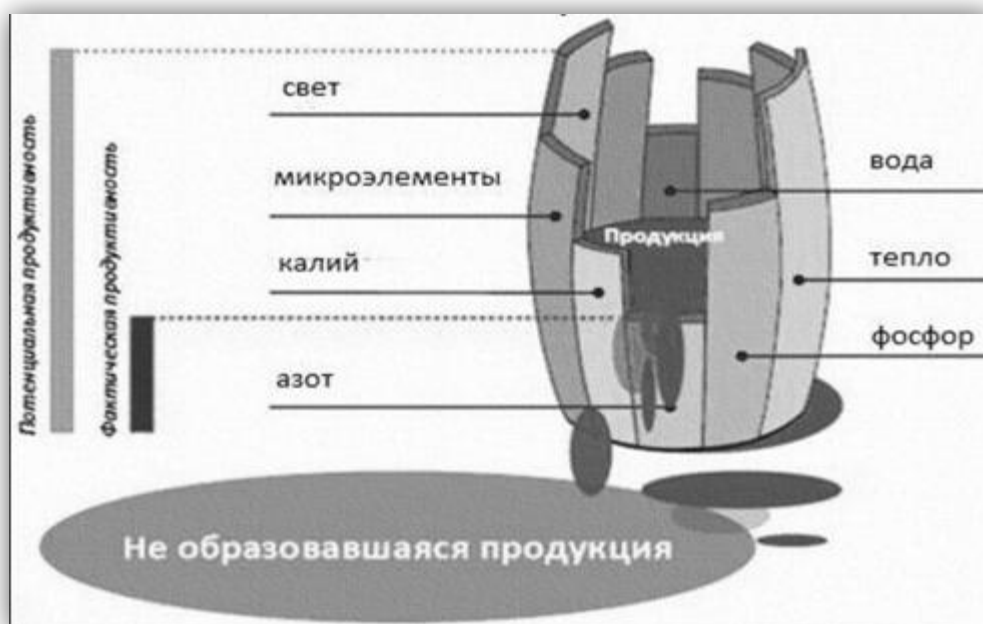
Может ли один экологический фактор полностью компенсировать действие другого? Ответ поясните.



По отношению к каким факторам среды могут считаться эврибионтами или стенобионтами следующие организмы: вирус иммунодефицита человека, эдельвейс, угорь, утка-кряква, крот?



Модель какого закона изображена на картинках? Опираясь на иллюстрацию, опишите зависимость сельскохозяйственной продукции от лимитирующего фактора





В каждом из предложенных примеров выберите тот фактор, который можно считать ограничивающим, т. е. не позволяющим организмам существовать в предлагаемых условиях:

1. Для растений в океане на глубине 6000 м: вода; температура; углекислый газ; соленость воды; свет.
2. Для растений в пустыне летом: температура, свет, вода.
3. Для скворца зимой в подмосковном лесу: температура, пища, кислород, влажность воздуха, свет.
4. Для речной обыкновенной щуки в Черном море: температура, свет, пища, соленость воды, кислород.
5. Для кабана зимой в северной тайге: температура, кислород, влажность воздуха, свет, высота снежного покрова.



Приведите три примера адаптации у животных. Приспособлениями к каким факторам они являются?



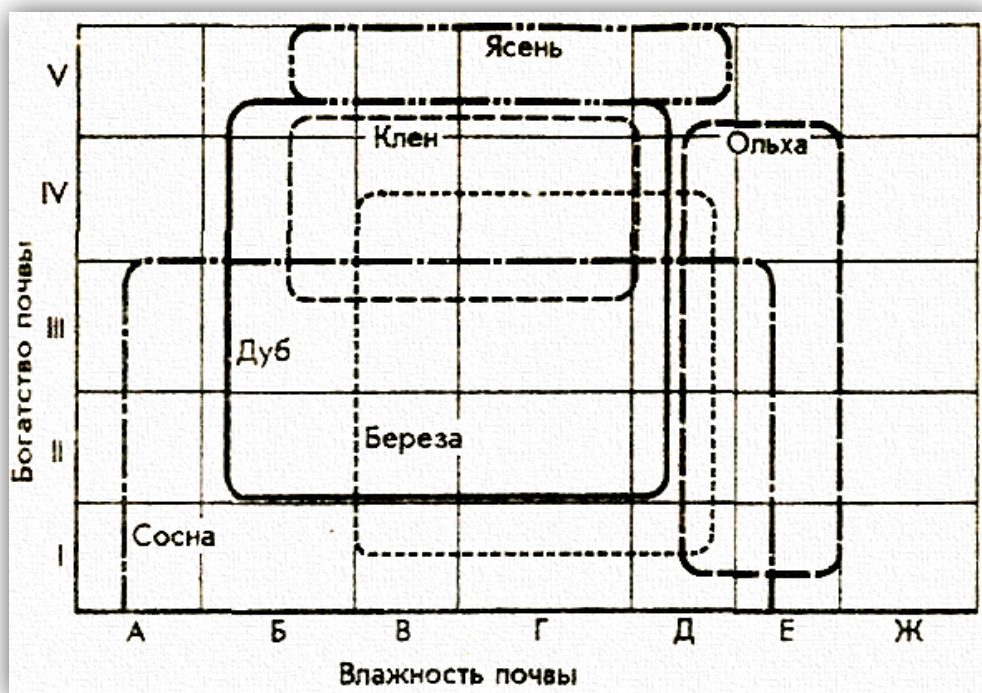
Приведите три примера адаптации у растений. Приспособлениями к каким факторам они являются?



Приведите примеры видов, которые по отношению к одному фактору ведут себя как эврибионтные, а по отношению к другому – как стенобионтные.



На схеме изображены экологические ниши деревьев в двухмерном пространстве по двум факторам – богатству и влажности почв. Схема показывает оптимальные условия произрастания каждого вида и одновременно – границы толерантности деревьев в зависимости от двух основных для растений условий среды.



Обозначения на схеме:

Ступени шкалы богатства (плодородия) почв: I – очень бедные (верховые торфяные болота); II – бедные (сухие луга, сосновые боры); III – небогатые (еловые и смешанные леса, луга); IV – богатые (низинные луга и болота, дубравы); V – очень богатые (степи, полупустыни, пустыни).	Ступени шкалы влажности (увлажнения) почв: А – очень сухие почвы; Б – сухие почвы; В – среднеувлажненные почвы; Г – умеренно влажные почвы; Д – избыточно влажные почвы; Е – обводненные почвы; Ж – вода (водная среда).
--	--

Вопросы

1. Какие из этих деревьев можно считать эврибионтами, а какие стенобионтами (по какому-либо одному фактору или по нескольким)?
2. Какое дерево может служить индикатором высокой влажности местообитания, а какое – показателем богатых почв?
3. Какие из этих деревьев могут образовывать смешанные насаждения из трех-четырех видов?



Существуют три основных способа приспособления организмов к неблагоприятным условиям среды: подчинение, сопротивление и избегание этих условий. К какому способу можно отнести:

- осенние перелеты птиц с северных мест гнездования в южные районы зимовок;
- зимнюю спячку бурых медведей;
- активную жизнь полярных сов зимой при температуре минус 40 °С;
- переход бактерий в состояние спор при понижении температуры;
- нагревание тела верблюда днем с 37 °С до 41 °С и остывание его к утру до 35 °С;
- нахождение человека в бане при температуре в 100 °С, при этом его внутренняя температура остается прежней – 36,6 °С;
- переживание кактусами в пустыне жары в 80 °С;
- переживание рябчиками сильных морозов в толще снега?



В озере измерили температуру воды и концентрацию рачка в 1 см³ в различных зонах. Выносливость рачка лежит в пределах 21–30 °С.

Построить график зависимости концентрации рачков от температуры воды.

Отметить зоны оптимума, пессимума, летальные зоны.

Определить, к какой экологической группе по выносливости к температуре относится рачок данного вида.

Температура, °С	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Количество, шт.	0	4	8	50	95	124	80	45	15	0

Пример построения графика зависимости жизнедеятельности организмов от влияния факторов



Изменение численности инфузории-туфельки, помещенной в аквариум, по суткам представлено в таблице:

Сутки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число особей	1	2	4	8	12	10	8	6	2	1

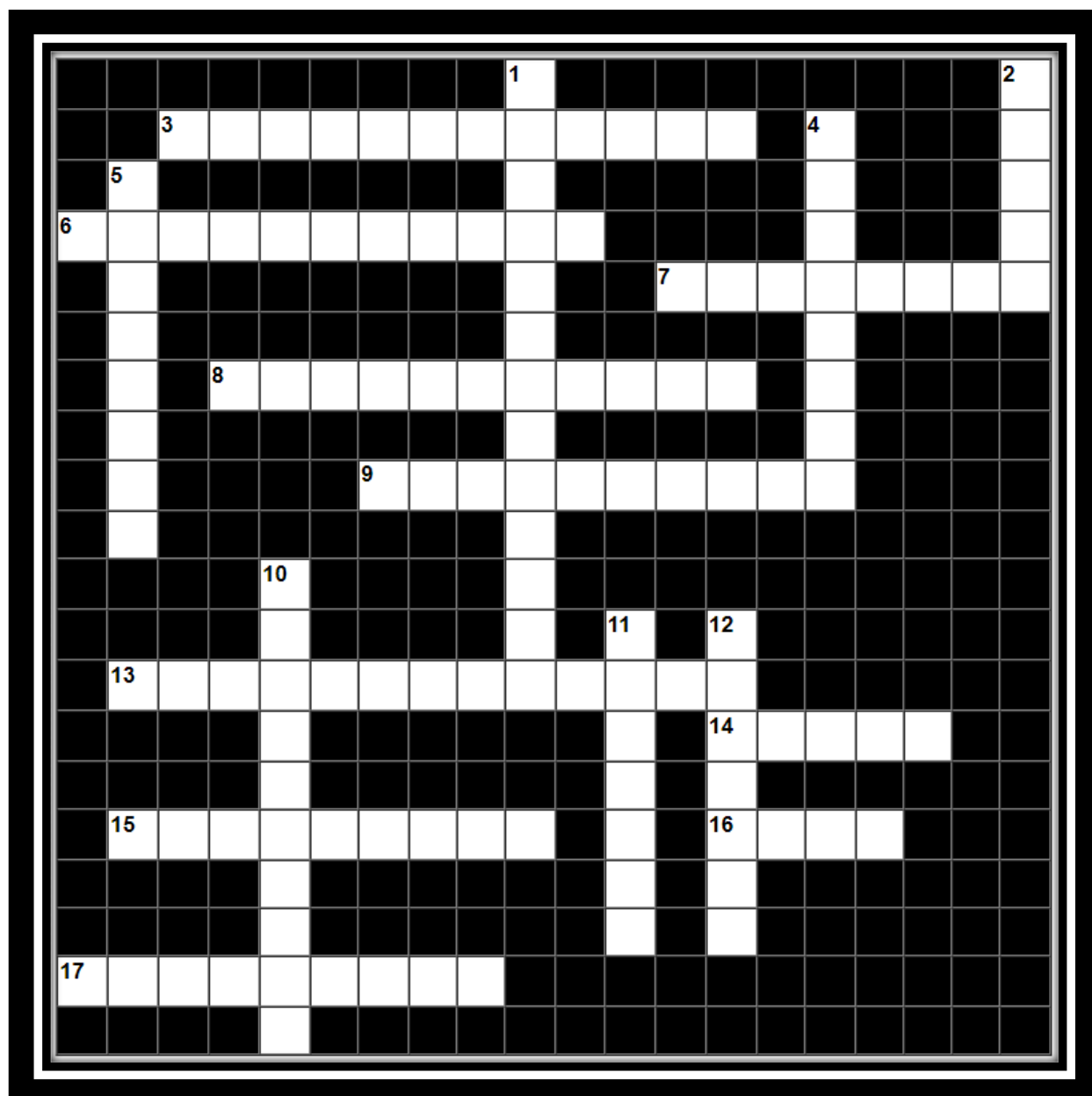
Постройте график изменения численности инфузории-туфельки за 10 суток. Определите границы ее выносливости, зоны угнетения и оптимума.



В соленых озерах Западной Европы гидробиологи обнаружили в воде при концентрации солей 30 г/л – 64 вида животных, при концентрации 100 г/л – 38 видов, при 160 г/л – 12 видов, а при 200 г/л – 1 вид. Постройте график зависимости числа видов животных от концентрации солей в воде озера. При какой солености жизнь в озере отсутствует?



Кроссворд по теме «Экологические факторы»





По горизонтали:

3. _____ факторы среды – это факторы неживой природы, способные активно воздействовать на состояние флоры и фауны.
6. _____ факторы – формы воздействия организмов друг на друга как внутри вида, так и между различными видами.
7. В соответствии с этим правилом для экосистемы, организма или определенной стадии его развития имеется диапазон наиболее благоприятного (оптимального) значения фактора.
8. Виды организмов, имеющие узкие пределы выносливости, они способны существовать на ограниченных территориях с относительно постоянными условиями среды.
9. Состояние замедленной жизнедеятельности организма вследствие снижения уровня его обмена веществ.
13. _____ факторы отражают воздействие на человека, как на живой организм.
14. Ученый, который ввел понятие о лимитирующих факторах.
15. Летняя спячка.
16. Американский биолог и эколог, иногда называемый отцом современной экологии.
17. Процесс и результат приспособления организмов к условиям окружающей среды (к воздействию экологических факторов).

По вертикали:

1. Факторы, изменение которых во времени повторяется регулярно.
2. Все, что окружает организм и прямо или косвенно влияет на его состояние, развитие, рост, выживаемость, размножение и т. д.
4. Адаптивное сходство одного биологического вида с другим или с объектами окружающей среды.
5. Задержка развития в ответ на регулярно и повторяющиеся периоды неблагоприятных условий окружающей среды в состоянии покоя у животных.
10. Организмы, способные существовать в широком диапазоне природных условий окружающей среды и выдерживать их значительные изменения.
11. Временное (краткосрочное или долгосрочное) замедление или остановка биологических функций с сохранением физиологических возможностей.
12. Ученый, сформулировавший закон толерантности.

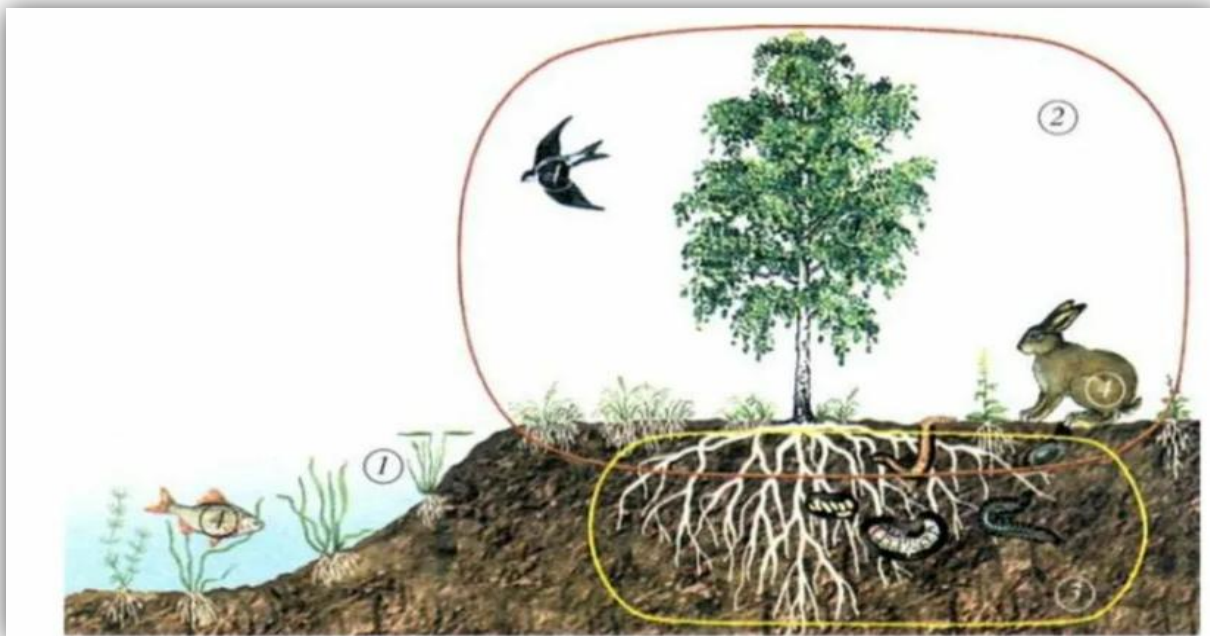
Занятие № 3. Основные среды жизни



Что называют средой обитания организма?



Посмотрите на картинку и назовите основные среды обитания.



Заполните таблицу, выбирая из предложенного списка соответствующее значение той или иной среды обитания.

Характеристика среды	Вид среды			
	Наземно-воздушная	Водная	Почвенная	Организменная
Плотность				
Освещенность				
Колебания температуры				
Количество воды				
Количество кислорода				

1. Очень высокая, высокая, средняя, низкая.
2. Высокая, средняя, низкая, отсутствует.
3. Высокие, средние слабые.
4. Много, умеренно, мало.
5. Много, умеренно, мало, очень мало.



Дайте определение типам адаптаций организмов и приведите примеры:

- физиологические;
- морфологические;
- поведенческие.



Заполните таблицу двумя примерами морфологических адаптаций, которые выработались у организмов, обитающих в почве, в водной среде, на суше и в воздухе, в организме.

Среда обитания	Морфологические адаптации					
	звери	птицы	рыбы	земноводные	насекомые	растения
наземно-воздушная						
водная						
почва						
организм						



Запишите, заполняя пропуски, выбирая одно слово из пары в скобках. Многоклеточным паразитам, обитающим в органах и тканях человека, _____ (грозит, не грозит) высыхание; в среде их обитания колебания температуры, солености, давления _____ (сильные, слабые); среда, в которой они обитают, для них химически _____ (агрессивна, неагрессивна); они _____ (имеют, не имеют) защитные покровы; они _____ (имеют, не имеют) органы, связанные с поиском пищи; они _____ (имеют, не имеют) слух; они _____ (имеют, не имеют) органы зрения; количество продуцируемых ими яиц _____ (большое, небольшое).



Назовите самое крупное животное на Земле.

Почему в других средах обитания не могут возникнуть и существовать такие крупные животные?



Определите по неполному описанию среду жизни. Дополните описание.

_____ среда жизни – осваивалась в процессе эволюции одновременно с _____.

Ее краткая характеристика:

- создана живыми организмами
- наблюдается дефицит и полное отсутствие света
- высокая плотность
- четырехфазная (фазы: твердая, жидкая, газообразная, живые организмы)
- в пространстве она _____ (однородная/неоднородная)
- во времени условия более _____, чем в наземно-воздушной среде обитания, но более _____, чем в водной и организменной

Адаптации организмов к _____ среде:

- _____ форма тела
- слизистые покров или гладкая поверхность
- у некоторых имеется копательный аппарат
- _____ мускулатура



Закончите утверждение. Среда, в которой живут самые быстро-двигающиеся животные, – это:

- наземно-воздушная;
- почвенная;
- водная;
- организменная.

Назовите некоторых из них. Почему в других средах скорости передвижения значительно ниже?



Известно, что на глубине свыше 1000 м водные обитатели живут в полной темноте, поскольку солнечный свет не способен проникать сквозь такую толщу воды. Объясните, почему среди глубоководных рыб у многих развиты органы зрения.

Изменения каких характеристик водной среды могут создавать преграды для расселения рыб в водной толще?



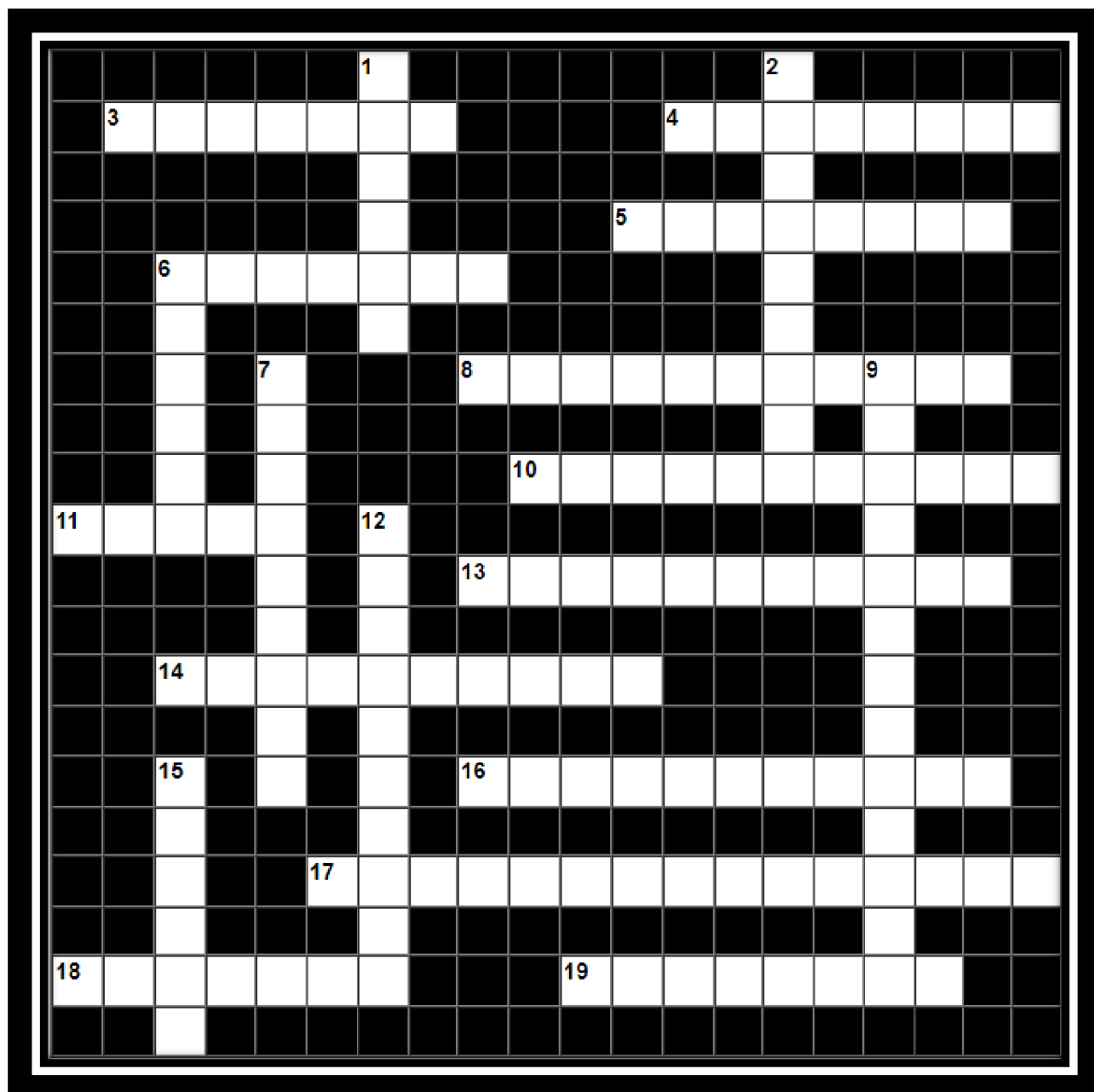
Птицы, звери и насекомые способны различным образом решать проблемы терморегуляции, в том числе и средствами весьма экзотическими. Даны следующие виды: собака, медведи, пчелы, змеи и ящерицы, крокодилы и черепахи, тюлени. Какие способы терморегуляции используют эти организмы?



Семена многих растений снабжены разнообразными приспособлениями, которые позволяют им перемещаться в пространстве самыми различными способами. Назовите такие приспособления и опишите способы перемещения.



Кроссворд по теме «Среды жизни»





По горизонтали:

3. Совокупность микроорганизмов, живущих у поверхностной плёнки воды на границе водной и воздушной сред.
4. Растительные или животные организмы, обитающие на поверхности воды, или полупогружённые в воду.
5. Растения, относительно легко приспосабливающиеся к существованию на засоленных почвах.
6. Дно водоёмов, заселённое микроорганизмами, растениями и животными, обитающими на его поверхности или в толще грунта.
8. _____ факторы представляют собой совокупность химических, физических и механических свойств почв и горных пород, оказывающих воздействие на организмы.
10. Паразит, обитающий на поверхности тела хозяина.
11. Временная форма существования микроорганизмов, характеризующаяся наличием защитной оболочки, а также сама эта оболочка.
13. Форма трофических взаимоотношений между организмами разных видов, при которых один из них питается плотью другого.
14. Растения песчаных почв.
16. Организмы, приспособленный к обитанию в водной среде.
17. Один из видов паразитизма, характеризующийся паразитированием одного паразита в другом.
18. Животные, часть цикла развития которых, чаще одна из фаз, обязательно происходит в почве (например, саранча).
19. Разнообразная совокупность организмов, обитающих в воде (или воздухе) и неспособных двигаться против течения (или ветра).

По вертикали

1. Среда жизни, занимающая 71 % площади земного шара.
2. Почвенная оболочка Земли.
6. Совокупность организмов, обитающих в грунте дна водоемов.
7. Обитающие в толще Мирового океана организмы и взвешенные в воде частицы.
9. Тип взаимоотношений, при котором один организм использует другого в качестве жилища.
12. Организмы, предпочитающие жить среди сыпучих песков или в их толще.
15. Организмы, активно плавающие в толще воды.

Занятие № 4. Популяция



Раздел экологии _____ изучает структурные и функциональные характеристики, динамику численности популяций и другие экологические закономерности существования популяций.



Дайте определение понятию «популяция».



Определите, какие совокупности организмов из нижеперечисленных соответствуют понятию популяции: *стая грачей; стадо антилоп в саванне; золотые караси, населяющие небольшой пруд; высаженный на фермерском поле картофель; все птицы, населяющие городской парк; серые крысы, населяющие квартал большого города; птичий базар; обитатели муравейника; тигры, населяющие уссурийскую тайгу.*

Ответ обоснуйте.



Каким образом связаны между собой три демографических показателя: плотность популяции (число видов на единицу площади или объема пространства), интенсивность внутривидовой конкуренции и смертность. Приведите примеры организмов, использующих эти стратегии.



Установите соответствие между типами стратегий популяции и их характеристиками:

г-стратегия	Направлена на повышение выживаемости в условиях уже стабилизировавшейся численности. Это отбор на конкурентоспособность, повышение защищенности от хищников и паразитов, повышение вероятности выживания каждого потомка
К-стратегия	Определяется отбором, направленным прежде всего на повышение скорости роста популяции и, следовательно, таких качеств, как высокая плодовитость, ранняя половозрелость, короткий жизненный цикл, способность быстро распространяться на новые местообитания и пережить неблагоприятное время в покоящейся стадии



Начертите возрастную пирамиду популяции большой синицы, если весной, до вылупления птенцов, 60 % популяции составляют птицы прошлого года рождения, участвующие в размножении первый раз, на двухлетних приходится 20 %, трехлетних – 8 %, четырехлетних – 5 %, пятилетних – 4 %, доля особей в возрасте от 6 до 10 лет – 3 %. Как изменится возрастная пирамида популяции большой синицы после вылета птенцов из гнезда, если численность до гнездования составляла 10000 особей, а кладка в среднем состоит из 8 яиц при соотношении полов 1:1. Условно считайте, что все особи на этом этапе выжили.



В охотничьем хозяйстве численность стада лосей определяется в 500 особей. Определите, на сколько голов будет увеличиваться стадо при ежегодном приросте 15 %. Укажите, что произойдет с плотностью популяции, если территория хозяйства составляет 40000 га (плотность рассчитывается по количеству лосей на 1000 га).



Бабочка, живущая на лиственнице в Канаде, откладывает 200 яиц. Вышедшие из нее 170 личинок питаются хвоей в течение лета. Осенью на зимовку уходят 34 личинки, а весной окукливаются в среднем 3,4 особи. Из куколок спустя 15 дней вылетают в среднем 2,5 бабочки. Подсчитать процент смертности для популяции в каждом из следующих периодов: а) от откладки яиц до отрождения личинок; б) от отрождения личинок до окукливания; в) для фазы куколки; г) от момента откладки яиц до отрождения имаго. Какая стадия жизненного цикла наиболее уязвима?



Осенью каждая самка нерки (сем. лососевых), обитающая в реках Канады, откладывает 3200 икринок на гравий в мелких местах. Следующей весной 640 мальков, выведшихся из отложенной икры, выходят в озеро вблизи отмели. Через год 64 уцелевшие серебрянки мигрируют из озера в море. Две взрослых рыбы спустя 2,5 года возвращаются к местам нереста; они нерестятся и умирают. Подсчитайте процент смертности для нерки в каждом из следующих периодов: а) от откладки икры

до переселения мальков в озеро; б) за 12 месяцев жизни в озере; в) за время между выходом в море и возвращением к местам нереста. Нарисуйте кривую выживания (зависимость процента выживания от возраста) нерки в водной системе. Какова величина дорепродуктивной смертности у этого вида лососевых? Назовите факторы высокой смертности нерки в каждый возрастной период.



Чтобы оценить численность форели в озере, 625 форелей были пойманы, помечены и снова выпущены. Через неделю поймали 873 форели, из них у 129 были обнаружены метки. Определить примерные размеры популяции форели.

Справочная информация

Рождаемость = (число родившихся / общая численность) · 100 %.

Смертность = (число погибших / общая численность) · 100 %.

Выживаемость = (число выживших / общая численность) · 100 %.

Размер популяции (индекс Линкольна) оценивают по формуле

$$\text{Общий размер популяции} = \frac{\text{Число животных в I улове} * \text{Число животных во II улове}}{\text{Число животных с меткой во II улове}}$$

Учет плотности популяции хорошо заметных организмов можно определить методом «линейного маршрута» по формуле

$$P = N / S \cdot R,$$

где P – плотность популяции;

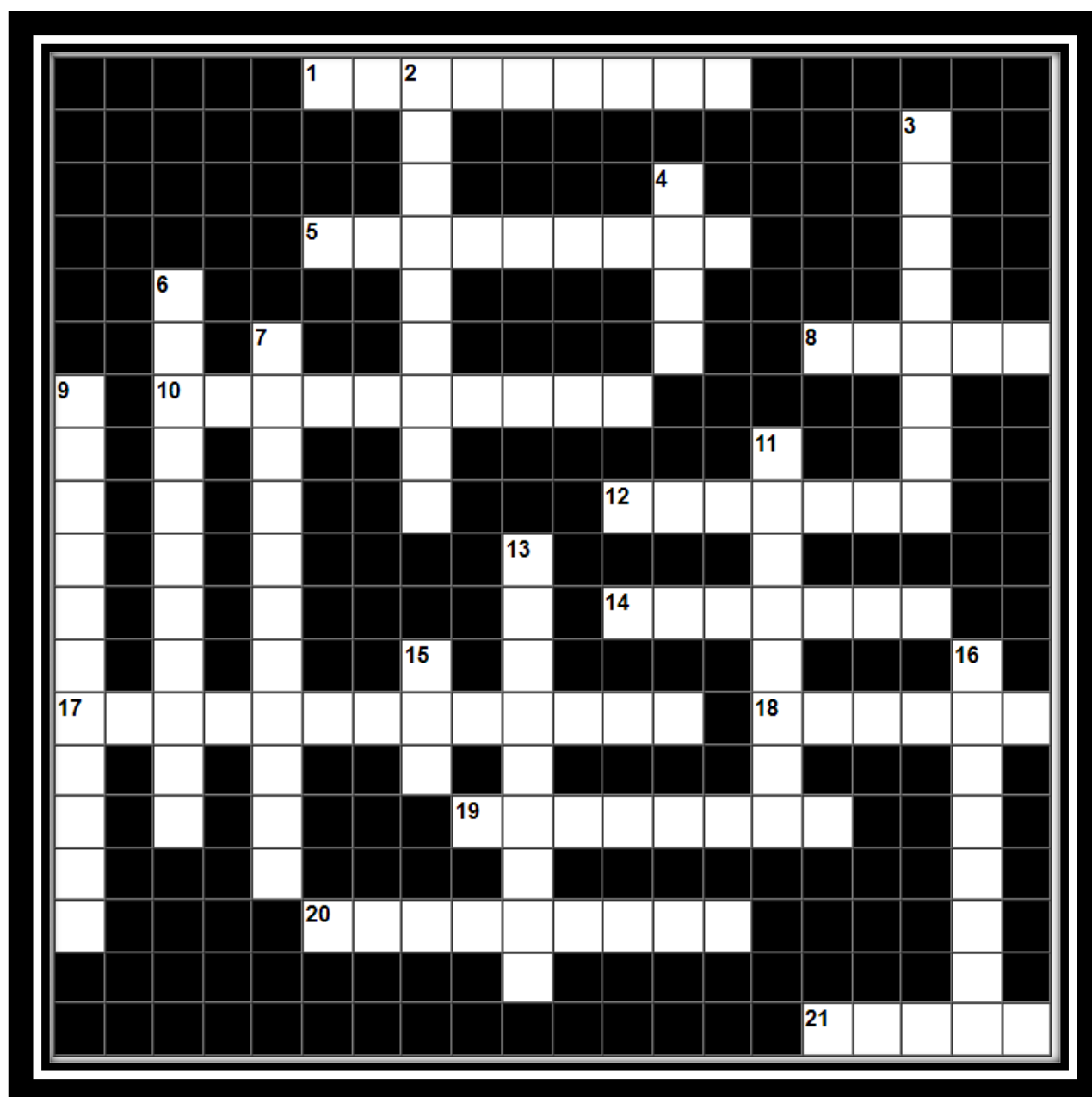
N – суммарное число обнаруженных особей на маршруте;

S – длина маршрута;

R – ширина обследованной поверхности.



Кроссворд по теме «Популяция»





По горизонтали:

1. Совокупность организмов одного вида, длительное время обитающих на одной территории и частично или полностью изолированных от особей других таких же групп.
5. Количество особей популяции или их биомасса, приведенная на единицу площади или объема.
8. Группа животных, объединенная за счет поведенческих механизмов.
10. Количество особей популяции, погибших за определенный период.
12. Групповое поселение оседлых животных, которое может существовать длительно или возникать лишь на период размножения.
14. Качественное изменение генетического материала, приводящее к изменению тех или иных признаков организма.
17. Участок суши или водоема, занятый частью популяции особей одного вида и обладающий всеми необходимыми для их существования условиями (климат, рельеф, почва, пища и др.).
18. Определенный участок пространства среды, который обладает совокупностью условий необходимых для существования и проживания на нем определенного вида животных.
19. Совокупность всех генных вариаций популяции, вида.
20. _____ тип распределения особей в пространстве выражается в образовании группировок особей, между которыми остаются незаселенные территории.
21. Область распространения на земной поверхности.

По вертикали:

2. Непосредственное потомство особей, появившихся на свет на протяжении одного цикла размножения.
3. Перемещение индивидов из одной популяции в другую с последующим образованием брачных связей.
4. _____ обычно состоит из особей одного вида, находящихся во взаимном контакте и сходном биологическом состоянии, активно поддерживающих взаимный контакт и координирующих свои действия.
6. Общее количество особей в популяции.
7. Раздел экологии, который изучает популяции.
9. Количество особей, родившихся в популяции за данный период времени.
11. Датский биолог, который ввел понятие популяция.
13. Экологическая _____ популяции – это ее общая характеристика роста и размножения.
15. Основная структурная единица систематики живых организмов.
16. _____ популяции изменения основных демографических показателей популяции во времени.

Занятие № 5. Типы взаимоотношений между организмами



Заполните таблицу. К каждому типу биотических взаимодействий приведите пример.

Тип взаимодействия	Характеристика	Пример
Мутуализм (симбиоз)		
Нейтрализм		
Конкуренция		
Аменсализм		
Комменсализм (квартиранство)		
Комменсализм (нахлебничество)		
Паразитизм		
Хищничество (трофизм)		



Из предложенного списка составьте пары организмов, которые в природе могут находиться в мутуалистических (взаимовыгодных) отношениях между собой: *пчела, актиния, дуб, береза, рак-отшельник, осина, сойка, клевер, гриб подосиновик, липа, клубеньковые азотфиксирующие бактерии.*



Вставьте пропущенные слова в предложения.

1. Комплекс совместно обитающих и связанных между собой видов называют _____.
2. Положение, которое занимает вид в биоценозе, называют _____.
3. Совместно живущие виды могут иметь частично перекрываемые _____, однако полностью они никогда не совпадают, так как при этом вступает в силу закон. _____, и один вид вытесняет другой из _____.



Все местообитания условно подразделяют на две группы. Первую составляют незаселенные, но пригодные для жизни участки, где имеются только абиотические факторы. Такие местообитания называются «экотопами». Другая группа – это участки уже заселенные живыми организмами, где абиотическая среда изменена под их влиянием и где, следовательно, действуют и абиотические факторы. Эти местообитания называют «биотопами».

Разделите предлагаемый список на экотопы и биотопы: *лес, дерево, скала, свежий песчаный нанос, валун, болото, пашня, камень с лишайниками, движущийся бархан, луг, поле, заросшая дюна, галечная отмель, каменистая осыпь, тундра, пруд, ледник.*



Рассчитайте индекс сходства двух фитоценозов (растительных компонентов биоценозов), используя формулу Жаккара

$$K = C \times 100\% / (A + B) - C,$$

где А – число видов данной группы в первом сообществе;

В – во втором;

С – число видов, общих для обоих сообществ. Индекс выражается в процентах сходства.

Первый фитоценоз – это сосняк – черничник: сосна обыкновенная, черника, брусника, блестящий зеленый мох, майник двулистный, седмичник европейский, ландыш майский, гудиера ползучая, грушанка круглолистная.

Второй фитоценоз – это сосняк – брусничник-зеленомошник: сосна обыкновенная, брусника, блестящий зеленый мох, ландыш майский, грушанка средняя, зимолобка, вереск обыкновенный, кукушник, плаун булавовидный.



Рассчитайте индексы встречаемости и обилия: а) птичьего клеща *Dermanyssus hirundinis*; б) птичьей блохи *Ceratophyllus gallinae tribulis* в зависимости от давности гнезда, используя данные таблиц. Какова сезонная закономерность в наличии числа зараженных паразитами гнезд? В ходе численности паразита? Каковы причины появления большого числа паразитов в гнездах с птенцами и гнездах после их вылета?

Численность клеща *Dermanyssus* в гнездах птиц

Показатель	Гнездо			
	С клад- кой	С птенцами	После вылета птенцов	Перезимовавшие
Всего гнезд	42	47	97	35
Из них с клещом	5	3	18	9
Индекс встречаемости, %				
Всего клещей	65	3319	14149	105
Индекс обилия, I_0				

Численность блохи *Ceratophyllus* в гнездах птиц

Показатель	Гнездо			
	С клад- кой	С птен- цами	После вылета	Перезимовавшие
Всего гнезд	42	47	97	35
Из них с блохой	14	20	24	8
Индекс встречаемости, %				
Всего блох	97	455	250	27
Индекс обилия, I_0				

Индекс встречаемости – это процентное соотношение числа гнезд с паразитом и общего количества обследованных гнезд. Индекс обилия – среднее число паразита на учтенное гнездо.



При методе квадратов для определения частоты встречаемости вида было использовано 250 квадратов размером 1×1 м. В них мать-и-мачеха обыкновенная встречалась 75 раз, молочай та-

тарский – 30, одуванчик лекарственный – 140, подорожник большой – 81 раз. Все эти растения были зафиксированы по отдельности в соответствующем количестве квадратов. Определите частоту встречаемости каждого вида в сообществе.



Каждый организм может быть кем то съеден. Чтобы не стать легкой добычей, живые существа в ходе эволюции обзавелись разнообразными средствами защиты: физическими, химическими, механическими и поведенческими. Приведите известные вам примеры всякого рода защиты.



Экологи предполагают, что находящиеся десятилетиями в «одной связке» хищники и жертвы, несомненно повлияли на эволюцию друг друга. Найдите признаки и доказательства в пользу этого предположения.



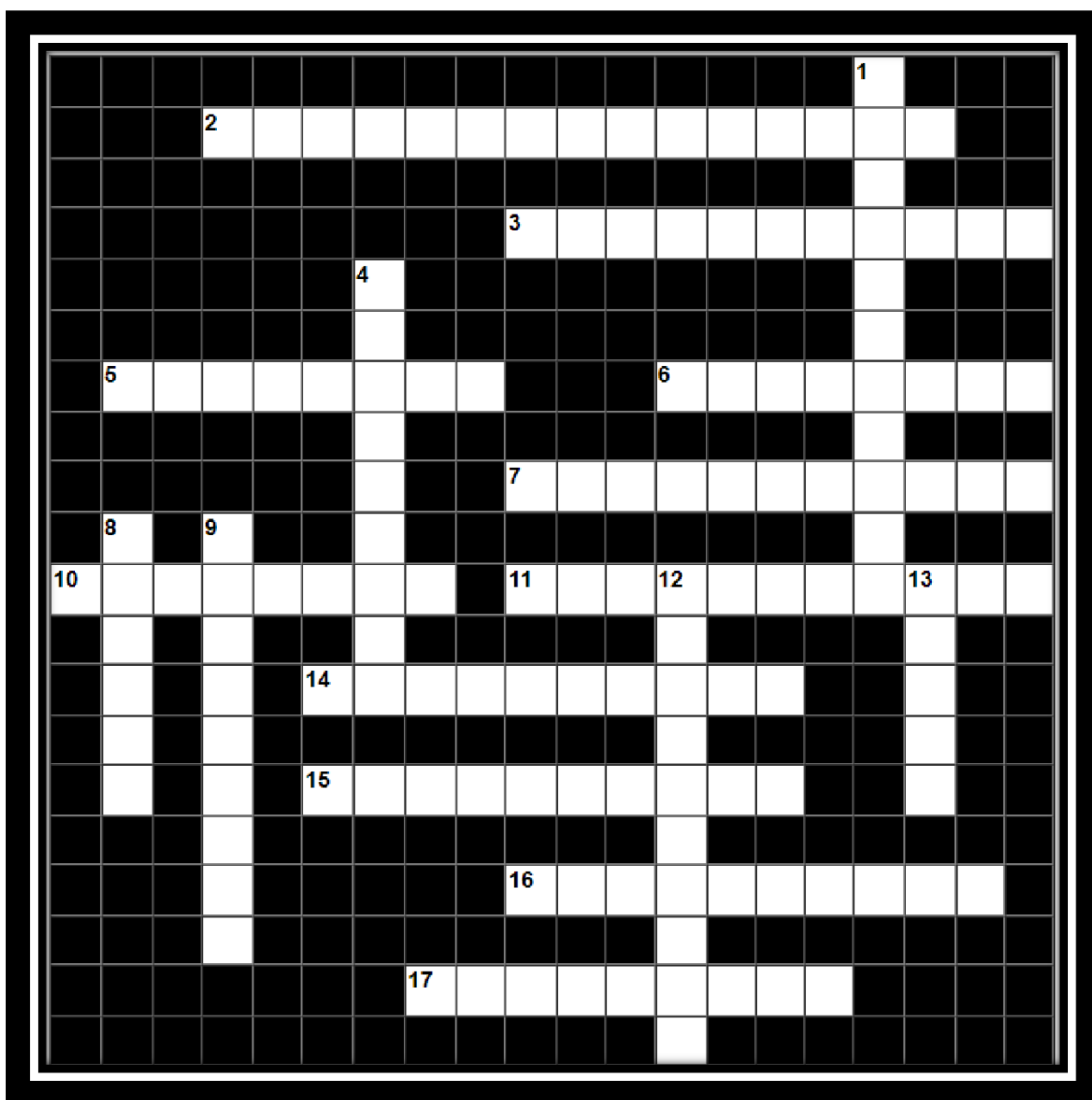
Гельминты (глисты), вши, блохи, клещи... Что объединяет этих представителей в одном ряду?



Р. Дажо писал: «Бактерия *Bacillus cola* делится каждые 20 мин. При таком ритме размножения достаточно 36 часов, чтобы этот одноклеточный организм покрыл весь земной шар сплошным слоем. Рост числа особей при отсутствии каких-либо тормозящих причин шел бы в геометрической прогрессии. Это и есть та способность к размножению, которая соответствует понятию биотического потенциала, установленному Чепменом». Ответьте на вопрос: почему этого явления не наблюдается?



Кроссворд по теме «Биоценоз»





По горизонтали:

2. Форма симбиоза, при которой совместное существование выгодно, но не обязательно для сожителей.
3. Борьба особей за необходимые им ресурсы.
5. Сочетание физических характеристик среды – воздушной или водной, существенных для населяющих эту среду организмов.
6. Исторически сложившаяся совокупность животных, растений, грибов, микроорганизмов, населяющих относительно однородное пространство, связанных между собой, и окружающей их средой.
7. Вид, преобладающий по численности и занимающий большую часть биотопа.
10. Тип комменсализма, при котором один организм использует другого в качестве жилища.
11. Раздел экологии, изучающий биоценозы.
14. Тип межвидовых взаимоотношений, при котором один вид, именуемый аменсалом, претерпевает угнетение роста и развития, а второй, именуемый ингибитором, таким испытаниям не подвержен.
15. Тип взаимоотношений организмов, при котором совместно обитающие на одной территории организмы не влияют друг на друга.
16. Явление, при котором два и более организма, – сосуществуют в течение продолжительного времени и при этом находятся в антагонистических отношениях.
17. Вертикальное расслоение природных сообществ на ярусы, из-за потребностей организмов в солнечном свете, воде и пище.

По вертикали:

1. Форма трофических взаимоотношений между организмами разных видов, когда один из них атакует другого и питается его плотью.
4. Экологическое взаимодействие между двумя или более видами, при котором каждый вид имеет чистую выгоду.
8. Относительно однородный по абиотическим факторам среды участок суши или водоёма, занятый определённым биоценозом.
9. Эволюционно сложившаяся структурная единица биоценоза, объединяющая автотрофные и гетеротрофные организмы на основе пространственных (топических) и пищевых (трофических) связей.
12. Вид организмов, играющий ведущую роль в сложении экосистемы, без которого она не может длительно существовать.
13. Ученый, сформулировавший правило конкурентного исключения, согласно которому одну экологическую нишу в биоценозе не могут занимать два вида.

Занятие № 6. Составление пищевых цепей. Методы графического изображения структуры экосистем



Закончите определение. Экосистема – это:

- а) совокупность организмов и неорганических компонентов на определенной территории, в которой поддерживается круговорот веществ;
- б) совокупность организмов разных видов, взаимосвязанных между собой, обитающих на определенной территории;
- в) совокупность популяций разных видов, обитающих на определенной территории;
- г) совокупность организмов, обитающих на определенной территории, и неорганических компонентов.



Укажите названия необходимых компонент экосистемы: *бактерии, животные, консументы, грибы, климат, редуценты, растения, биогенные вещества, продуценты, вода.*



Выберите из списка названия животных, которых можно отнести к консументам второго порядка: *серая крыса, слон, тигр, дизентерийная амеба, скорпион, паук, волк, кролик, мышь, саранча, ястреб, морская свинка, крокодил, гусь, лисица, окунь, антилопа, кобра, степная черепаха, виноградная улитка, дельфин, колорадский жук, бычий цепень, кенгуру, божья коровка, белый медведь, медоносная пчела, кровососущий комар, стрекоза, яблоневая плодожорка, тля, серая акула.*



Выберите из списка названия организмов, которых можно отнести преимущественно к редуцентам: *дуб, норка, клоп-черепашка, нерпа, пшеница, гнилостные бактерии, жуужелица, гриб пеницилл, кокосовая пальма, росянка, опята, лишайник олений мох.*



Укажите пастбищные (1) и детритные (2) пищевые цепи:

- а) диатомовые водоросли – личинка поденки – личинка ручейника;
- б) бурая водоросль – береговая улитка – кулик – сорока;
- в) мертвое животное – личинка падальной мухи – травяная лягушка – уж обыкновенный;
- г) нектар – муха – паук – землеройка – сова;
- д) коровий помет – личинка мухи – скворец – ястреб-перепелятник;
- е) листовая подстилка – дождевой червь – землеройка – горностай.



Составьте пять цепей питания. Все они должны начинаться с растений (их частей) или мертвых органических остатков (детрита). Промежуточным звеном в первом случае должен быть дождевой червь, во втором – личинка комара в пресном водоеме, в третьем – комнатная муха, в четвертом – личинка майского жука, в пятом – инфузория-туфелька.



Жгутиковые простейшие *Leptomonas* паразитируют на мелких насекомых, тысячи их могут быть найдены в одной блохе. Постройте пирамиду численности на основе следующей пищевой цепи: трава – травоядное млекопитающее – блоха – *Leptomonas*.



На основании правила экологической пирамиды определите, сколько необходимо планктона, чтобы выросла одна акула массой 100 кг.



Представьте себе, что люцерна является единственной пищей для телят, которыми, в свою очередь, питается 12-летний ребенок в течение одного года. Зная коэффициенты полезного использования энергии у человека (4 %) и у телят (13 %), определить, сколько нужно телят для поддержания жизни мальчика в течение года. Найти площадь покоса, необходимую для того, чтобы запастись люцерной, достаточную для прокорма того количества телят, которого хватит для питания мальчика. Урожайность люцерны – 20 ц/га; средняя масса теленка – 270 кг; масса мальчика – 48 кг.



Дайте определение сукцессии. Что из нижеперечисленного является сукцессией:

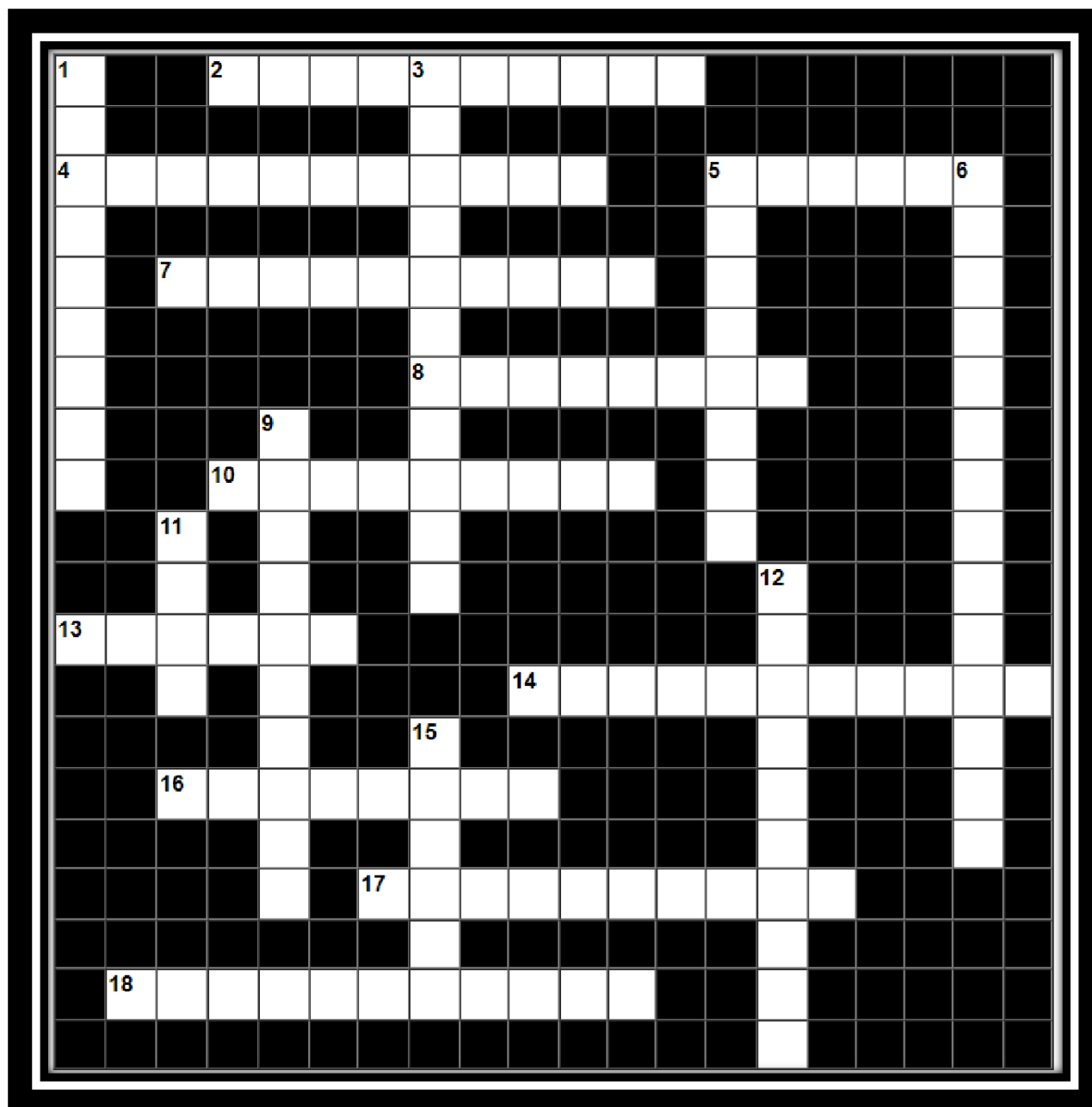
- а) морской планктон днем уходит на глубину, а ночью поднимается к поверхности океана;*
- б) у растений происходит в течение года смена фенофаз;*
- в) смена состава обитателей в норовом биоценозе;*
- г) процесс разложения трупа слона;*
- д) эволюция флоры и фауны на острове.*



Назовите редуцентов из числа бактерий и грибов, незаметная деятельность которых служит серьезным подспорьем человеку в его хозяйстве



Кроссворд по теме «Экосистемы и биосфера»





По горизонтали:

2. Автор труда «Учение о биосфере».
4. Уровень, на котором энергия в форме пищи передается от одного организма к другому как часть трофической цепи.
5. Относительно однородный по абиотическим факторам среды участок суши или водоёма, занятый определённым биоценозом.
7. Гетеротрофные организмы, потребляющие органическое вещество и трансформирующие его в новые формы.
8. Автор закона пирамиды энергий или закона 10 %.
10. Организмы, разрушающие отмершие останки живых существ, превращая их в неорганические соединения.
13. Определённая территория или акватория со всем набором и особенностями почв, грунтов, микроклимата и других факторов в неизменённом организмами виде.
14. Совокупность живых организмов (растений, животных, бактерий, грибов) и условий абиотической среды на определенной территории.
16. Оболочка Земли, заселённая живыми организмами.
17. Организмы, способные производить органические вещества из неорганических, то есть все автотрофы.
18. Организмы, которые не способны синтезировать органические вещества из неорганических путём фотосинтеза или хемосинтеза.

По вертикали

1. Организмы, синтезирующие органические вещества из неорганических – первичные продуценты в биосфере.
3. Синоним слова анаболизм.
5. Выраженное в единицах массы (веса) или энергии количество живого вещества тех или иных организмов, обитающих на исследуемой площади или в исследуемом объеме.
6. Биологическая _____ экосистем определяется количеством биомассы, синтезируемой за единицу времени на единицу площади (или объема).
9. Организмы, синтезирующие органические вещества из неорганических за счет энергии солнца.
11. Совокупность экосистем одной природно-климатической зоны.
12. Основная природная единица на поверхности Земли.
15. Мертвый органический материал в виде частиц, обычно включает тела или фрагменты тел мертвых организмов и фекалии.

Занятие № 7. Биосфера



Что такое биосфера? Каковы ее границы?



Соотнесите функции живого вещества и их характеристики.

Функция живого вещества	Характеристика функций
1) энергетическая	а) «захват» живым веществом химических элементов и накопление отдельными видами редко встречающихся элементов
2) деструктивная	б) усвоение живым веществом преимущественно солнечной энергии и передача ее по трофической цепи
3) средообразующая	в) выделение зелеными растениями в процессе фотосинтеза кислорода, а также растениями и животными при дыхании углекислого газа, многими бактериями азота, сероводорода и др.
4) газовая	г) окисление веществ с помощью организмов в почве и гидросфере с образованием солей, оксидов и других соединений, а также восстановление веществ
5) транспортная	д) процессы разложения организмов после их смерти
6) окислительно-восстановительная	е) перенос вещества и энергии в результате активного движения организмов
7) концентрационная	ж) преобразование физико-химических параметров среды в результате процессов жизнедеятельности организмов



Какова роль антропогенеза в эволюции биосферы? Какие существуют теории происхождения жизни на земле? Какой теории вы придерживаетесь?



Безостановочный планетарный процесс закономерного циклического, неравномерного во времени и пространстве перераспределения вещества называется _____.

Тематика докладов по теме «Биосфера»

1. Большой геологический круговорот воды.
2. Большой (геологический) круговорот веществ.
3. Малый (биотический или биологический круговорот веществ).
4. Круговорот углерода.
5. Круговорот кислорода.
6. Круговорот азота.
7. Круговорот серы.
8. Круговорот фосфора.
9. Виды энергии в биосфере.
10. Как соблюдается закон сохранения энергии в биосфере?

План для представления докладов по круговоротам элементов

1. Почему элемент является важнейшим биогенным элементом?
2. Почему необходимо понимать круговорот этого элемента?
3. Назвать основные этапы круговорота.
4. Указать каким образом происходит деформация природного цикла, связанная с деятельностью человека, производимая через землепользование, индустриализацию, урбанизацию и т. д.
5. Как можно минимизировать последствия такого вмешательства?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Установите соответствие между направлениями экологии и их содержанием:

- | | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| 1) аутэкология; | а) учение об экосистеме и среде; |
| 2) биогеоценология; | б) учение об организме и его среде; |
| 3) глобальная экология; | в) учение о популяции и ее среде; |
| 4) демэкология; | г) учение о биосфере. |

Установите соответствие между средами жизни и их обитателями:

- | | |
|-----------------------|-------------|
| 1) водная; | а) вирусы; |
| 2) организменная; | б) камбала; |
| 3) наземно-воздушная; | в) приматы. |

Установите соответствие названий группы адаптаций животных к наземно-воздушной среде:

- | | |
|---------------------|----------------------------------|
| 1) поведенческие; | а) выносливость к обезвоживанию; |
| 2) физиологические; | б) хитиновый покров насекомых; |
| 3) морфологические; | в) выбор местообитания. |

Установите соответствие между средами жизни и особенностями их обитателей:

- | | |
|-----------------------|---|
| 1) почвенная; | а) выработка механизмов регуляции гидротермического режима; |
| 2) организменная; | б) коадаптации паразита и хозяина, синхронизация биоритмов; |
| 3) наземно-воздушная; | в) наличие копательного аппарата и развитой мускулатуры. |

Термин «экология» был введен в научный обиход в 1866 г.:

- Ю. Либихом;
- В.В. Докучаевым;
- Э. Геккелем;
- Н.А. Северцевым;
- Г.Ф. Гаузе.

Экология не изучает уровень организации материи:

- клеточный;
- организменный;
- популяционный;
- видовой.

Совокупность абиотических и биотических условий жизни организмов – это:

- экологические факторы;
- среда обитания;
- трофическая цепь;
- земная биота.

«Взаимосвязь экологических факторов и их взаимное усиление или ослабление, определяют их воздействие на организм и успешность его жизни», – гласит закон:

- лимитирующих факторов;
- биогенной миграции атомов;
- давление среды жизни;
- совокупного действия факторов.

Закон минимума был сформулирован в 1840 г.:

- Э. Геккелем;
- Ю. Либихом;
- В. Шелфордом;
- В.В. Докучаевым;
- Г.Ф. Гаузе.

Среда, в которой опорно-двигательная система животных и механические ткани растений наиболее развиты:

- водная;
- наземно-воздушная;
- почва;
- организм.

Водная среда жизни пополняется кислородом за счет:

- разложения органики;
- дыхания зоопланктона;
- фотосинтеза водорослей;
- атмосферных осадков.

Совокупность пелагических организмов, которые не обладают способностью к быстрым активным передвижениям:

- нектон;
- планктон;
- нейстон;
- бентос.

Совокупность организмов, обитающих на дне водоемов, называется:

- нектон;
- планктон;
- нейстон;
- бентос.

Популяция может расти в геометрической прогрессии (экспоненциально):

- когда единственным ограничивающим рост ресурсов является обитание;
- когда она впервые попадает в подходящее незанятое место обитания;
- только в случае отсутствия хищников;
- только в лаборатории.

Если в популяции преобладает смертность, а не рождаемость, то численность популяции:

- ☐ резко возрастает;
- ☐ остается на одном уровне;
- ☐ резко сокращается;
- ☐ первоначально возрастает, а затем резко падает.

Местообитания популяции называют:

- ☐ эконишей;
- ☐ экотопом;
- ☐ биотопом;
- ☐ стацией.

В состав популяции не входят:

- ☐ организмы одного вида;
- ☐ разных видов;
- ☐ разных возрастов;
- ☐ разного пола.

Выберите верную оценку плотности населения популяции:

- ☐ 20 особей;
- ☐ 20 особей на 1 га;
- ☐ 20 особей на 100 размножающихся самок;
- ☐ 20 особей на 100 ловушек.

Возрастная структура популяций любого вида зависит (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- ☐ от особенностей жизненного цикла;
- ☐ численности популяции;
- ☐ смертности популяции;
- ☐ плотности популяции;
- ☐ внешних условий;
- ☐ от миграции.

Чем больше биомасса популяции, тем занимаемый ею трофический уровень:

- ☐ количество биомассы не зависит от трофического уровня;
- ☐ ниже;
- ☐ выше.

Генофонд популяции – это:

- совокупность генотипов всех особей популяции;
- совокупность фенотипов всех особей популяции;
- соотношение в популяции различных генотипов и аллелей генов;
- соотношение в популяции особей разного пола.

Генетическая структура популяции – это:

- совокупность генотипов всех особей популяции;
- совокупность фенотипов всех особей популяции;
- соотношение в популяции различных генотипов и аллелей генов;
- соотношение в популяции особей разного пола.

Примером популяции является совокупность особей:

- лося, населяющего часть леса площадью 10 га;
- кавказского тура, населяющего склоны и долины Кавказ;
- серой вороны, распространенной на территории Евразии;
- ряски, населяющей пруды и озера Среднерусской возвышенности;
- всех птиц, населяющих городской парк.

Наличие доступных ресурсов и жизненного пространства, которые необходимы популяции, определяется понятием:

- давление жизни;
- емкость среды;
- репродуктивный потенциал.

Скорость роста популяции – это:

- периодические изменения численности особей
- изменения численности популяции
- изменение численности популяции в единицу времени
- сезонные изменения численности видов

Видовое богатство сообществ зависит от следующих причин (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- степени благоприятности абиотических факторов среды;
- степени благоприятности биотических факторов среды;

- ☐ разнообразия среды обитания;
- ☐ длительности существования биоценоза;
- ☐ степени благоприятности антропогенных воздействий.

В сосновом бору видом-эдификатором выступает:

- ☐ сосна обыкновенная;
- ☐ кошачьи лапки;
- ☐ мох кукушкин лен;
- ☐ седмичник европейский.

Роль малочисленных видов в биоценозах заключается (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- ☐ в уменьшении биологического разнообразия;
- ☐ пополнении и замещении видов-доминантов;
- ☐ увеличении саморегулирующих возможностей;
- ☐ уменьшении разнообразия биотических связей;
- ☐ придании сообществу большей устойчивости.

Мозаичное строение сообщества обусловлено (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- ☐ однородностью микрорельефа;
- ☐ однородностью почв;
- ☐ деятельностью человека;
- ☐ деятельностью животных;
- ☐ влиянием растений-эдификаторов.

Перенос животными семян, спор, пыльцы растений является примером межвидовых связей:

- ☐ трофических;
- ☐ форических;
- ☐ топических;
- ☐ фабрических.

Биотические отношения по типу «паразит-хозяин» осуществляются у следующих пар животных:

- ☐ большой пестрый дятел и личинка жука-дровосека;
- ☐ бычий цепень и малый прудовик;
- ☐ серая цапля и озерная лягушка;
- ☐ свиной цепень и домашние свиньи.

Примером комменсализма являются взаимоотношения:

- рака-отшельника и актинии;
- акул и дельфинов;
- львов и гиен;
- черной и серой крыс.

Примером аменсализма является:

- ели в одном лесу борются за свет;
- ель затеняет в лесу светолюбивые травянистые растения;
- под елью растут грибы маслята;
- на ели поселился гриб-трутовик.

Тип взаимодействия, при котором организмы соперничают друг с другом, пытаясь лучше и быстрее достичь какой-либо цели, – это:

- паразитизм;
- нейтрализм;
- конкуренция;
- хищничество;
- аменсализм.

Среди паразитов преимущество получают:

- те, которые приводят хозяина к как можно более ранней гибели;
- способны более плотно и длительно использовать хозяина;
- следуют принципу «Изнуряй и погуби!»;
- следуют принципу «Не изнуряй и не губи!».

Экосистема – это совокупность:

- организмов и неорганических компонентов на определенной территории, в которой поддерживается круговорот веществ;
- организмов разных видов, взаимосвязанных между собой и обитающих на определенной территории;
- популяций разных видов, обитающих на определенной территории;
- организмов, обитающих на определенной территории, а также неорганических компонентов.

Процесс, в ходе которого организмы превращают световую энергию в химическую:

- дыхание;
- фотосинтез;
- перистальтика;
- метаболизм.

Виды, являющиеся мигрирующими:

- медведь;
- журавль;
- глухарь;
- лисица.

Продуценты, редуценты, консументы – основные компоненты функциональной группы:

- семейства;
- популяции;
- вида;
- экосистемы.

Зеленые растения, цианобактерии и пурпурные бактерии по типу питания являются:

- редуцентами;
- консументами 1-го порядка;
- продуцентами;
- консументами 2-го порядка;
- продуцентами 2-го порядка.

Трофический уровень определяется как совокупность:

- продуцентов, консументов и редуцентов;
- организмов, объединяемых типом питания;
- автотрофов и гетеротрофов;
- организмов, питающихся друг другом.

Роль продуцентов в экосистемах заключается (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- в создании запаса неорганических соединений;
- разложении мертвого органического вещества;

- потреблении готового органического вещества;
- создании органического вещества за счет неорганических соединений.

Согласно правилу пирамиды продукции:

- общее число особей, участвующих в цепях питания, с каждым звеном уменьшается;
- на каждом предыдущем трофическом уровне количество биомассы, создаваемой за единицу времени, меньше чем на последующем;
- суммарная масса растений сообщества оказывается больше, чем биомасса всех фитофагов;
- на каждом предыдущем трофическом уровне количество биомассы, создаваемой за единицу времени, больше чем на последующем.

Роль редуцентов в экосистемах заключается:

- в создании запаса неорганических соединений;
- разложении мертвого органического вещества;
- потреблении готового органического вещества.

В экосистеме основной поток вещества и энергии передается:

- от редуцентов к консументам и далее к продуцентам;
- консументов к продуцентам и далее к редуцентам;
- продуцентов к консументам и далее к редуцентам;
- редуцентов к продуцентам и далее к консументам.

Пищевая цепь – это:

- набор пищевых объектов в сообществе;
- перенос энергии от источника к другому организму;
- рассеивание энергии в ряду продуцент – редуцент;
- перенос потенциальной энергии пищи от ее создателей через ряд организмов.

Правильно составленной пастбищной пищевой цепью является:

- клевер → заяц → орел → лягушка;
- лев → газель → трава;

- перегной → дождевой червь → землеройка → горностай;
- трава → зеленый кузнечик → лягушка → уж.

В цепи выедания размеры организмов при переходе от одного трофического уровня к другому:

- остаются приблизительно одинаковыми;
- постепенно уменьшаются;
- постепенно увеличиваются;
- могут, как уменьшаться, так и увеличиваться.

Детритная пищевая цепь может начинаться:

- с опавших листьев;
- зеленых растений;
- дождевых червей;
- придонных организмов-фильтраторов.

Наименее продуктивные экосистемы на суше располагаются (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- ☐ в тропических лесах;
- ☐ степях и саваннах;
- ☐ арктических пустынях;
- ☐ жарких пустынях;
- ☐ горах, выше 3 000 км.

Согласно правилу Р. Л. Линдемана, на каждый последующий пищевой уровень от предыдущего переходит энергии:

- 1 %;
- 10 %;
- 40 %;
- 90 %.

Продукты жизнедеятельности живых организмов называют веществом:

- косным;
- живым;
- биокосным;
- биогенным.

Примером биокосного вещества биосферы является:

- нефть;
- почва;
- гранит;
- природный газ.

Биохимическая концепция биосферы заключается:

- в изучении принципов организации и регулирования живой природы;
- в сложных преобразованиях веществ в живых организмах за счет химической энергии;
- в извлечении человеком из природы средств для своего существования;
- в делении биосферы на биогеоценозы.

В состав биосферы согласно учению В.И. Вернадского входят (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- ☐ биогенное вещество;
- ☐ косное вещество;
- ☐ косногенное вещество;
- ☐ биокосное вещество;
- ☐ живое вещество.

Основными предпосылками перехода биосферы в ноосферу являются (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- ☐ высокий уровень развития науки, всесторонняя обоснованность любой человеческой деятельности;
- ☐ низкое качество жизни людей в самых различных частях планеты;
- ☐ развитость средств массовой информации и коммуникаций;
- ☐ наличие альтернативных технологий, источников энергии, особенно эффективных способов утилизации энергии Солнца;
- ☐ социальное равенство людей на Земле, исключаящее национализм, расизм, нищету и эксплуатацию.

Биосфера – это (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- ☐ оболочка Земли, в которой существуют и взаимодействуют с окружающей средой живые существа;
- ☐ оболочка Земли, включающая часть литосферы, гидросферы и атмосферы;
- ☐ оболочка Земли, в которой существует человечество;
- ☐ оболочка, включающая часть природы Земли, не тронутую деятельностью человека.

К специфическим свойствам и особенностям живого вещества биосферы следует отнести (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- ☐ относительно низкую скорость протекания химических реакций в живом веществе;
- ☐ химические соединения, составляющие живое вещество, отличаются большой устойчивостью в абиотической среде;
- ☐ большое морфологическое и химическое разнообразие органических форм;
- ☐ саморегулируемое произвольное движение живых существ;
- ☐ наличие в живом веществе большого запаса энергии.

Основными биогеохимическими функциями живого вещества биосферы являются следующие функции (множественный выбор с несколькими верными ответами):

- ☐ газовая;
- ☐ разлагающая;
- ☐ транспортная;
- ☐ деструкционная;
- ☐ энергетическая.

Концепцию ноосферы впервые предложил:

- ☐ Владимир Вернадский;
- ☐ Петр Первый;
- ☐ Чарльз Дарвин;
- ☐ Исаак Ньютон;
- ☐ Альберт Эйнштейн.

Переход от биосферы к ноосфере называется:

- биом;
- экосистема;
- сукцессия;
- экотон;
- ноогенез.

Отметьте стройный ряд понятий экологических групп растений по степени убывания факторов влажности:

- мезофиты;
- гидатофиты;
- гигрофиты;
- ксерофиты;
- гидрофиты.

Восстановите правильный порядок событий при осуществлении взаимной регуляции численности хищников и жертв:

- снижение численности жертв;
- снижение численности хищников;
- увеличение численности жертв;
- увеличение численности хищников.

Восстановите последовательность этапов сукцессии по Ф. Клементсу:

- приживание организмов на новом участке;
- преобразование живыми организмами местообитания, постепенная стабилизация условий и отношений;
- возникновение незанятого жизнью участка;
- конкуренция организмов между собой и вытеснение отдельных видов;
- миграция на незанятый жизнью участок различных организмов или их зачатков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время деятельность человека приобретает угрожающий характер, нарушая все законы природы. Остановить разрушающий процесс возможно управлением качеством окружающей природной среды, в том числе рациональным природопользованием. Проблемы такого управления связаны с решением сложных задач.

Во-первых, все процессы протекают в пространстве, состоящем из множества экосистем. При этом каждая из них выделяется биоразнообразием, специфическими пищевыми цепями, особыми связями биотических и абиотических факторов. Такие особенности и в современный период не позволяют создать действенные приемы коррекции состояния окружающей среды, так как многие связи не изучены, а некоторые даже не известны.

Во-вторых, большинство последствий после различного рода воздействий проявляются не сразу, а через какое-то время, иногда очень значительное. Например, процесс накопления в атмосфере диоксида углерода, количество которого за последние 100 лет увеличилось примерно на четверть.

Во всем мире и во многих регионах России экологическая обстановка оставляет желать лучшего. Но какими бы сложными не были пути для решения экологических проблем, эти проблемы должны быть решены. Конечно, основной базой для решения таких проблем будут являться достижения науки и технологий, но не менее важно развитие экологического мировоззрения.

Развитие экологического мировоззрения – это воспитание системы взглядов на отношение людей к окружающей их природной среде, которая определяет принципы деятельности и потребления, что, в свою очередь, влияет на нормы поведения, жизненные устремления, интересы, труд и быт людей. Правила поведения по отношению к окружающей среде должен выработать и следовать им в жизни каждый.

Изучение вопросов и выполнение заданий, представленных в пособии, поможет студентам овладеть экологическими знаниями, которые будут способствовать осознанию важности проблем, возникающих при взаимодействии природы и общества. Знания, переходя в убеждения, закладывают основу экологического сознания и мировоззрения студентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акимова, Т. А. Экология. Природа – Человек – Техника: учебник / Т. А. Акимова, А. П. Кузьмин, В. В. Хаскин; под общ. ред А. П. Кузьмина. – Москва: Экономика, 2007. – 510 с.
2. Акимова, Т. А. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: учебник для вузов / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 566 с.
3. Банников, А. Г. Основы экологии и охрана окружающей среды: учебник / А. Г. Банников, А. А. Вакулин, А. К. Рустамов. – Москва: Колос, 1999. – 303 с.
4. Бродский, А. К. Экология: учебник / А. К. Бродский. – Москва: КноРус, 2012. – 269 с.
5. Вронский, В. А. Экология и окружающая среда: словарь-справочник / В. А. Вронский. – Москва: МарТ, 2008. – 428 с.
6. Горелов, А. А. Экология: учебное пособие / А. А. Горелов. – Москва: Центр, 2000. – 240 с.
7. Коробкин, В. И. Экология: учебник для вузов / В. И. Коробкин, Л. В. Предельский. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 601 с.
8. Лось, В. А. Экология: учебник / В. А. Лось. – Москва: Экзамен, 2006. – 477 с.
9. Маринченко, А. В. Экология: учебное пособие / А. В. Маринченко. – Москва: Дашков и К, 2009. – 326 с.
10. Никаноров, А. М. Экология для студентов вузов и специалистов экологов / А. М. Никаноров, Т. А. Хоружая. – Москва: Приор, 2001. – 302 с.
11. Степановских, А. С. Общая экология: учебник / А. С. Степановских. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 509 с.
12. Шилов, И. А. Экология популяций и сообществ: учебник для вузов / И. А. Шилов. – Москва: Юрайт, 2023. – 227 с.
13. Шилов, И. А. Экология: учебник / И. А. Шилов. – Москва: Высшая школа, 2001. – 512 с.

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Часть 1

Учебное пособие

Новикова Виктория Борисовна

Потапова Светлана Олеговна

Редактор М.М. Ионина

Электронное издание

Подписано в свет 30.11.2023. Регистрационный номер 47
Редакционно-издательская служба Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117
e-mail: rio@kgau.ru