

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЕЛЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.А. БУНИНА»

Т.Ю. Петрищева, И.Н. Усачева

**ОЛИМПИАДНАЯ ПОДГОТОВКА
ПО ОСНОВНЫМ РАЗДЕЛАМ
ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ
ЭКОЛОГИИ**

Учебное пособие

Елец – 2021

УДК 574.4(075.8)

ББК 28.080

П 30

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина
от 28. 01. 2021 г., протокол № 1

Рецензенты:

М.Ю. Куприянова, кандидат биологических наук, доцент, зав.кафедрой
биоэкологии и химии Чувашского государственного педагогического университе-
та им. И.Я. Яковлева;

В.Л. Захаров, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры техно-
логии хранения переработки с/х продукции ЕГУ им. И.А. Бунина

Т.Ю. Петрищева, И.Н. Усачева

П 30 Олимпиадная подготовка по основным разделам общей и прикладной эколо-
гии: учебное пособие. – Елец: Елецкий государственный университет им.
И.А. Бунина, 2021. – 90 с.

ISBN 978-5-00151-209-7

Данное пособие разработано с целью систематизации и обобщения данных в области экологии. В нем в краткой форме даются представления об основных законах и теориях общей и прикладной экологии, которые необходимы для подготовки к олимпиадам разного уровня. Материал представлен в доступной и понятной форме, содержит достаточное количество наглядности в виде схем, таблиц, рисунков. Также в пособии представлены олимпиадные задания по экологии в виде задач, кейсов и др., которые позволяют оценить уровень сформированности знаний учащихся в области экологии.

Данное пособие предназначено для учащихся направлений подготовки 44.0.05 Педагогическое образование и 04.03.01 Химия. Также оно может быть актуально для учителей биологии, химии.

УДК 574.4(075.8)

ББК 28.080

ISBN 978-5-00151-209-7

© Елецкий государственный
университет им. И. А. Бунина, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Экология является сравнительно молодой наукой, появившейся как раздел биологии, однако экология, несмотря на это, рассматривает достаточно широкий круг вопросов, касающихся как строения биологических объектов, так и их положения в системе органического мира, взаимодействия со всеми структурными компонентами природных систем. Кроме того, в последние годы все большей популярностью пользуются вопросы прикладного характера, касающиеся природоохранительной деятельности.

Олимпиадная форма работ по разным наукам пользуется традиционно большим интересом. Олимпиады в области экологии ежегодно проводятся во всех субъектах РФ, носят региональный и национальный уровень. Задания олимпиадного уровня содержат креативную составляющую, призваны выявлять знания и умения учащихся углубленной подготовки. Фундаментом при этом служат базовые знания в области общей экологии. Олимпиады более высокого уровня проводятся с включением заданий прикладного характера, практических заданий, что зачастую вызывает трудности у обучающихся. Для успешного прохождения всех этапов олимпиад разного уровня необходимо владеть комплексом знаний и умений, которые носят межпредметный характер.

Для подготовки учащихся к олимпиадам по экологии необходимо освоение базовых знаний в области биологии и экологии, умений и навыков работы с биологическими объектами.

Данное учебное пособие посвящено разбору наиболее важных и сложных тем, которые могут рассматриваться в рамках олимпиад в области экологии. Представлена информация по важнейшим разделам общей экологии: уат-, дем-, синэкология и глобальная экология. Даны базовые понятия, законы экологии. Также часть материала данного учебного пособия демонстрирует фундаментальные понятия прикладной экологии, которая получает все большую популярность в современном мире и связана с охраной окружающей среды, применением различных технологических процессов в деятельности человека с учетом сохранения

стабильности экологических систем. Большой объем научного материала представлен в краткой, доступной для учащихся форме и содержит достаточное количество наглядного материала в виде схем, таблиц, рисунков, диаграмм.

Для анализа сформированности знаний и умений в области общей экологии авторами предлагается комплект заданий разного уровня. Большая часть заданий представлена кейс-задачами и практическими заданиями.

МОДУЛЬ 1. ЭКОЛОГИЯ КАК НАУКА. АУТЭКОЛОГИЯ.

В истории становления любой науки можно выделить три основных этапа: донаучный, научный и современный. Если условно разделить историю экологии на подобные этапы, то они занимают следующие временные промежутки:

1 этап – описательный, происходило зарождение и становление экологии как науки, накопление данных о многообразии органического мира, взаимосвязях живых организмов со средой обитания; делались первые обобщения. Это умозрительный этап, в котором базовым методом был метод наблюдения. Связан этот период с работами философов, таких как, Аристотель, Теофраст, Линней, Ламарк. Временной период – с Древности до XVIII-XIX в. Подтверждением достижений данного периода являются наскальные рисунки, несущие информацию о животных, растениях того периода, их жизни, повадках и т.д. В VI-IV вв. до н.э. описания более 50 видов животного мира можно встретить в эпических поэмах Махабхарата и Рамаяна. 384-322 гг. до н.э. Аристотель в своей работе «История животных» привел классификацию животных и связал ее с условиями обитания животных. 372-287 гг. до н.э. Теофраст описал около 500 видов растений и их сообществ в работе «Исследования о растениях». В 1749 г. К. Линней заложил основы систематики, ввел бинарную номенклатуру и в работе «Экономика природы» привел описания различных мест обитания живых организмов.

2 этап – оформление экологии в самостоятельную отрасль знаний, появился термин «экология», дано определение экологии как науки, были созданы основные законы, теории экологии. Этап связан с трудами таких учёных, как Ч. Дарвин, Э. Геккель, В.И. Вернадский, Ю. Либих и др. Временной этап – начиная с XIX века. 1802-1809 гг. связаны с появлением понятия «биология», которое сформулировал Ж.-Б. Ламарк. Он же дал представление о сущности взаимосвязей системы «организм-среда». В 1840 г. Ю. Либих сформулировал закон минимума. Чуть позже Э. Геккель ввел понятие «экология». Далее в течение 10 следующих лет были заложены основы антропоэкологии Г. Спенсером, введено понятие «биоценоз» К. Мёбиусом и «биосфера» Э. Зюссом. Окончание данного этапа относят к началу

XX века и связывают с работами В.И. Вернадского (учение о биосфере и ноосфере), К. Раункиера (учение о жизненных формах), В. Шелфорда (закон толерантности), А. Тенсли (учение об экосистеме), В.Н. Сукачева (учение о биогеоценозе).

3 этап – превращения экологии в комплексную науку, развитие прикладной экологии, интеграция экологии ряда других наук. Особую роль на данном этапе получает разделы социальной, промышленной экологии, связанные с охраной окружающей среды. Этот период начинается с конца XX века и связан с работами Ю. Одума, Реймерса, Б. Коммонера. Это период появления первого фундаментального учебника по экологии, который актуален и по сей день (Ю. Одум – 1953 г.), разработки закон взаимодействия общества и природы, создания и совершенствования экологического законодательства, экологических организаций разного уровня и масштаба. Этап данный продолжается и в настоящее время, когда вопросы и проблемы экологии стоят в современном социуме на одном из первых мест.

В целом, если сформулировать определение экологии (от греч. «ойкос» – дом, жилище и «логос» – учение) – это наука, изучающая условия существования живых организмов и взаимосвязей между организмами и средой, в которой они обитают.

Изначально экология развивалась как составная часть биологической науки, в тесной связи с другими естественными науками – химией, физикой, геологией, географией, почвоведением, математикой.

Как наука экология сформировалась лишь в середине XIX века, после того, как были накоплены сведения о многообразии живых организмов на Земле, об особенностях их образа жизни. Возникло понимание, что не только строение и развитие организмов, но и взаимоотношение их со средой обитания подчинены определенным закономерностям, которые заслуживают специального изучения.

Термин «экология» введен известным немецким зоологом Эрнестом Геккелем в 1866 году, который в своих трудах «Всеобщая морфология организмов» (1866 г.) и «Естественная история миротворения» (1868 г.) впервые попытался дать определение сущности новой науки. По Геккелю, экология представляет собой науку о «домашнем быте» живых организмов, она призвана исследовать все

те запутанные взаимоотношения, которые Дарвин условно обозначал как борьбу за существование.

Выделившись в системе других естественных наук, экология и сейчас продолжает развиваться, обогащая свое содержание и расширяя задачи.

Предмет экологии – совокупность связей между организмами и средой.

Объектом экологии могут быть отдельные виды, их популяции, экосистемы и биосфера в целом.

В составе общей экологии выделяют следующие разделы:

- аутоэкологию (исследует индивидуальные связи отдельного организма с окружающей средой),
- демэкологию = популяционную (изучает структуру и динамику популяций),
- синэкологию = биоценологию (изучает взаимоотношения популяций, сообществ и экосистем со средой).

Помимо общей экологии, которая изучает общие закономерности взаимоотношений живых организмов и среды существует еще и глобальная экология (изучает биосферу как глобальную экосистему). В настоящее время появились такие дисциплины как социальная экология (изучает взаимоотношения в системе человека с обществом природы) и ее часть экология человека (антропоэкология), в которой рассматривается взаимодействие человека как биосоциального существа с окружающим миром.

Кроме того, экология классифицируется по конкретным объектам и средам исследования: экология животных, экология растений, экология микроорганизмов.

В последнее время роль и значение биосферы как объекта экологического анализа непрерывно возрастают. Особенно большое значение в современной экологии уделяется проблемам взаимодействия человека с окружающей средой. Это связано с резким усилением взаимного отрицательного влияния человека и среды в связи с негативными последствиями НТП.

Таким образом, современная экология не ограничивается только рамками биологической дисциплины, она превращается в междисциплинарную науку, изучающую сложнейшие проблемы взаимодействия человека с окружающей средой. Актуальность и многогранность этой проблемы привела к «экологизации» естественных, технических и гуманитарных наук.

Из всего вышесказанного следует, что задачи экологии весьма многообразны. Все задачи, которые решает экология как наука можно разделить на два блока: общенаучные и прикладные (рис.1).



Рис.1. Задачи экологии

Все представленные задачи в экологии решаются посредством разнообразных методов. Методы классифицируют на общенаучные, такие как наблюдение, анализ, синтез, дедукция, индукция и т.п. и частнонаучные, такие как мониторинг, хроматография и др.

Если представить обобщенную схему методов, применяемых в экологии, то все их можно поделить на три основные группы:

1. Полевые (наблюдаются в естественных условиях). Эта самая древняя группа методов, не потерявших своей актуальности в экологии и на сегодняшний момент.

2. Экспериментальные (в искусственно созданных условиях). Методы, получившие популярность с момента появления экологии как науки. Любые теории и законы в науке должны иметь экспериментальные подтверждения.

3. Моделирование (разработка моделей существующих экологических систем, прогностическое моделирование систем и ситуаций). Эта группа методов базируется на достижениях математики, информационных технологий и получила широкое применение в современной науке.

Таким образом, можно сделать вывод, что экология – это сравнительно молодая и перспективная наука, занимающая важное место и в системе образования и современном социуме.

Аутэкология являясь разделом общей экологии, занимается изучением взаимоотношений отдельных видов с факторами окружающей среды, отдельно взятые виды входят в структуру органического мира, выступая в роли компонентов живого вещества на нашей планете.

Жизнь в биологическом понимании есть форма существования высокомолекулярных соединений, таких как нуклеиновые кислоты и белки, обеспечивающих самосохранение, самовосстановление и саморегуляцию такой системы. Это суть определения жизни М. В. Волькенштейна, которое на данный момент является самым современным и правильным. На рис. 2 представлена система всего органического мира.

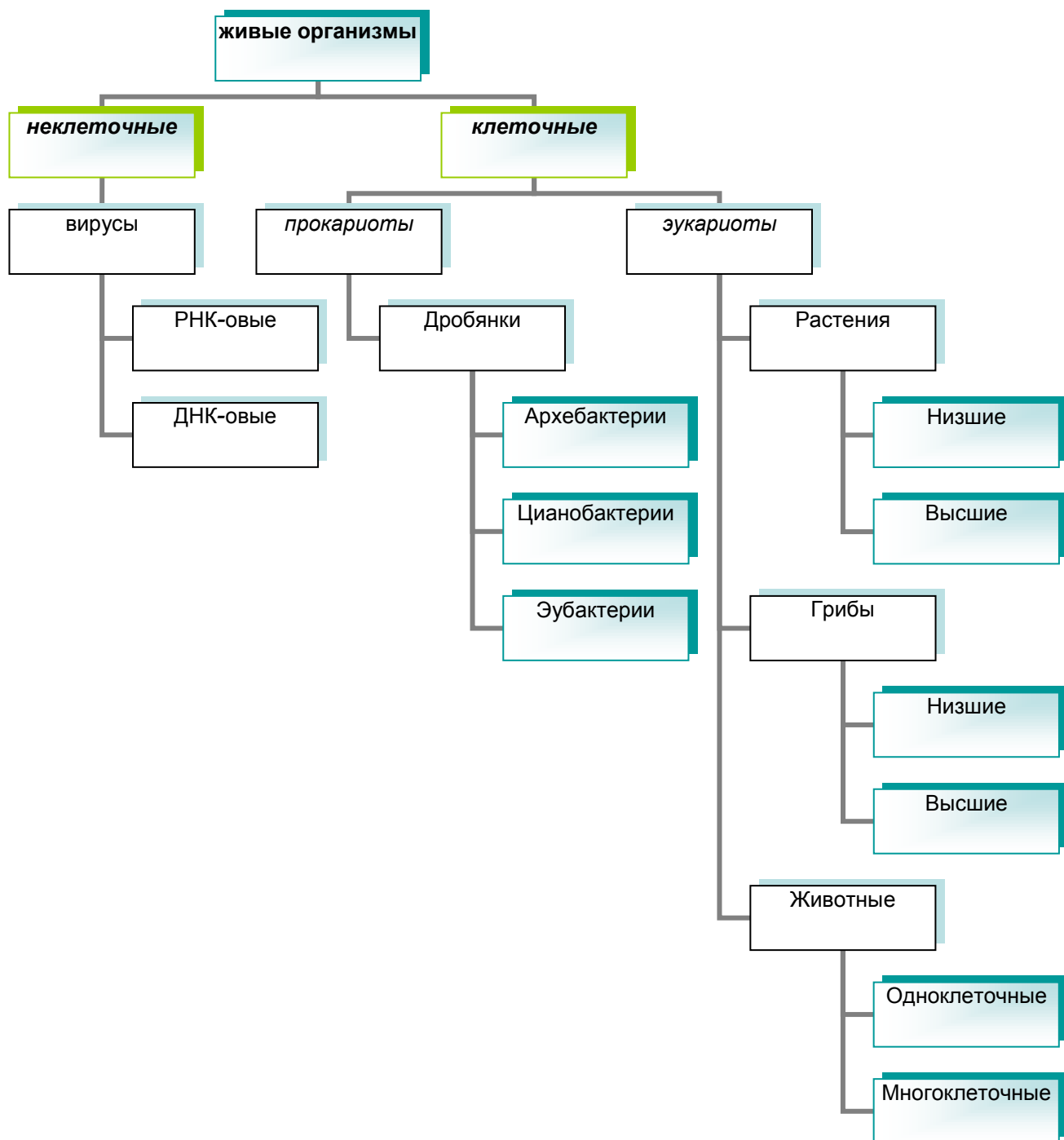


Рис. 2. Система органического мира

Для понимания особенностей взаимоотношений компонентов структуры органического мира, необходимо ознакомиться с особенностями этих компонентов.

Неклеточные организмы представлены одним надцарством – Вирусы. Эти организмы долгое время считали неживыми, и они занимали промежуточное положение в системе органического мира. Однако, после детально изучения критериев жизни, формулирования полного определения жизни, вирусы отнесли к живым организмам. Для них применимы 3 критерия жизни (табл.1): самовоспроизведе-

дение, наследственность и изменчивость. Данные критерии затем были названы универсальными, так как подходят для всех живых организмов. Размножаются вирусы специфически – путем репликации за счет генетического аппарата клетки-хозяина. Однако количество вирусов при этом растет, поэтому данный процесс можно считать размножением.

Открыты вирусы были в 1892 году Д.И. Ивановским на примере вируса табачной мозаики. Фильтрат сока больных растений оставался патогенным, что натолкнуло Ивановского на мысль, что возбудители данного заболевания гораздо мельче, чем обычные клеточные организмы, даже бактерии.

Основу тела вируса составляет молекула нуклеиновой кислоты (РНК или ДНК), многие также имеют белковую оболочку – капсид, который зачастую достаточно сложно устроен. Есть вирусы, имеющие суперкапсид, это оболочка из белков усиленная липидами (прототип мембраны).

Все вирусы – паразиты. Примерами вирусных болезней человека и животных служат: корь, краснуха, грипп, СПИД, ветряная оспа, герпес, бешенство, ящур, полиомиелит, скарлатина, свинка, менингит, лихорадка Эбола. Вирусы у растений – мозаичность, карликовость, скрученность листьев, вершинная гниль. Биолого-экологическая роль вирусов – их участие в естественном отборе. Человек научился использовать некоторые вирусы – бактериофаги (вирусы бактерий) в борьбе с бактериальными инфекциями.

Благодаря своей примитивной организации и мелким размерам вирусы распространены повсеместно, легко мутируют и практически не существует веществ, способных уничтожить их в клетке-хозяина не повредив её при этом. Таким образом, данная таксономическая единица до сих пор представляет загадку, не смотря на достаточно простое строение.

Большая часть органического мира представлена организмами в основе организации которых лежит клетка. Клетка выступает для них единицей строения, функционирования, размножения. Клеточные организмы классифицируют по наличию или отсутствию ядра на про- и эукариоты. К прокариотам относят одно царство – Дробянки, которое объединяет Архебактерий (древнейшая группа бак-

терий), Цианобактерий (ранее сине-зеленые водоросли; бактерии способные к фотосинтезу) и Эубактерий (настоящие бактерии, к которым относятся большинство современных).

Большая часть бактерий являются гетеротрофами, хотя выделяют и хемосинтетиков (водородные бактерии, серо-бактерии, железобактерии и т.п.). Это мельчайшие клеточные организмы с гаплоидным набором хромосом. Генетический аппарат бактерий – это голая (без белков-гистонов), кольцевая молекула ДНК – нуклеоид (иногда и дополнительные мелкие ДНК – плазмиды, несущие один признак, например, устойчивость к антибиотику, способность к синтезу фермента и т.п.).

Бактерии присутствуют повсеместно. Наиболее обсемененной средой с их участием является почва (там их численность достигает несколько миллионов на 1 г).

По характеру питания бактерии можно разделить на сапротрофы и паразиты.

Эколого-биологическая роль бактерий заключается в:

- расщеплении мертвой органики (сапротрофы);
- синтезе органики (цианобактерии);
- регуляции газового баланса атмосферы (цианобактерии);
- участие в естественном отборе (паразиты).

Человек использует бактерий в производственных процессах, таких как, производство кисломолочной продукции, антибиотиков, ферментов, гормонов. Бактерии являются излюбленным объектом в генной и клеточной инженерии. Гаплоидный набор хромосом позволяет проявляться внедренному признаку в первом же поколении, а высокая плодовитость (деление клетки в среднем каждые 20 мин) способствует высокой производительности и низкой себестоимости как процесса в целом, так и произведенной продукции.

Эукариотические организмы включают три царства: растения, животные и грибы. Отличительные признаки данных таксонов представлены в таблице 1.

Сравнительная характеристика царств эукариот

Признаки	Царства эукариот		
	<i>Растения</i>	<i>Животные</i>	<i>Грибы</i>
	Автотрофы по способу питания	Гетеротрофы по способу питания	Гетеротрофы по способу питания
	Продуценты в экосистемах	Консументы в экосистемах	Редуценты в экосистемах
	Неограниченный верхушечный рост	Ограниченный рост	Неограниченный рост
	В клетке целлюлозная клеточная стенка, центральная вакуоль и пластиды	Клеточная стенка отсутствует, есть гликокаликс (рецепторная функция)	Клеточная стенка, состоящая из хитина
	Запасной углевод – крахмал	Запасной углевод – гликоген	Запасной углевод – гликоген
	Неподвижный образ жизни (искл. – хламидомонада)	Активное передвижение для большинства (неподвижные, например, кораллы)	Преимущественно неподвижный образ жизни Имеют гифы, размножаются спорами, продукт обмена – мочевины

Царство Растения включает подцарства Низшие и Высшие, отличительной чертой таксонов является наличие тканей и органов. Низшие растения не имеют оформленных тканей и органов, их тело представлено либо одной клеткой (хлорелла, хламидомонада), либо группой клеток, образующих таллом (ламинария, порфира, фукус). Все они – обитатели пресных или соленых водоемов. При этом водоросли играют важную роль в водных сообществах, снабжая всех аэробных организмов кислородом, а иногда и формируя целые экосистемы, прямо зависящие от их жизнедеятельности.

Высшие растения имеют ткани и органы и их классифицируют на основе способов размножения на Споровые (мхи, плауны, хвощи, папоротники) и Семенные (голосеменные = хвойные, покрытосеменные = цветковые).

В жизненном цикле высших споровых растений четко прослеживается наличие полового (гаметофита) и бесполого (спорофита) поколений, которые разделены в пространстве. Бесполое поколение характеризуется образованием спор, что определяет название таксона. При этом мхи – это единственные высшие растения с преобладанием в жизненном цикле гаметофита, что служит признаком примитивности развития. Все споровые растения современности представлены травянистыми формами.

Высшие семенные растения в жизненном цикле имеют также и гаметофит и спорофит, при этом большая часть цикла представлена спорофитом. Гаметофиты у семенных растений имеют микроскопические размеры и представлены пыльцевым зерном и зародышевым мешком. Голосеменные растения практически все представлены древесными формами, семя созревает в специализированном органе – видоизмененном побеге, который называется шишка. Покрытосеменные растения – самая прогрессивная группа на сегодняшний момент. Она включает растения всех жизненных форм (травы, кустарники, деревья). У растений данной группы появляются такие важные органы размножения, как цветок и плод. Цветок обеспечивает процесс двойного оплодотворения, образование семени, а плод – распространение семени, его защиту. Отдел покрытосеменных растений включает множество семейств, имеющих свои специфические особенности. Основывается такое деление преимущественно на особенностях строения цветка.

Царство Животные также делят на подцарства: Одноклеточные (Простейшие) и Многоклеточные. Простейшие включают корненожек, ресничных, жгутиконосцев, споровиков, радиолярий. Они все связаны с обязательным присутствием воды в среде обитания. Являются либо свободноживущими водными животными (инфузория туфелька, инфузория трубоч, сувойки, эвглена зеленая), либо паразитами (дизентерийная амеба, малярийный плазмодий, токсоплазма). Отличительной особенностью животных данного типа выступает существование на организ-

менном и клеточном уровне организации жизни одновременно. У них на уровне клетки осуществляются все жизненные процессы, самоорганизация, самосохранения, самовоспроизведение.

Многоклеточные животные классифицируют на беспозвоночных и хордовых. Беспозвоночные животные – многообразная группа, включающая кишечно-полостных, плоских, круглых, кольчатых червей, моллюсков, членистоногих. Каждый из этих типов животных имеет свои специфические особенности в организации, морфологии, анатомии и т.д. Жизнедеятельность представителей всех групп зависит от параметров окружающей среды (температура, влажность, кислотность).

Хордовые животные отличаются наличием внутреннего осевого скелета – хорды, которая у большинства представителей типа заменяется на костный позвоночник. Выделяют пять классов позвоночных животных: рыбы, амфибии, рептилии, птицы и млекопитающие. Самые прогрессивные из них последние два, так как представители этих классов более высокоорганизованы, обладают теплокровностью, за счет чего усиленный уровень метаболизма, высокие адаптивные способности и господство практически во всех средах жизни.

Царство грибы оформилось сравнительно недавно и занимает промежуточное положение между растениями и животными, так как несет признаки и одного и другого царства, но при этом обладает своими отличительными признаками (наличие гиф, особенности размножения).

Грибы аналогично растениям классифицируют на низшие и высшие. Низшие грибы имеют тело, состоящее из одной клетки, высшие – многоклеточные. К царству грибы относят как многоклеточные базидиальные (шляпочные) грибы, так и плесени и одноклеточные грибы типа дрожжей. Для большинства представителей царства характерно явление многоядерности.

Грибы делят на сапротрофы (пенициллы, аспергиллы, мукор) и паразитические (оидиум, фитофтора, спорынья, головня, трутовые грибы).

Таким образом, в современном мире существует огромное множество жизненных форм, таксонов различных организмов, обладающих своими специфиче-

скими особенностями, постоянно взаимодействующих и формирующих современный облик планеты Земля.

Все представители органического мира обладают рядом свойств и качеств, позволяющих относить их к рангу живых организмов. Эти свойства, позволяющие отличить живое от неживого, именуются критериями жизни.

Выделяют универсальные критерии (наследственность, изменчивость и самовоспроизведение), присущие всем живым организмам. Для анализа и отнесения большей части организмов в ранг живых используют комплекс разных критериев, и универсальных и относительных. Разные ученые выделяют свою классификацию критериев жизни. В табл. 2 приведена обобщенная таблица, которая является результатом обобщения данных разных ученых-биологов.

Таблица 2

Критерии жизни

<i>Критерий</i>	<i>Сущность критерия</i>	<i>Пример</i>
Самовоспроизведение	Воспроизведение представителей того же вида, размножение	Бесполое: бинарное деление (у простейших, бактерий), вегетативное размножение (черенками, побегами, листьями растения), фрагментация (гидроидные животные, морские звезды), споруляция (споры мхов, папоротников, грибов). Половое: когда есть 2 разные клетки (чаще гаметы). У покрытосеменных – двойное оплодотворение. Партеногенез – как разновидность полового размножения у пчел, тли.
Изменчивость	Способность изменять признаки и свойства организма	Мутация вирусов, бактерий, изменения дочерних организмов при половом размножении

Наследственность	Способность сохранять и передавать признаки и свойства	Сохранность признаков вида у особей разных популяций
Рост	Количественные изменения организмов, увеличение объема, массы и т. п.	Вирусы – исключение
Развитие	Качественные изменения организмов	Приобретение способности к половому размножению, появление речи у человека в ходе его развития
Метаболизм	Обмен веществ. Стоит из: - катаболизма (энергетический обмен = диссимиляция) – дыхание и брожение; - анаболизма (пластический обмен = ассимиляция) – биосинтез белка, фотосинтез.	Дыхание – полное окисление органических соединений до углекислого газа и воды с выделением энергии (38 АТФ), брожение – неполное окисление до промежуточных продуктов (молочной кислоты, этанола и углекислого газа, масляной кислоты) с выделением энергии (2 АТФ при гликолизе). Фотосинтез – синтез органических веществ из неорганических (углекислого газа и воды) в присутствии фотосинтетических пигментов на свету.
Раздражимость	Способность реагировать на внешние воздействия	У простейших – таксисы, у растений – тропизмы, у высших животных – рефлексy
Саморегуляция	Способность поддерживать гомеостаз (постоянство внутренней среды организма)	Поддержание температуры тела у птиц и млекопитающих, водного и солевого баланса у всех клеточных, тургорного давления в клетке

Дискретность	Способность к организации от простого к сложному, прерывистость	Организм человека – системы органов – органы – ткани – клетки – компартменты – органоиды – молекулы – атомы...
Питание	Способность поглощать какие-либо элементы или вещества для получения энергии	Автотрофный способ питания (создание органики) – растения, цианобактерии, хемобактерии Гетеротрофный (использование готовых органических веществ) – животные, большинство бактерий, грибы Миксотрофный (смешанный способ питания) – эвгленовые, растения-хищники Существует голозойный способ поглощения веществ (типа фагоцитоза, у животных) и осмотротрофный (всей поверхностью тела) – у растений, бактерий и грибов

Все живые организмы и их структуры существуют в пределах определенных уровней организации. Уровень определяет структурность, особенности организации, сложность каждой биологической системы. На каждом уровне существуют свои элементарные явления и системы. Построены уровни на основе принципа иерархичности, начиная от наиболее простого (молекулярного) и заканчивая самым масштабным, глобальным уровнем (биосферный).

Для экологии особое значение имеют надорганизменные уровни организации жизни (начиная от популяционно-видового и выше) таблица 3. Это уровни, на которых существуют группы организмов, иногда включая и среду обитания с рядом факторов.

Уровни организации жизни

Уровень	Компоненты	Характеристика компонентов. Пример
Молекулярный	Биомолекулы (белки, нуклеиновые кислоты, липиды, ген и т.п.)	Биосинтез белка, фотосинтез, репликация, репарация
Клеточный	Органеллы и компартменты клеток	Деление клетки, гаметогенез
Органно-тканевый	Ткань как система клеток с общим планом строения, генезиса и общими функциями. Орган – комплекс разных тканей, объединенных для выполнения конкретной функции	У растений 5 типов тканей (образовательные = меристемы, покровные (эпидерма, перидерма), механические (колленхима, склеренхима), проводящие (ксилема, флоэма), основная (паренхима). У животных 4 типа тканей: нервная, эпителиальная, мышечная и соединительная.
Организменный	Организм как система способная к самосохранению и самовоспроизведению.	Простейшие и бактерии существуют как на клеточном, так и на организменном уровне, т.к. клетка их выполняет функции целого организма
Популяционно-видовой	Популяция объединяет особей одного вида, обитающих на одной территории (ареале). Вид представляет собой особей с общими анатомо-морфологическими, физиолого-биохимическими, генетическими признаками, способных к свободному скрещи-	Адаптивная реакция популяции животных, растений на влияние факторов среды, микроэволюционные процессы, приводящие к образованию новых видов. Описание критериев вида.

	ванию и производству плодового потомства.	
Экосистемный (биогеоценотический)	Экосистема объединяет особей разных видов вместе со средой их обитания и поддержание баланса такой системы возможно благодаря цепям питания и круговоротам веществ. Биогеоценоз более узкое понятие, ограниченное элементом «гео».	Описание процессов, протекающих на уровне экосистем. Описание разных видов организмов. Трофическая структура, типы взаимоотношений между разными таксонами живых организмов
Биосферный	Это глобальный уровень организации жизни, который объединяет все живое.	Включает все многообразие органического мира, важное место занимает биогенный круговорот веществ (кислорода, углерода, азота и т.п.).

Все живые организмы являются неотъемлемой частью окружающей среды и взаимосвязаны с ней. Часть среды окружающая организм, взаимно влияющая на него это есть среда его обитания. В настоящее время выделяют четыре основные среды обитания:

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

Общая характеристика сред жизни

Характеристика	Среды жизни			
	<i>Водная</i>	<i>Наземно-воздушная</i>	<i>Почвенная</i>	<i>Организменная</i>
Освещенность	низкая	высокая	низкая	низкая
Влажность	высокая	низкая	низкая	высокая
Температурный режим	Плавные переходы температуры	Резкие перепады температур	Средние перепады температур	Стабильность условий
Плотность	высокая	низкая	высокая	В зависимости от организма хозяина
Количество кислорода	Низкий уровень	Высокий уровень	Низкий уровень	Низкий уровень
Приспособления живых организмов	<u>Животные.</u> Обтекаемая форма тела, плавники, ласты, реактивное движение; плавательный пузырь рыб <u>Растения.</u> Только низшие (водоросли), хроматическая адаптация.	<u>Животные.</u> Теплокровность, осевой скелет, внутренний, или внешний (членистоногие), легочное или трахейное дыхание, разнообразие форм. <u>Растения.</u> Присутствуют все жизненные формы (травы, кустарники, деревья), споровые и семенные, низшие. Хорошо развита опорная функция вегетативных органов. Для полового размножения во-	<u>Животные.</u> Роющие конечности, редуция зрения, обтекаемая форма тела <u>Растения.</u> Только в верхних слоях почвы.	<u>Животные.</u> Редуция нервной, кровеносной, пищеварительной систем, высокая плодовитость, прикрепленный образ жизни, у многих сложные циклы развития со сменой хозяев. <u>Растения.</u> Редуция зеленых частей, способных к фотосинтезу. Развиваются специальные выросты (гаустории), необ-

		да не требуется (ветро- и насекомоопыляемые).		ходимые для поглощения питательных веществ из организма хозяина.
Обитатели (примеры)	Рыбы, фито- и зоопланктон, моллюски, ракообразные, водоросли	многообразие форм и среди животных и среди растений	Основная масса – микроорганизмы	Бактерии-симбионты, паразитические черви (бычий, свиной цепни, аскарида, эхинококк), бактерии (палочка Коха, стафилококки), вирусы (ВИЧ, вирус гриппа), грибы (трутовики, стригущий лишай), растения (повилика, заразиха)

Самой древней и первой средой обитания является водная среда, она сформировалась более 5 млрд. лет назад, в ней появились первые живые организмы (одноклеточные гетеротрофные анаэробы).

Наземно-воздушная среда сформировалась позднее и является самой агрессивной по всем показателям (табл. 4). Именно поэтому в наземно-воздушной среде впервые возникла теплокровность, как защита от резких перепадов температур, дыхание, как приспособленность к повышению процентного содержания кислорода, а также большое разнообразие жизненных форм, как растений, так и животных.

Почвенная среда обитания есть результат совместной деятельности абиотических и биотических факторов. На первых этапах значительный вклад в формирование данной среды оказывали физические и химические факторы (перепады температур, высокое давление, излучение, влияние сероводорода и других ве-

ществ). Появление живых организмов определила второй этап развития почвы – биологическую трансформацию. В целом почвенная среда к настоящему моменту представляет собой микрогетерогенную систему, состоящую из неорганических включений, продуктов жизнедеятельности живых организмов и самих организмов. Мощность почвенного слоя, пригодного для жизни отличается в разных зонах. Наибольшей мощностью отличается почвенный покров умеренной зоны, это черноземные типы почв (мощность 1,5-2 м). Значительно меньше почвенный слой тундры (около 15 см). В соответствии с климатическими условиями меняются и абиотические показатели сред, что особо отмечается для наземно-воздушной и почвенной.

Организменная среда обитания является самой благоприятной, так как в ней наблюдается стабильность показателей. В связи с этим организмы, заселяющие данную среду, подверглись упрощению организации, за ненадобностью у многих редуцировались органы чувств и даже вся нервная система, пищеварительная система и т.п. Организмы, обитающие в данной среде – это либо бактерии, либо паразитические животные.

В каждой среде обитания одновременно существует множество условий, влияющих на жизнедеятельность каждого организма. Такие условия есть факторы среды. Все факторы делят на три группы:

- ✓ абиотические (факторы неживой природы);
- ✓ биотические (влияние живых организмов друг на друга);
- ✓ антропогенные (деятельность человека).

Все многообразие факторов среды представлено в обобщенной схеме на рисунке 3.

Абиотические факторы среды сформировали эволюционно различные группы растений, животных, грибов по отношению к этим факторам. Так, например, свет является одним из важнейших физических факторов. Свет можно представить, как волновое излучение, которое включает волны разной длины. Наиболее важен для всего живого на нашей планете видимый спектр света (длина от 400 до 700 нм от синего к красному), это излучение необходимо для осуществления про-

цесса фотосинтеза. Более короткое излучение – рентгеновское излучение, и ультрафиолет, более длинные лучи – инфракрасное излучение.

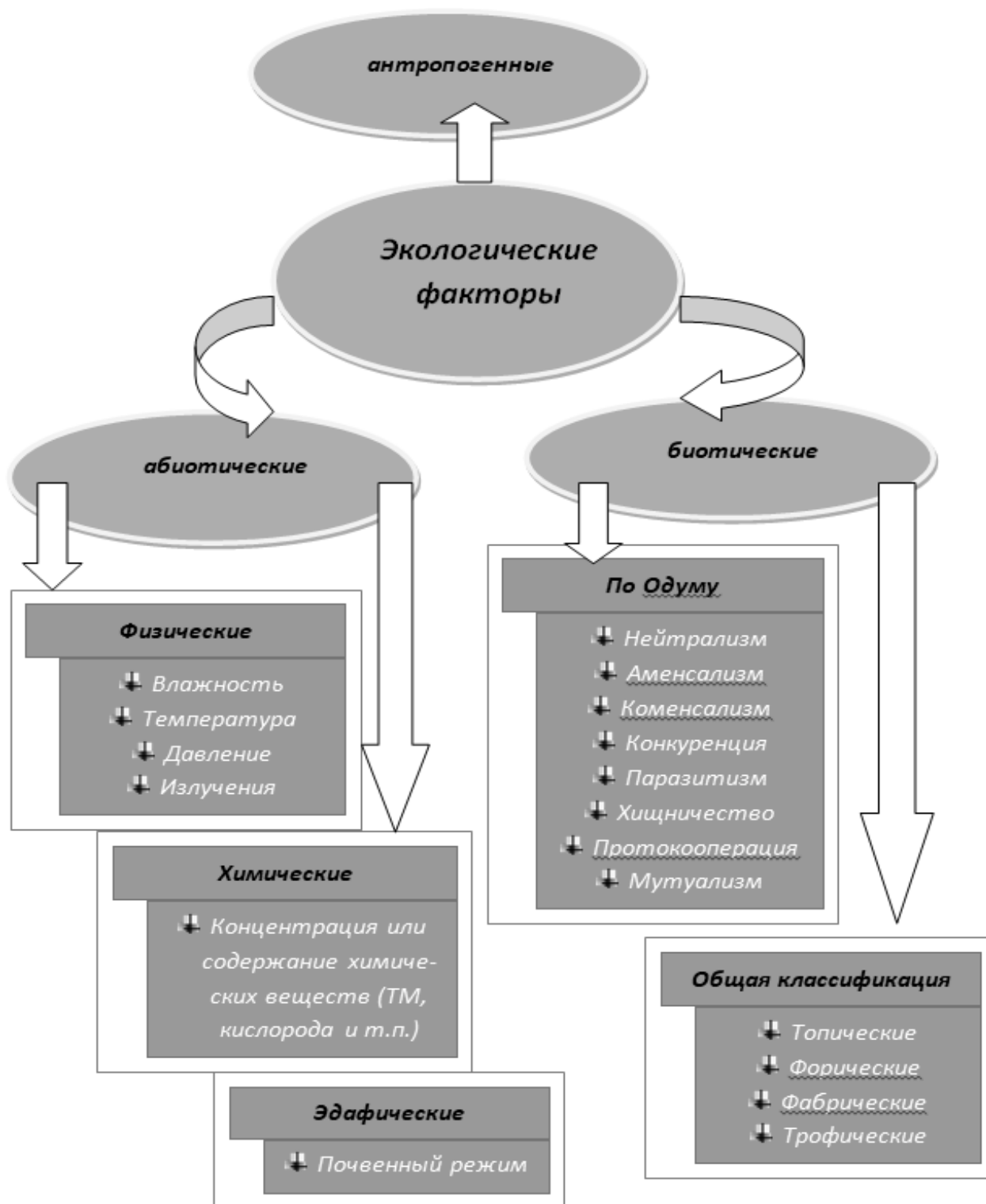


Рис. 3. Классификация экологических факторов

Наибольшую зависимость по отношению к данному фактору имеют растения. Все их классифицируют на группы:

- ✓ Гелиофиты (светлюбивые) – имеют мелкие листья, сильно ветвящиеся побеги, высокое содержание хлорофилла (одуванчик, пшеница, береза, подсолнечник, мирт, астра, мать-и-мачеха)

- ✓ Сциофиты (тенелюбивые) – имеют крупные тонкие листья, которые расположены горизонтально, устьиц меньше, чем у гелиофитов, хлоропластов меньше, но они более крупные (папоротники, кислица, хоста, плауны, ландыш, копытень)

- ✓ Факультативные гелиофиты (теневыносливые) – имеют переходные черты (лесные травы, кустарники, большая часть луговых растений).

Для животных и растений влияние света также выражается в фотопериодизме – способности реагировать на длину светового дня. Растения по этому критерию делят на длиннопериодные, которым требуется освещенность не менее 12 часов в сутки (лук, морковь, овес); короткопериодные, световой день для этой группы длится не более 12 часов (кукуруза, хлопчатник, капуста) и нейтральные, которые не значительно реагируют на изменения освещенности (гречиха, сирень).

Животные относительно критерия освещенности делят на ведущих дневной и ночной образ жизни. При этом каждая группа обладает рядом особенностей для реализации своих биологических особенностей в тех или иных условиях.

Еще один важнейший абиотический фактор – это влажность. Режимы влажности среды на суше разнообразны (в тропиках выпадает более 1000 мм осадков в год, тогда как в пустыне – менее 200 мм). Существуют и суточные, и сезонные колебания влажности. Все это привело к развитию множества адаптаций к различному режиму водообеспечения. Так, низшие растения поглощают воду всей поверхностью тела, у высших появляются специализированные органы для всасывания воды (ризоиды, корни). С целью увеличения поверхности всасывания корневая система многих растений развивается по интенсивному типу. У растений с пониженными условиями увлажнения появляются воздушные корни (орхидеи), по-

глощающие влагу из воздуха, листья приобретают способность также поглощать влагу из воздуха (папоротник гименофиллум).

Растительные организмы по степени оводненности делят на:

1. Пойкилогидрические. Содержание воды в тканях не постоянно, а зависит от условий среды. К таким организмам относят низшие растения, споровые, лишайники, грибы. В клетках таких организмов отсутствует центральная вакуоль, поэтому дефицит воды приводит к равномерному уменьшению объема клетки, без нарушения ультраструктуры ее протопласта.

2. Гомойогидрические. Растения, имеющие относительно постоянный уровень воды в клетках и тканях. Для поддержания водного баланса такие растения имеют ряд приспособлений, таких как, устьичный аппарат, хорошо развитая корневая система, крупная центральная вакуоль с запасом влаги. Относятся к данной группе практически все высшие растения (семенные).

Растения относительно требовательности к увлажнению среды обитания классифицируют на несколько экологических групп:

✓ гидатофиты (водные растения, погруженные в воду. Это преимущественно водоросли, элодея, рдест, уруть),

✓ гигрофиты (плавающие растения, типа кувшинок, кубышек, рис),

✓ гидрофиты (полуводные растения, например, камыш, рогоз),

✓ мезофиты (растения средней увлажненности, могут переносить значительную, но непродолжительную засуху. Это травы дубрав, кустарниковая подлеска, листопадные деревья и др.),

✓ ксерофиты (растения засушливых мест, для которых в засуху остается в активном состоянии водный обмен. При этом ксерофиты делят на суккуленты и склерофиты. Суккуленты – это растения способные переносить засуху благодаря запасам влаги в своих вегетативных частях (стеблевые суккуленты – кактус, стапели, молочай; листовые суккуленты – алоэ, агавы, молодило, очиток; корневые – аспарагус, кислица). Склерофиты – растения экономящие влагу, имеют сухие части, высокую сосущую силу. Это чаще всего узколистные растения, иногда с опу-

шенной поверхностью для защиты от излишней транспирации (полынь, эдельвейс, ковыль, типчак, верблюжья колючка).

Еще одним важным абиотическим фактором является температура.

В животном мире организмы приспособились к изменяющимся условиям среды и эволюционно сформированы три группы: пойкилотермные – организмы, зависящие от температуры окружающей среды, хладнокровные (амфибии, рептилии, рыбы); гомойотермные – организмы с постоянной температурой тела, теплокровные (птицы, млекопитающие); гетеротермные – животные с постоянной температурой тела, которая может снижаться при впадении в спячку (ежи, медведи).

С учетом особенностей растений и животных делят на термофилов (теплолюбивые), мезофилов и психрофилов = криофилы (холодоустойчивые). В связи с местом обитания и учетом температуры окружающей среды организмы приобрели ряд защитных, адаптивных признаков. Так, например, растения обитатели жарких регионов повышают вязкость цитоплазмы, накапливают сахара, повышают уровень антоцианов, чтобы сохранить воду и препятствовать денатурации белковых структур клетки. Кроме того эти растения приобретают защиту в форме опушения листовой пластины, восковых покрытий эпидермы и т.п. Обитатели мест с низкими температурами также приобретают опушение вегетативных органов для терморегуляции, идет замена свободной воды на связанную в клетке.

Животные обитатели мест с низкими температурами среды отличаются крупными размерами, что снижает уровень метаболизма таких организмов и способствует сохранению тепла, многие накапливают мощный слой жира как источник энергии и термоизоляции; выпуклых частей тела у них мало (короткие хвосты, уши). Для обитателей же жаркого климата наоборот характерно наличие больших ушей для теплоотдачи (лиса фенек, тушкан), мелкие размеры (не у всех), активный метаболизм.

В целом все абиотические факторы среды являются ее неотъемлемой частью, постоянно влияют на организмы и вызывают стойкие изменения в них, как адаптивный ответ, позволяющий максимально приспособиться к сложившимся условиям среды. Не меньшее влияние на организмы оказывают и биотические

факторы – влияние организмов друг на друга, которые эволюционно сформировали разные типы биотических связей.

В.Н. Беклемишев разделил межвидовые отношения на четыре типа:

✚ Топические (создание одними организмами условий, мест обитания для других) – мхи подкисляют почву, делая пригодной для роста клюквы, росянки; создание микроклимата в коралловых рифах; рост лишайников создает со временем микробиоценоз.

✚ Форические (распространение одних организмов за счет других) – зоохория (перенос семян растений животными), форезия (перенос мелких животных, их яиц).

✚ Фабрические (построение мест обитания, жилищ из продуктов жизнедеятельности других) – построение гнезд из веток, шерсти; бобровые хатки и т.п.

✚ Трофические (пищевые взаимоотношения) – цепи питания.

Ю. Одум в 1986 году выделил 8 типов биотических связей, которые в экологии обозначаются математически (+ – положительное влияние, - – отрицательное, 0 – нейтральное). Расположение знаков при этом относительно косой черты не имеет значения, т.е. +/- и -/+ это одно и то же. Все типы биотических связей применима как к макро- так и к микромиру. Рассмотрим все типы.

1. *Нейтрализм (0/0)* – взаимно нейтральный тип. Встречается достаточно редко в пределах одной экосистемы. Типичным примером служат взаимоотношения лосей и белок в лесном сообществе. Они занимают разные экологические ниши, не оказывая прямого влияния друг на друга.

2. *Аменсализм (-/0)* – отношения двух организмов или сообществ, когда один угнетен, а второй не испытывает на себе никакого действия. Возможен данный тип взаимоотношений между крупным организмом и мелким, обитающим рядом, например, крупное дерево (ель, дуб и т.п.) и травянистое светлюбивое растение, которое будет угнетено. В микромире такое возможно между двумя популяциями микроскопических грибов или бактерий, когда один вид способен выделять токсичные вещества, антибиотики и подавлять другой вид, являющийся нетоксигенным.

3. *Коменсализм (+/0)* – нейтрально-положительный тип взаимоотношений, может реализовываться в форме квартирантства и нахлебничества. Примером служат мелкие насекомые, которые могут обитать в гнездах и норах животных более крупных размеров и питаться остатками трапезы этих животных. Также это отношения акул и рыб прилипал, львов и гриффов или львов и шакалов.

4. *Хищничество (+/-)* – отрицательно-положительные взаимоотношения, хищник – жертва. Когда хищник убивает жертву для своего пропитания. Примеров такого типа связей можно привести массу: львы и гиены, крокодил – антилопа, божья коровка – тля, жужелица – дождевой червь. Есть даже растения хищники (росянка, непентесы, венерина мухоловка), хищные простейшие (инфузория трубочка, сувойки) и даже хищные микроскопические грибы. В мире животных хищники и жертвы эволюционно приобрели ряд особенностей в связи с образом жизни. Хищники имеют глаза расположенные в одной плоскости для сосредоточенности на жертве, глаза жертв наоборот расположены по разным сторонам головы для большего кругозора. У тех и у других хорошо развиты слух, зрение, обоняние, мышечная система.

5. *Паразитизм (+/-)* – математически обозначается как хищничество, отличие состоит в том, что паразит не заинтересован в моментальной гибели хозяина, а долгое время использует его для питания и места проживания. Выделяют облигатный (обязательный) и факультативный (необязательный) паразитизм. Облигатные паразиты высоко специализированы и не могут существовать без организма хозяина (вирусы, паразитические бактерии и черви). Факультативные паразиты могут существовать без хозяина (блохи, вши).

6. *Конкуренция (-/-)* – взаимно отрицательные отношения, когда организмы угнетают существование друг друга. Выделяют конкуренцию внутри- и межвидовую. Внутривидовая конкуренция наиболее ожесточенная, так как организмы одного вида имеют одинаковые потребности и возможности организма. Так, например, конкуренция между особями серой крысы будет более выражена, чем конкуренция между серой и черной крысами. Серая крыса крупнее, агрессивнее, умеет плавать и в конкурентной борьбе с черной крысой очевидно победит. Если же

борьба между равными противниками, это более ожесточенное событие. В органическом мире все стараются снизить прямую конкурентную борьбу, которая может нанести физический вред. Поэтому животные приспособились избегать прямых столкновений с конкурентами, ограничивая свой ареал метками, у растений следствием конкурентной борьбы является ярусность леса.

7. *Протокооперация (+/+)* – взаимовыгодные необязательные отношения. Примером служит микориза (береза-подберезовик, осина – подосиновик), когда гриб поставляет растению воду и минеральные соли, а растение обеспечивает гетеротрофный гриб органическими веществами. Также ярким примером протокооперации служат отношения актинии, которая защищает рака отшельника, а сама питается остатками его трапезы.

8. *Мутуализм (+/+)* – взаимовыгодные обязательные отношения. Отличается данный тип взаимоотношений от предыдущего обязательностью существования пары. Организмы в паре настолько приспособились эволюционно друг к другу, что стали неразделимы и порознь погибают. Примером служит тело лишайника (гифы гриба и одноклеточные водоросли или цианобактерии), микрофлора кишечника жвачных животных, термитов (животные не способны синтезировать целлюлазу – фермент, разлагающий клетчатку, в организме травоядных это делают бактерии, являющиеся неотъемлемой частью микрофлоры желудочно-кишечного тракта этих животных), кефирный «грибок» - симбиоз бактерий и грибов.

Последние два типа взаимоотношений часто называют симбиозом, однако, если разобраться в происхождении данного термина (сим – совместно, биос – жизнь), то любой тип взаимоотношений организмов можно назвать симбиозом. Многие экологи в своих работах применяют данный термин относительно любого типа биотических связей.

Все факторы среды действуют на организмы с учетом определенных закономерностей. В экологии выделяют ряд законов действия экологических факторов. Важнейшие из них: закон незаменимости факторов, закон минимума и закон оптимума.

Закон незаменимости экологических факторов.

Данный закон сформулировал В.Р. Вильямс в 1949 году, и он свидетельствует о том, что *полное отсутствие фундаментальных факторов среды (свет, влажность и т.п.) не может быть заменено действием какого-либо другого фактора*. Например, при недостатке в почве азота для питания растения, его нельзя заменить внесением калия.

Закон минимума.

Закон сформулирован Ю. Либихом в 1840 году. Изначально закон апробирован и выведен на примере питания растений. Суть его заключается в том, что *важнейшее значение имеет фактор, который находится в минимальном количестве с точки зрения его потребностей*. Такой фактор называется лимитирующим или ограничивающим, так как он ограничивает существование организма. Либих модель этого закона представлял в форме бочки с отверстиями на разном уровне и говорил о том, что ограничивает уровень жидкости в такой бочке самое нижнее отверстие, которое позиционируется с лимитирующим фактором. На примере питания растений этот закон выглядит таким образом: если в почве присутствуют все элементы питания, необходимые для нормальной жизнедеятельности организма, то ограничивать его может недостаток одного из элементов, даже микрогруппы, например, недостаток магния или бора. В результате недостатка одного элемента может быть снижена урожайность культуры в целом.

Закон оптимума или закон толерантности Шелфорда

В 1913 году на базе закона минимума другой ученый Шелфорд сформулировал закон толерантности, где пересмотрел понятие ограничивающего фактора, определил границы положительного влияния факторов. Ограничивающим фактором не всегда является недостаток чего-либо, иногда избыток также может ограничивать развитие организма. Поэтому *у каждого организма имеется эволюционно сформированные пределы положительного влияния (пределы устойчивости) фактора на организм*. Это и есть основная формулировка закона оптимума. Графическое отображение данного закона представлено на рис. 4.

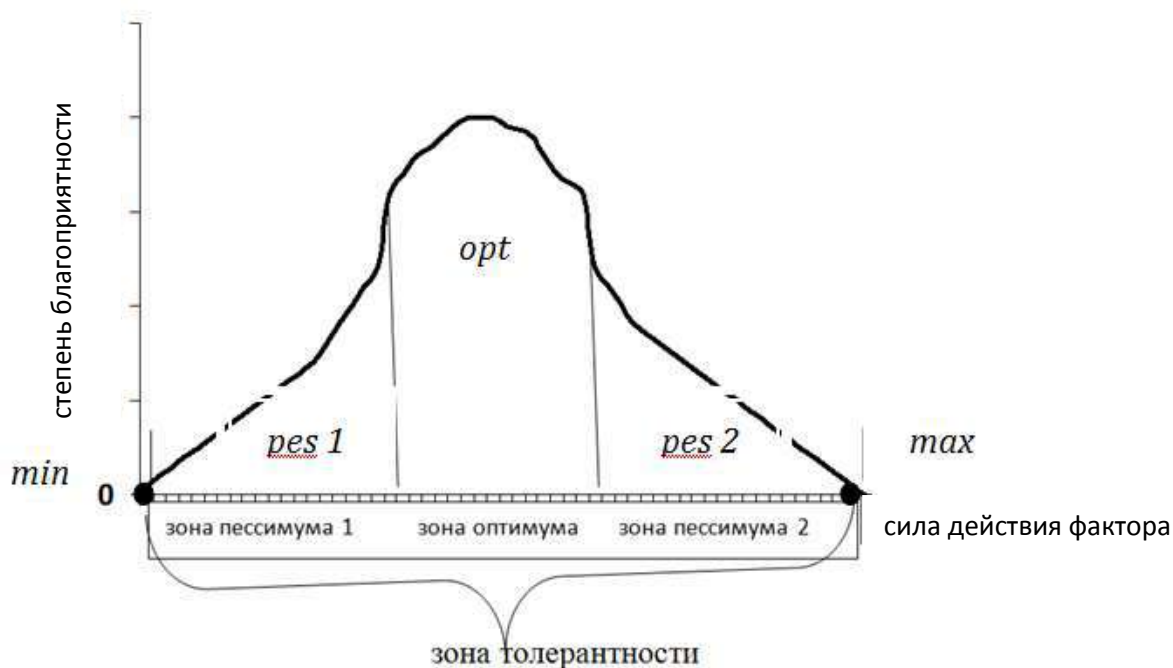


Рис. 4. Графическое отображение закона оптимума

Все значения, при которых организм может существовать ограничивают так называемую зону толерантности или выживаемости, определяющую экологическую валентность организма или вида по отношению к данному фактору. Минимальное значение фактора, при котором организм выживает, определяет положение точки минимума, а максимальное значение — точку максимума. Точка минимума, максимума и оптимума — это три кардинальные точки, которые определяют возможные реакции организмы на влияние факторов окружающей среды.

Каждый фактор может иметь границы наиболее благоприятного влияния на жизнь организма — это зона оптимума и зоны угнетения жизнедеятельности — зоны пессимума. Все живые организмы по критерию широты зоны толерантности классифицируют на эври- и стенобионтов. Эврибионты имеют широкий диапазон выносливости, это большая часть организмов умеренных широт, которые характеризуются разнообразием условий и широкими пределами варьирования факторов. Стенобионты являются чаще всего обитателями специфических мест, они имеют узкие пределы выживаемости. Примером стенобионов служат обитатели пустынь (живут только при определенных значениях температур, влажности), тундры (узкие пределы температурного режима, светового) и т.п. По отношению к темпера-

туре организмы будут именоваться как эври- и стенотермные, по отношению к солености эври- и стеногалинные, по отношению к выбору места обитания эври- и стеноойкные, по отношению к пище эври- и стенофагные и т.д.

Совокупность экологических валентностей по отношению к разным факторам среды составляет экологический спектр вида. Один и тот же фактор среды имеет различное значение в жизни совместно обитающих организмов разной видовой принадлежности. Так, например, сильный ветер оказывает существенное влияние на крупных животных открытых мест обитания, не влияя на мелких животных, укрывающихся в норах. Уровень кислотности почвы влияет на рост и развитие флоры, при этом, не оказывая влияния на животных организмов. Есть свойства среды, которые не теряют постоянства на протяжении длительного времени, такие как сила тяготения, свойства атмосферы, инсоляция. Большая же часть факторов (влажность, температура, влияние паразитов, хищников и т.п.) достаточно динамичные. Степень изменчивости каждого фактора зависит от особенностей среды обитания. Так, например, хищники, как и паразиты, зависят от пищевых ресурсов, однако в наземно-воздушной среде их содержание сильно варьирует в зависимости от численности жертв, а в организменной среде – месте обитания паразитов, содержание пищевых ресурсов относительно постоянный показатель. Изменения факторов среды может меняться во времени рис. 5.

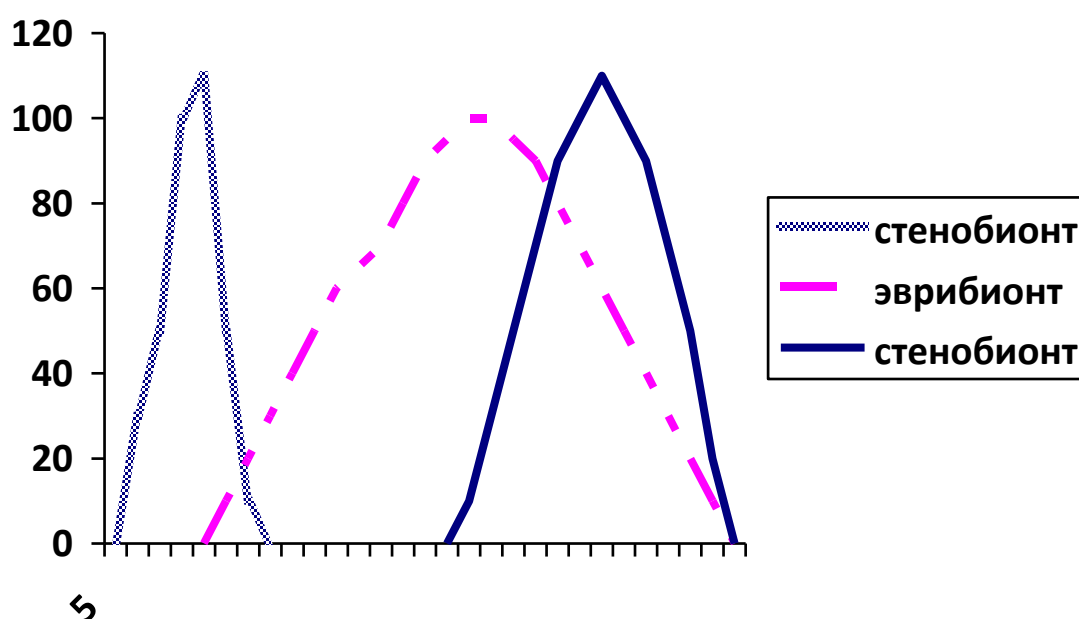


Рис. 5. Графическое отображение эври- и стенобионтных организмов

Факторы среды влияют на организмы разнокачественно, могут даже ограничивать возможность существования организмов, выступать в качестве раздражителей, формирующих приспособительные изменения физиологических и биохимических функций.

Влияние факторов на организмы эволюционно сформировало в них систему адаптивных признаков. *Адаптации* представляют собой эволюционно выработанную и наследственно закрепленную систему признаков и свойств, позволяющих организмам приспосабливаться и выживать в сложившихся экологических условиях.

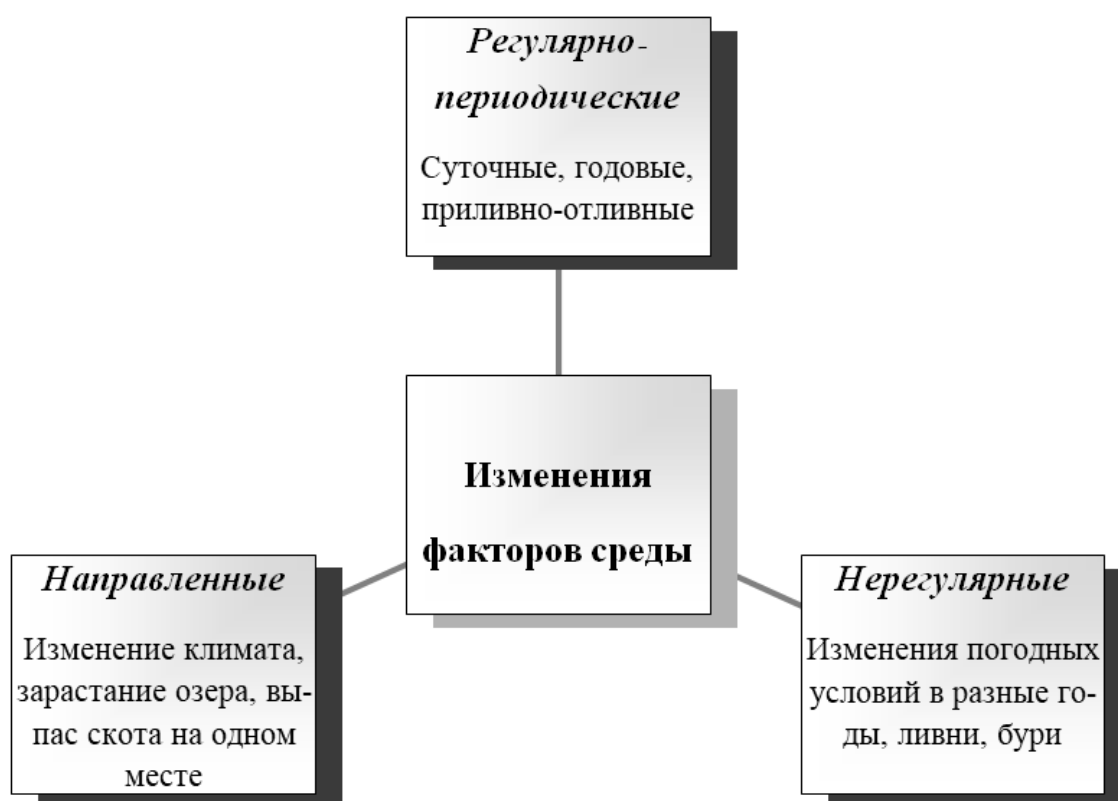


Рис. 6. Изменения факторов среды во времени

Адаптации могут быть активными и пассивными. Активные адаптации компенсируют изменения, вызваны воздействием внешней среды, при этом сохраняя постоянство внутренней среды. Пассивные адаптации возникают как устойчивость к фактору по типу выносливости.

Все адаптации делят на три группы:

1. Анатомо-морфологические – связаны с внешним и внутренним строением организмов (форма тела рыб, птиц – обтекаемая; форма листа кактуса).

2. Физиолого-биохимические – связаны с особенностями протекания физиологических процессов организма, наличием химических веществ различного происхождения в структуре клеток (синтез ферментов и антибиотиков бактериями, накопление минеральных веществ в теле хвощей).

3. Поведенческие – характерны только для животных, так как поведение – реакция организма, связанная с деятельностью нервной системы (территориальные метки, нерест рыбы, сезонная миграция птиц).

МОДУЛЬ 2. ДЕМЭКОЛОГИЯ

Демэкология – раздел общей экологии, который изучает динамику и показатели популяций, по-другому этот раздел именуют как популяционная экология.

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

Термин «популяция» (лат. популюс – народ) введен в 1903 году датским ученым Иогансоном для обозначения «естественной смеси особей одного и того же вида, неоднородной в генетическом отношении». В дальнейшем этот термин приобрел экологические значения по определению С.С. Шварца (1980 год).

Популяция – это элементарная группировка организмов определенного вида, обладающие всеми условиями для поддержания своей численности необозримо длительное время в постоянно изменяющихся условиях среды.

Популяция – генетическая единица видов, изменения которых осуществляет эволюция вида. Как групп совместно обитающих особей понятия выступает первый надорганизменной биологической микросистемой.

Популяция – элементарная единица эволюции. Именно на уровне популяции начинают свое действие процессы видообразования (микроэволюция). Главный критерий – панмиксия (свободный обмен генетической информации). Популяция как биологическая единица обладает структурой и функциями.

Выделяют 2 группы показателей популяции: статические и динамические.

Статические – отражают состояние популяций на данный момент времени, включают показатели структуры популяций, численность и плотность.

1) *численность* – количество особей в пределах некой пространственной единицы (ареала). Зависит данный показатель от рождаемости и смертности особей в популяции.

2) *плотность* – число особей на единицу площади или объема территории. У подвижных форм живых организмов плотность зависит от характера распределения на территории ареала: равномерное, случайное, групповое.

3) *показатели структуры*:

✓ Половая структура – соотношение особей разной половой принадлежности. Бисексуальность не только определяет функцию размножения, но и способствует усложнению геномов отдельных особей и генофонда популяции в целом. Особое значение данный тип структуры имеет для животных. У растений большой вклад в размножение вносит вегетативное, а половое у большинства упрощается наличием обоеполых цветков.

✓ Возрастная структура – наличие особей разных возрастных категорий. В структуре популяции организмы можно разделить на несколько возрастных категорий, это:

- латентный период (семена, зародыш);
- прегенеративный (подростковый возраст, особи не способны к половому размножению);
- генеративный (зрелый, характеризуется способностью к самовоспроизведению, возраст наступления зависит от вида организма и определяет потенциальные возможности развития популяции в ближайшее время);
- постгенеративный (старение, утрачивается способность к самовоспроизведению и наступает биологическая гибель).

В зависимости от количественного соотношения особей разных возрастных категорий популяции делят на инвазионные, нормальные и регрессивные. Наиболее устойчивым типом популяций являются нормальные, так как в них присутствуют особи всех возрастных категорий, что свидетельствует о стабильности, динамическом развитии популяции. Инвазионные популяции появляются в начале формирования популяций, при интродукции особей на новую территорию и являются уязвимыми к неблагоприятному действию экологических факторов, как и регрессивные популяции, образованные стареющими особями.

✓ Пространственная структура связана с характером распределения особей популяции на ареале. Каждая территория может прокормить лишь определенное число особей. Полнота использования ресурсов зависит не только от численности популяций, но и от размещения особей в пространстве. Распределение особей в пространстве носит приспособительный характер, позволяет оптимально использовать имеющиеся ресурсы, что обеспечивается сложностью внутривидовых отношений.

Типы распределения особей по территории (рис. 7):

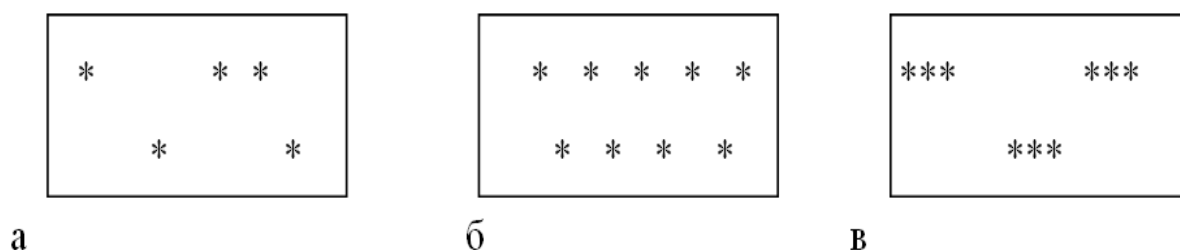


Рис. 7. Территориальная структура популяций

а – случайное (диффузное); б – равномерное; в) групповое (агрегированное)

1) случайное – среда однородная, организмы не стремятся объединяться в группы, встречается чаще всего. Например, мучнистые хрущаки, каракурты, поленки;

2) равномерное – особи расположены равноудаленно друг от друга. Такое расположение встречается редко. Например, в уплотненных популяциях сидячих морских полихет, в чистых зарослях некоторых растений. При этом наблюдается более полное исчерпание ресурсов и минимальный уровень конкуренции;

3) групповое расположение встречается либо при неоднородных условиях среды, либо при выраженной социальной структуре, ограничивается так называемыми семейными участками территории. Например, гнездовья грачей.

В зависимости от характера использования территорий животные делят на оседлых и кочевников. Оседлые интенсивно используют территорию, хорошо знакомы с территорией, сводят конкурентные отношения к минимуму. Кочующие (номадные) характеризуются постоянной сменой мест проживания, что увеличи-

вает их конкурентные отношения, при этом снижая нагрузку на кормовые ресурсы.

✓ Этологическая структура популяций присуща только животным и связана с поведенческими реакциями. Эволюционно сложилось несколько типов поведенческих реакций (территориальное поведение, брачное поведение, социальное поведение, забота о потомстве).

Территориальное поведение связано с ограничением своей индивидуальной территории от соседей, для снижения вероятности столкновений. Животные обычно связываются с помощью сигналов, контактов на границах владений. Оно включает 2 типа активности:

1) обеспечение собственного существования (пища, рытье нор)

2) устанавливание отношений с соседями (охрана участков владений, сигнал, меченье). При этом возможна охрана границ прямой агрессией (суслики, птицы); ритуальное поведение в формате угрозы; система специальных сигналов, меток (собачьей и кошачьей мочой, соболь – пахучими железами, медведи сдирают кору деревьев, серны – пахучими железами у основания рогов, лемуры втирают мочу в подошвы ног). Особенности ярко выражены типовым поведением в период размножения.

Животные имеют также разнообразные формы совместного существования, это одиночный образ жизни, колонии, стада и стаи.

Одиночный образ жизни в мире животных встречается не так часто, это наблюдается у соболей, горностаев. Встречаются они в период размножения, а большую часть жизни проводят в одиночестве.

Стая представляет собой временное объединение животных, проявляющих биологически полезную организованность действий (защита от врагов, добывание пищи). Стайный образ жизни типичен для птиц, собачьих, рыбы. При этом, стаи могут быть как без лидера (рыбы), так и с лидером (млекопитающие, птицы).

Стадо – более длительное объединение, осуществляющее все жизненные функции вида (питание, размножение, миграции). В стаде наблюдается согласованность поведения, есть лидеры, все роли распределены между всем участниками. Примером служат стада оленей, куланов, павианов.

Колонии представляют собой объединения животных ведущих преимущественно оседлый образ жизни. Объединяются они для осуществления жизненных функций (миграции, охота), сохраняя при этом свои индивидуальные участки. Примером служат колонии чаек, грачей, сурков, пчел, термитов, кораллов.

I. Динамические показатели отражают популяцию в динамике, за определенный промежуток времени. Они связаны с рождаемостью и смертностью.

Рождаемость выделяют абсолютную – общее число родившихся особей и удельную, отражающую среднее изменение численности на одну особь. Смертность считается аналогично. Рождаемость зависит от половой и возрастной структуры популяции. Также важно число генераций. Есть организмы моновольтинные, которые производят одну генерацию в год (обычно крупные млекопитающие, птицы) и поливольтинные, производящие несколько генераций в год (тли до 15 генераций в год).

Также животных классифицируют по принципу числа генераций в год на моноциклические (виды с короткой продолжительностью жизни, например, поденки, майские хрущи) и полициклические, многократно размножающиеся в течение жизни (большинство млекопитающих, ракообразные).

Смертность животных часто зависит от видовой принадлежности, особенностей организма, плодовитости и может преобладать в разные периоды жизненного цикла. В связи с этим организмы делят на 3 базовые группы, отражающие разный уровень смертности (рис. 8).

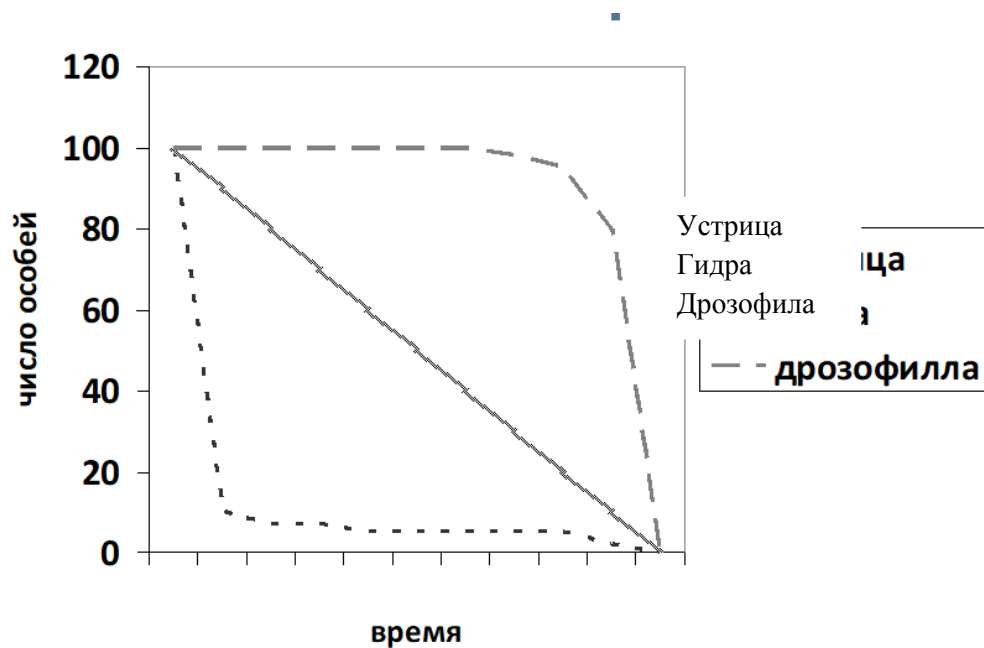


Рис. 8. Кривые выживания

Кривая дрозофилы отражает наиболее идеальное стечение обстоятельств относительно времени смертности организмов, так как предусматривает выживание практически всех молодых особей, которые погибают, уже достигнув биологической старости, почти все одновременно. Обычно у животных, развивающихся по такому типу, хорошо выражена забота о потомстве, производят они немногочисленное потомство, которое практически в полном объеме выживает.

Организмы, развивающиеся по типу кривой устрицы, погибают в большинстве своем на первых этапах жизни, оставшиеся малочисленные популяции доживают до старости. У таких организмов наблюдается высокая плодовитость, отсутствие заботы о потомстве, это, например, осетровые рыбы, черепахи.

Кривая гидры характеризуется повышением смертности прямо пропорционально возрасту особей

Таким образом, в любой популяции прослеживается постоянное изменение численности. В идеальных условиях численность должна возрастать в геометрической прогрессии. Однако такого не происходит, иначе кишечная палочка заселила бы земной шар за 24 часа, а одуванчик обыкновенный за 10 лет. На организмы из окружающей среды постоянно действуют факторы, которые ограничивают их развитие, стабилизируя численность на относительно постоянном уровне. Чис-

ленность любой популяции на ареале не может превысить определенные значения, которые ограничиваются емкостью среды. Емкость среды определяется наличием пищевых ресурсов и территориальной ограниченностью, как наиважнейшими критериями.

Численность популяций животных на определенной территории обычно меняется циклически, чередуя спады и подъемы, такую динамику называют «волны жизни». Организмы отличаются друг от друга по амплитуде колебаний численности и длительности циклов. В связи с этим выделяют три типа динамики популяций: стабильный, лабильный и эфемерный (рис.9).

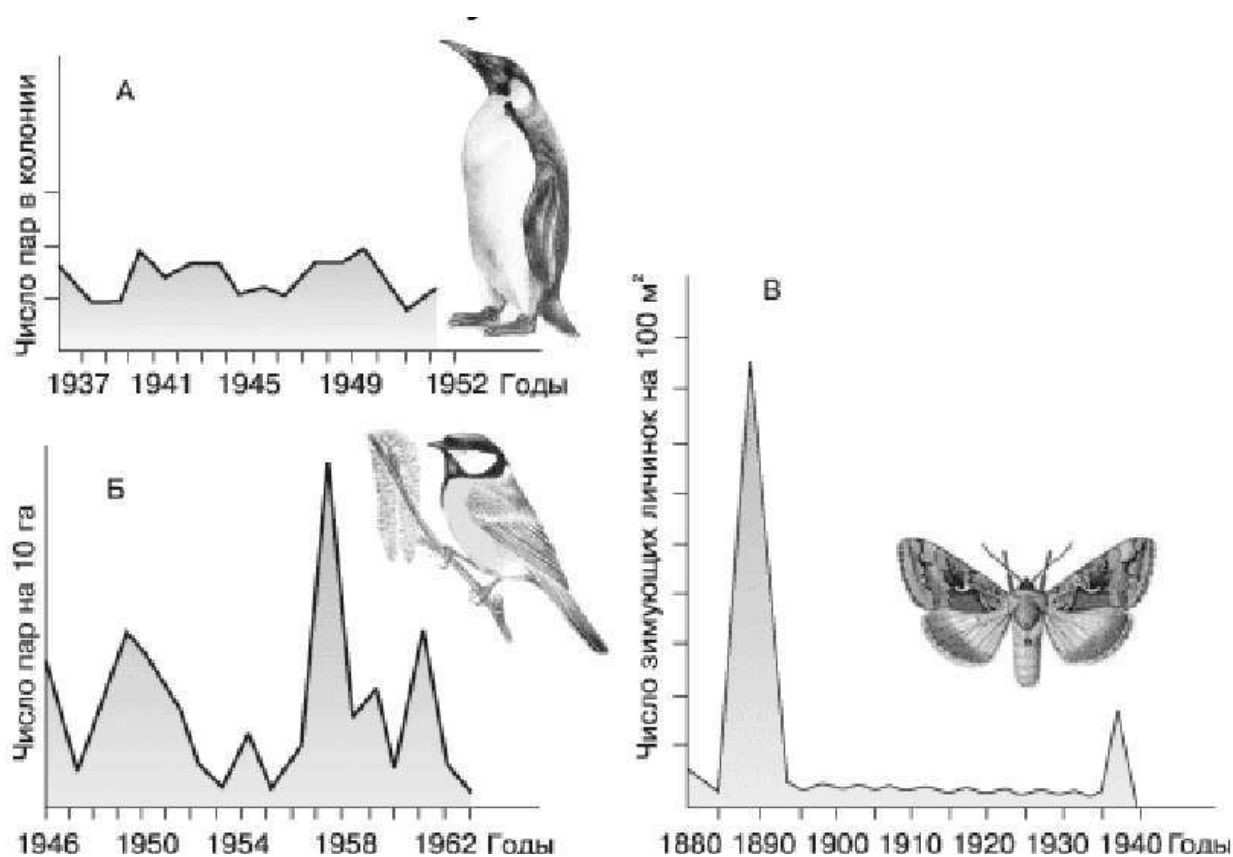


Рис. 9. Типы динамики популяций

А – стабильный; Б – лабильный; В – эфемерный

Стабильный тип динамики характеризуется низкой амплитудой, длительными циклами (10-20 лет и более). Характерен такой тип для животных с длительным жизненным циклом, это, например, синий кит, белый медведь, хищные пти-

цы, слоны, носороги и т.п. Данный тип отражает стабильность популяции, однако, при резкой смене факторов на негативные такие популяции подвержены вымиранию, так как они достигают репродуктивного возраста сравнительно долго и, как правило, не очень плодовиты.

Лабильный (флюктуирующий) тип динамики характерен для большей части животных среднего размера. Численность таких животных меняется циклично, при этом амплитуда колебаний выше, чем в предыдущем типе динамики. Длительность цикла при этом равна в среднем 5-10 годам. По данному типу развиваются собачьи, кошачьи, зайцы, многие птицы.

Эфемерный (взрывной) тип динамики характеризуется резкими подъёмами и спадами численности. Такие популяции достаточно неустойчивы, плохо адаптируются в условиях динамически меняющихся факторов среды. Длительность цикл таких организмов не превышает 5 лет, может варьировать. Типичным примером организмов, развивающихся по такому типу, являются мелкие грызуны, саранча и другие насекомые.

Итак, из всего вышесказанного следует, что важнейшим показателем популяций является их численность. В экологии выделяют понятия гомеостаза популяций как поддержание её численности на относительно постоянном уровне. Такое состояние популяции относят к динамическому равновесию. Регуляция численности популяций осуществляется чаще всего внешними факторами, как абиотическими (климатические условия, ураганы, сели и т.п.), так и биотическими (хищники, паразиты). Иногда при высокой численности популяции включается авторегулирование, например, в форме самоизреживания (каннибализм зайцев, хищных рыб и т.д.).

МОДУЛЬ 3. СИНЭКОЛОГИЯ (БИОЦЕНОЛОГИЯ)

Синэкология объединяет системы живых организмов более высокого уровня, такие как биоценоз, экосистемы и изучает их структуру, функционирование, взаимосвязи. Популяции разных видов организмов, заселяющие общие места обитания, неизбежно вступают в определенные взаимоотношения в области питания, используя пространства и др.

Длительное совместное существование лежит в основе формирования многовидовых сообществ – биоценозов, в которых подбор видов определяется возможностью непрерывного поддержания круговорота веществ.

Биоценоз – это надорганизменная система, состоящая из 3 компонентов: растительного, животного, грибного и микроорганизменного (фитоценоз, зооценоз, микоценоз и микробиоценоз).

Термин «биоценоз» предложен в 1877 году К. Мебиусом.

Сейчас биоценоз – это совокупность популяций всех видов живых организмов, населяющих определенную географическую территорию. Относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом – *биотоп*.

Масштабы биоценологических группировок организмов разнообразны, от сообществ подушек лишайников на стволах деревьев или разлагающегося пня до населения целых ландшафтов: лесов, степей, пустынь. Организация жизни на биоценологическом уровне иерархична: мелкие группировки входят в состав более крупных (сообщества нор, пней и т.п. объединяясь, создают сообщества леса).

Биоценоз обладает сложной внутренней структурой (видовой и пространственной). Структура – это закономерность в соотношении и связях ее частей.

Видовая структура биоценоза – это разнообразие видов в биоценозе и соотношение их численности или массы.

Главный лимитирующий фактор в биоценозе – это температура, влажность и пищевые ресурсы. Поэтому биоценозы пустынь, высокогорий наиболее бедны видами, а наиболее богаты – тропические леса (бедные – десятки, сотни видов, бо-

гатые – несколько тыс. и десятков тыс. видов). Эта закономерность – увеличение биоразнообразия при движении с Севера на Юг, впервые предложена Уоллесом. Богатство видового состава биоценозов определяется либо относительным, либо абсолютным числом видов и зависит от возраста сообщества: молодые – бедные.

Видовое разнообразие – это число видов в данном сообществе или регионе. Оно зависит от местообитания организмов. Выделяют α -разнообразие, которое определяется разнообразием организмов в конкретном местообитании и β -разнообразие, включающее сумму всех видов во всех местообитаниях в пределах данного региона.

Наиболее благоприятные условия для существования разнообразных видов характерны для переходных зон между сообществами – *эктоны*. В этих зонах проявляется так называемый краевой эффект – создаются переходные условия и в данной зоне встречаются организмы из соседствующих сообществ. Примером этоконов служат опушки леса, береговая линия водоемов.

Виды, которые преобладают по численности в биоценозе – *доминантные*, среди них есть такие, без которых другие виды организмов существовать не могут – это виды *эдификаторы*, они определяют микроклимат сообщества, без них оно разрушается (например, ель, сосна, кедр, изредка это могут быть животные – сурки, кораллы).

Для оценки разнообразия биоценозов используют показатели:

- *обилие видов* – число особей видов на единицу пространства,
- *степень доминирования* – число особей видов к общему числу всех особей данной группы.

Однако важен и учет размеров организмов (растений, животных, микроорганизмов) – считают отдельно.

Внутри биоценоза существуют и особые структурные объединения – *консорции* – совокупность популяций организмов, жизнедеятельность которых связана с центральным видом – автотрофным растением.

Центральный вид – *детерминант*, а виды, объединенные вокруг него – *консорты*. Биоценоз – это система связанных между собой консорций (рис.10).

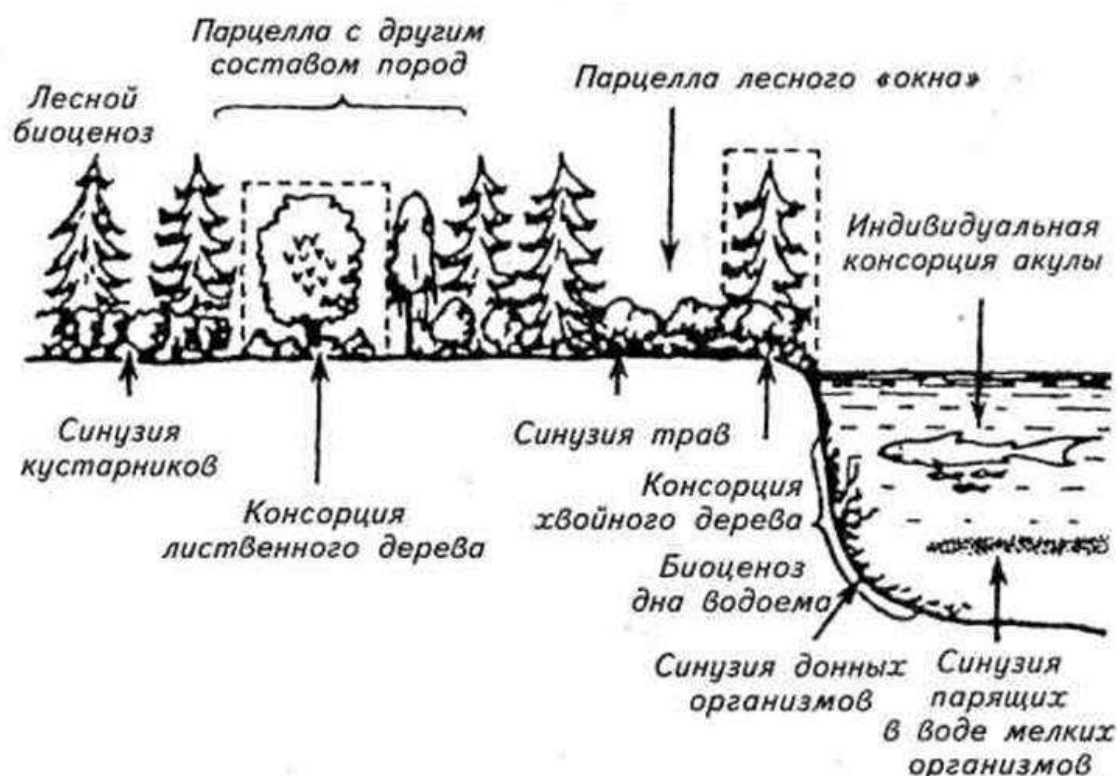


Рис. 10. Структура биоценоза

Также в структуре биоценоза можно выделить так называемые синузии, которые включают определенные виды флоры, составляющие эколого-биологическое единство. Синузии первого порядка включают растения одного вида, синузии 2 и 3 порядка объединяют близкородственные виды.

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

В ходе эволюции, приспосабливаясь, живые организмы так разместились, что практически не мешают друг другу, их распределение носит ярусный характер.

Ярусность – это вертикальное расслоение биоценозов на равновесные структурные части. Ярусность выражена не только в наземных, но и в водных ценозах.

Особо четко ярусы выражены в лесных фитоценозах:

- Древесный (дуб, ель, клен; гусеница, белка)
- Кустарниковый (боярышник, кизил; птица, белка)

- Травянистый (папоротник, крапива; косуля, пчелы)
- Приземный (мхи, лишайники; мухи, муравьи, мыши)
- Подстилка (мертвые органика; грибы)
- Пахотный (дождевые черви, кроты, клещи)
- Подпочва (норы сусликов, сурков)

Помимо ярусности в пространственной структуре биоценозах выделяют *мозаичность* – изменение растительного и животного мира по горизонтали. Выглядит мозаичность в виде пятен на карте или плане, отражающих структуру, плотность, видовую принадлежность организмов. Формируется она вследствие неоднородных условий, например, разная освещенность, вырубка леса, кострища. Для описания мозаичности выделяют парцеллы (рис.10).

Для организмов в экологии применяется одна характеристика - экологическая ниша, которую позиционируют как «профессия организма» (Ю. Одум). *Экологическая ниша* – место вида в природе, включающее как положение в его пространстве, так и функциональную его роль в сообществе, отношение к абиотическим условиям существования. Структура экологической ниши показана на рисунке 11.

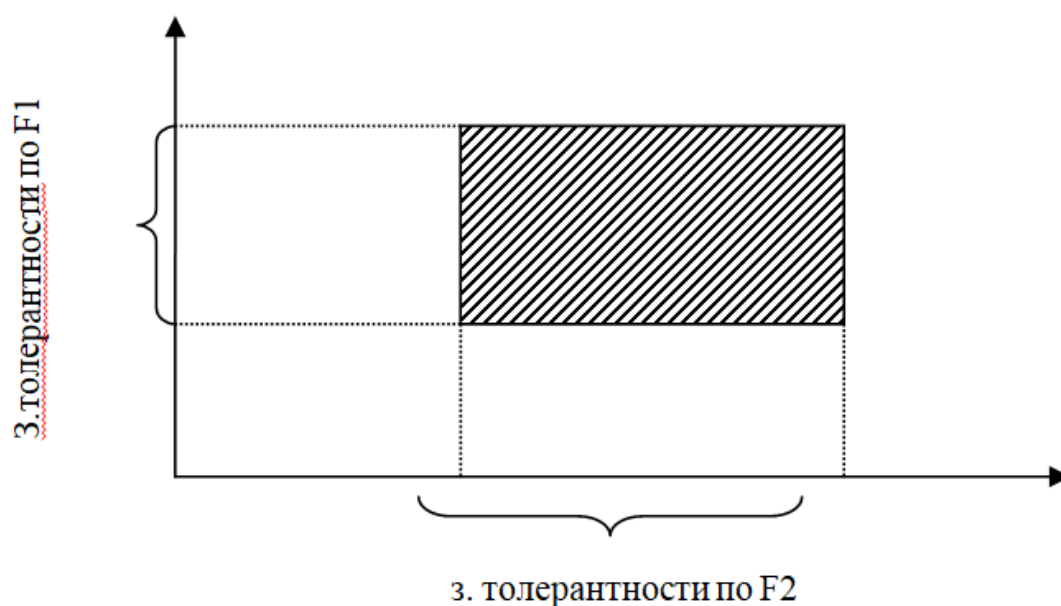


Рис. 11. Модель экологической ниши (Г.Е. Хатчинсон)

Экосистема и биогеоценоз.

Экосистема и биогеоценоз представляют собой единицы более высокого уровня, рассматриваемые в рамках синэкологии.

Термин и понятие «экосистема» был введен А. Тэнсли в 1935 году. Под экосистемой понимается совокупность живых и неживых компонентов, в которой может реализовываться круговорот веществ.

Экосистемы различимы по масштабу (рис.12). При этом, экосистема любого уровня базируется на круговороте веществ.

Понятие биогеоценоз появилось несколько позже, его сформулировал в 1942 году В.Н. Сукачев. Согласно определению Сукачева, биогеоценоз – «это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая свою, особую специфику взаимодействий этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутреннее противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении. Развитии» (Сукачев В.Н. «Основы лесной биогеоценологии. – М., 1964).

Фактически между понятиями биогеоценоз и экосистема отличий нет. Главное, что отличает данные понятия, обязательное наличие элемента «гео» в биогеоценозе и его территориальная ограниченность. Он выступает как частный случай экосистем. И экосистема и биогеоценоз представляют собой многовидовую надорганизменную биосистему, в состав которой входят разнообразные живые организмы, представляющие всю структуру органического мира. Для данных биосистем характерными свойствами являются целостность и саморегуляция, которые обеспечиваются многообразием связей. Важнейшими связями являются территориальные, средообразующие и трофические.

Экологические системы макроуровня называют часто биомами. Каждый биом включает несколько экосистем меньшего уровня, например, пустыня, тундра, дождевые тропические леса, океан.

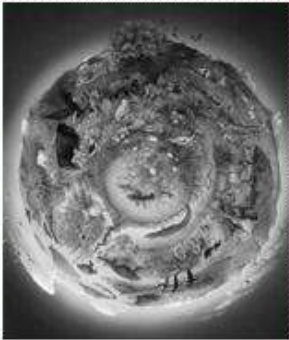
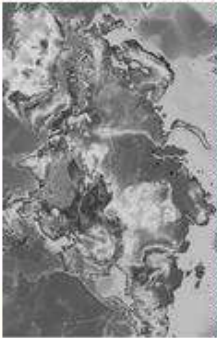
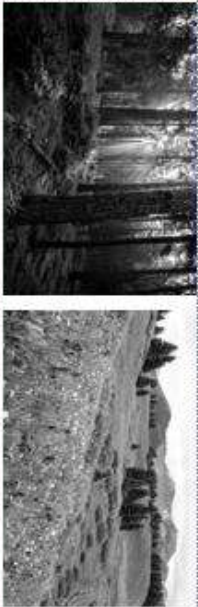

Экологические системы			
Глобальная экосистема	Биосфера		
Макроэкосистемы	Биомы, континенты, океан		
Мезоэкосистемы	Лес, луг, озеро		
Микроэкосистемы	Капля воды, гниющий пенек, ствол дерева, лужа		

Рис.12. Экосистемы разного масштаба

В структуре любой экосистемы можно выделить сообщество всех живых организмов (биоценоз) и среду их обитания (биотоп). В схеме строения биогеоценоза Сукачев выделял элементы биоценоза и экотопа. С учетом современной структуры органического мира на базе схемы, предложенной В.Н. Сукачевым, составлена обобщенная схема структурной организации биогеоценоза (рис. 13).

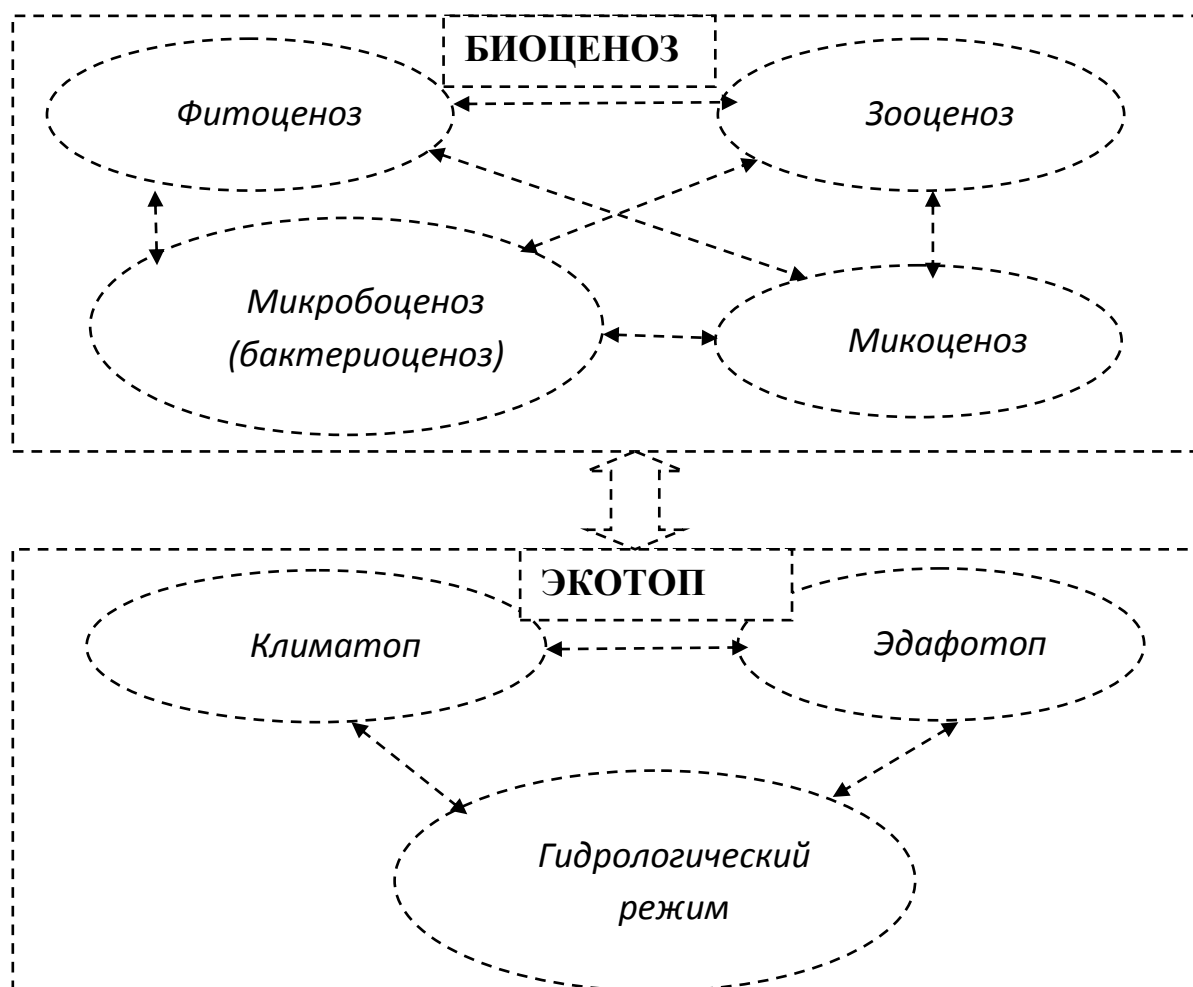


Рис.13. Схема структуры биогеоценоза

Все элементы биоценоза находятся во взаимодействии. Фундамент существования любой экосистемы представляет собой трофическая структура. Трофическая структура экосистем предполагает деление всех живых существ на три группы, основываясь на особенностях питания и их роли в экосистеме. Это продуценты, консументы и редуценты. В рамках любой системы эти группы живых организмов образуют цепь, построенную на базе энергетического потока. Важнейшим

элементом такой цепи является энергия, созданная на уровне продуцентом, благодаря процессу фотосинтеза. Уровень продуцентов включает в себя все автотрофные организмы (растения, цианобактерии). Космическая роль всех автотрофных организмов заключается в возможности фиксировать энергию Солнца в форме энергии связей в органических соединениях. Важным условием процесса фотосинтеза является не только наличие солнечного света (волны определенной длины от 400 до 700 нм), но и определенные свойства самого организма: наличие фотосинтезирующих пигментов, специальных клеточных структур, углекислого газа и воды.

Группа консументов включает в себя гетеротрофных организмов, способных потреблять готовые органические вещества, переводя их из одной формы в другую, частично усваивая эти вещества. При этом, организмы, потребляющие продуцентов относят к консументам 1 порядка. Те, кто питается консументами 1 порядка, относят к консументам 2 порядка и т.д. Консументы 3 порядка называют иногда суперхищники или паразиты. Представителями данной группы организмов являются травоядные и хищные животные.

Финальным звеном трофических цепей являются редуценты – гетеротрофные организмы-разлагатели органических веществ до неорганических. На данном этапе происходит возвращение элементов органических веществ в неорганическое состояние среды обитания. Редуценты как бы замыкают цикл, начатый продуцентами. Примером организмов данной группы служат грибы, большая часть бактерий.

Таким образом, вышеперечисленные группы живых организмов составляют так называемые цепи питания, отражающие перенос веществ и энергии от одного уровня к другому. При этом переносе потери энергии составляют около 90%, поэтому с одного уровня на другой переносится лишь 10% энергии. КПД соснового бора или дубравы составит 0,3-0,6%. Такие энергопотери привели к тому, что длина цепей питания не бывает большой, обычно она ограничивается 3-4 звеньями (рис. 14).

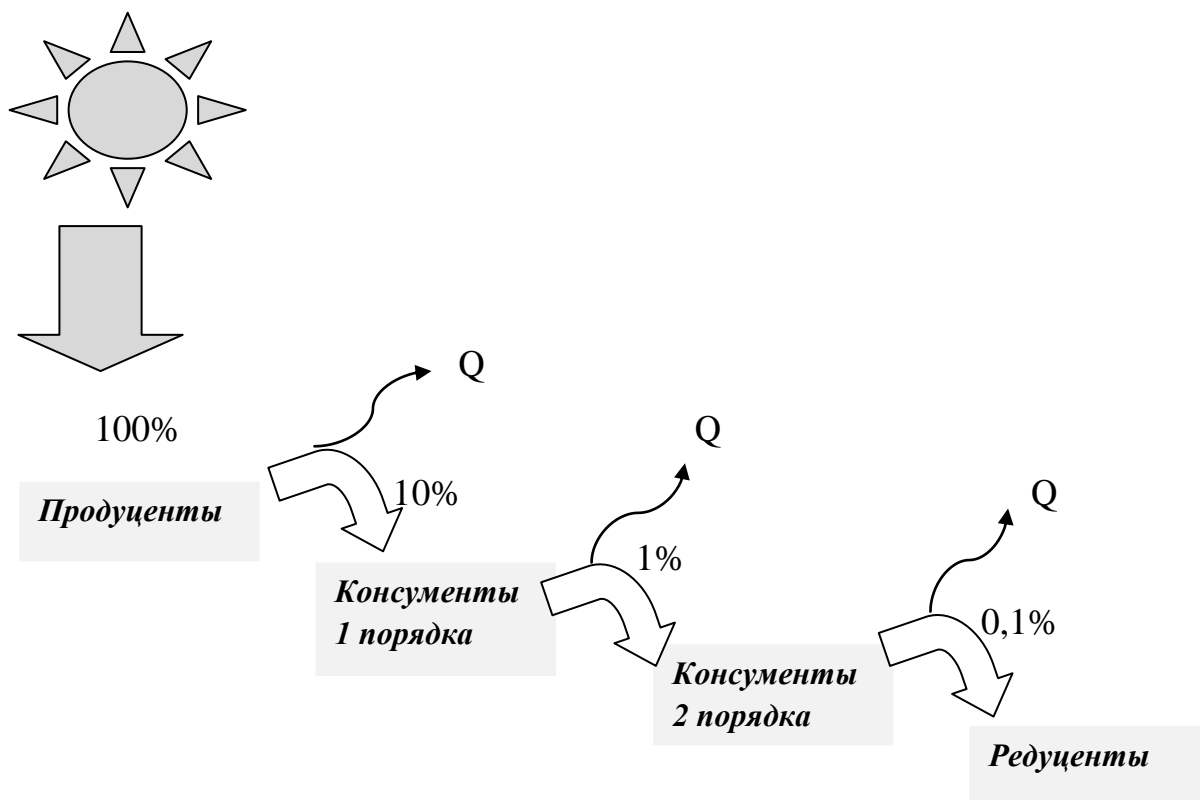


Рис.14. Трофическая структура экосистем

В любой экосистеме существуют одновременно сотни цепей питания, все они образуют трофическую сеть. Чем выше степень иерархии системы, тем более значима роль неживого компонента. При функционировании любого сообщества в нем циркулируют вещества и элементы (углерод, водород, азот, цинк, кислород и т.д.). Они многократно используются и живыми и неживыми системами, но энергия в сообществах циркулировать не может. Жизнь поддерживается благодаря постоянному притоку энергии извне (солнечная инсоляция, тектоническая энергия, гравитационная энергия, энергия космических лучей). Существует только односторонний векторный поток энергии, круговорота не может быть.

Выделяют два типа трофических цепей: детритные (цепи разложения) и пастбищные (цепи выедания). Оба типа всегда берут начало с продуцента, так как именно на этом уровне происходит синтез органического вещества за счет фиксации солнечной энергии. Отличительной особенностью детритных цепей является

то, что продуценты в таких цепях представлены отмершей органикой, детритом, например, листовым опадом, гниющей древесиной пня и т.п.

В связи с этим детритные цепи питания будут включать меньшее число звеньев и будут короче из энергетических соображений.

Трофическая структура экосистем отвечает за формирование ее продуктивности. При этом выделяют первичную и вторичную продукцию. Первичная продукция ограничивается производством уровня продуцентов и зависит от сухой массы растений. Вторичная продукция рассчитывается для каждого трофического уровня отдельно и зависит от биомассы, синтезированной конкретно на нем.

В целом, общая биомасса экосистемы (продуктивность), складывается из производственной мощности каждого ее трофического уровня (и продуцентов и консументов и редуцентов). Продуктивность экологической системы определяется скоростью фиксации солнечной энергии и ее переводом в энергию химических связей органического вещества. Продуктивность многих экосистем также учитывает производственные процессы, в которых принимают участие хемосинтетики (водородные бактерии, железобактерии и т.д.).

Трофическая структура может быть выражена графически в форме экологических пирамид. Элтон в 1927 году составил экологическую пирамиду чисел, которая легла в основу других пирамид и как результат сформировано обобщенное правило экологических пирамид – пирамида энергий, которая отражает суть энергетических потоков в любой цепи питания.

Основанием любой экологической пирамиды является уровень продуцентов, далее идут консументы разных порядков по аналогии с цепями питания. Существует три вида экологических пирамид: пирамида чисел, пирамида биомасс и пирамида энергий (рис. 15).

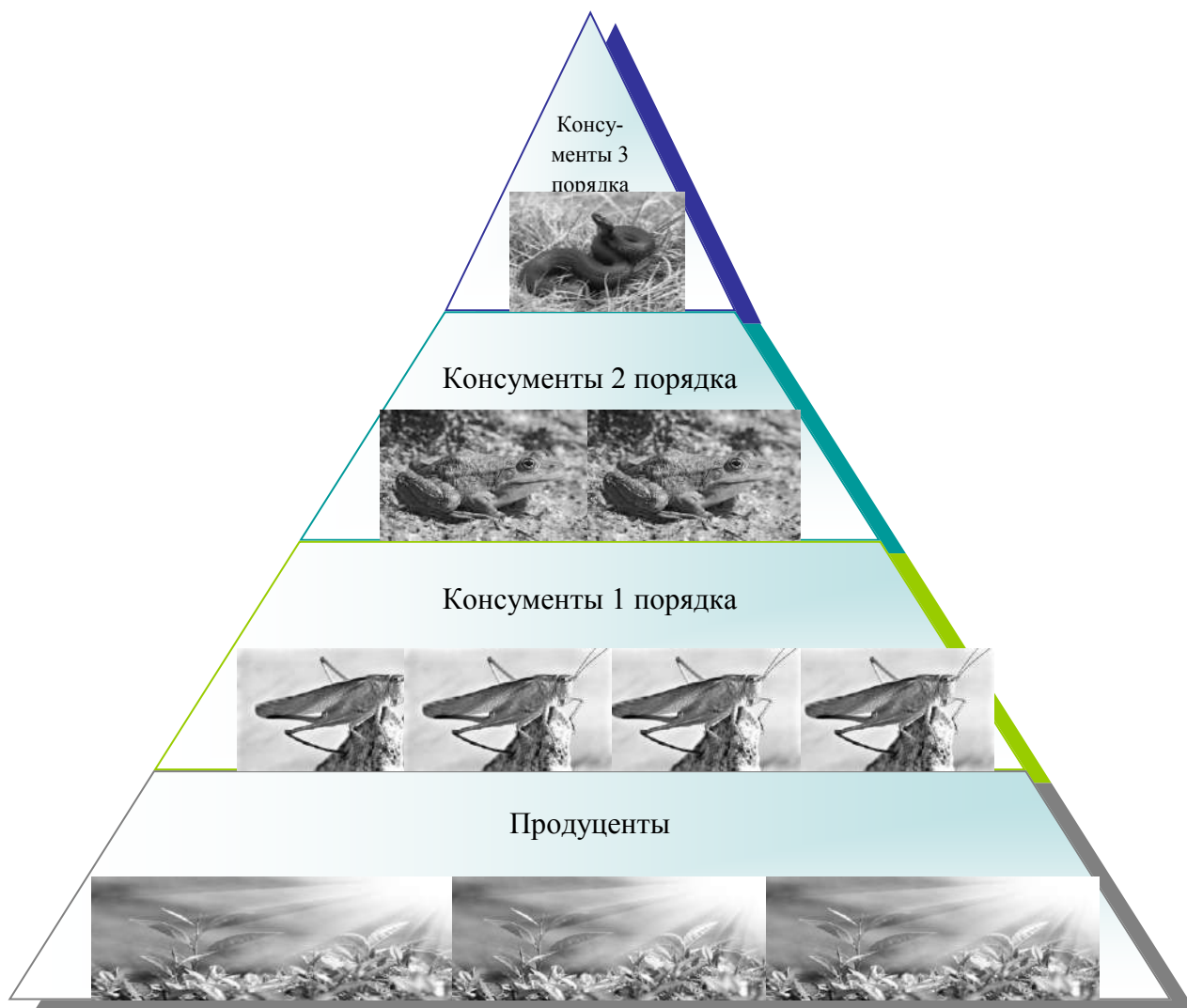


Рис.15. Схема экологической пирамиды

Пирамида чисел: количество особей, составляющих последовательный ряд звеньев от продуцентов к консументам, неуклонно уменьшается.

В основе данной закономерности лежит основание, согласно которому для уравнивания массы большого тела необходимо множество меньшего размера. Также данная закономерность вытекает из правила 10%, согласно которому с одного трофического уровня на другой переходит лишь 10% энергии, синтезированной на предыдущем уровне. Остальная энергия тратится на жизненные процессы, рассеивается в виде тепла в окружающую среду. Пирамида чисел находится в тесной взаимосвязи и с утверждением о закономерной связи размеров тела животных и их уровнем метаболизма: чем мельче организм, тем интенсивнее у не-

го обмен веществ, тем выше скорость роста численности таких организмов и их биомассы.

Пирамида биомасс: суммарная масса растительных организмов превосходит массу всех растительноядных животных, а их масса превышает всю массу плотоядных.

Правило биомасс применительно к экосистемам океана работает в обратном направлении, в таких сообществах пирамида имеет перевернутый вид. На высших трофических уровнях преобладает тенденция к накоплению биомассы, так как длительность жизни крупных хищников велика, а скорость оборота их поколений наоборот низкая. В телах таких организмов задерживается значительная часть вещества, поступающего по трофической цепи.

Более современное отражение влияния трофических отношений в экосистемах показывает пирамида энергий.

Пирамида энергий: на каждом предшествующем трофическом уровне количество биомассы (энергии), создаваемой за определенный промежуток времени, больше, чем на последующем.

Данное правило носит универсальный характер и объединяет закономерности двух предыдущих пирамид.

Экологические системы – динамически меняющиеся структурные единицы. Условиями стабильности экосистемы является высокий уровень ее биоразнообразия, высокая численность организмов, наличие широкой трофической сети. Каждая экосистема стремится к стабильности и равновесному состоянию. Развитие экосистем, при котором происходит замена во времени одного сообщества другим, называют *экологической сукцессией*.

Экологическая сукцессия начинается со смены фитоценоза, как компонента включающего уровень продуцентов. Первопричиной смены фитоценоза является, в первую очередь, изменение климатических условий, которые вызывают развитие определенного адаптивного ответа на экосистемном уровне. Такая смена сообществ была впервые описана Клементсом. Результатом такой смены будет формирование устойчивого климаксного сообщества.

Климакс – временное состояние экологической системы, возникающее под влиянием ряда факторов (климат, рельеф, почва, гидрологический режим).

В зависимости от причин возникновения сукцессии их делят на экзогенные (аллогенные) и эндогенные (автогенные). Экзогенные сукцессии возникают под воздействием внешних абиотических условий, например, мелиоративное осушение болот, выпас скота. Эндогенные сукцессии возникают в результате изменения структуры и системы связей в сообществах.

В течение длительного времени возможно возникновение нескольких чередующихся сукцессий, данный процесс называют сукцессионной серией.

В зависимости от начального субстрата и условий выделяют первичные и вторичные сукцессии. Первичные сукцессии формируются на первоначально незаселенном субстрате (скалы, песчаные и ледяные пустыни). Начинается такая смена с формирования слоя почвы первыми колонистами, чаще всего в их роли выступают лишайники. Далее на первопочве появляются мхи, травянистые растения и только потом кустарники и деревья.

Выделяют 5 основных этапов сукцессии:

- 1 – обнажение (появление незаселенного пространства, субстрата);
- 2 – миграция (появление пионерных форм жизни, лишайников, бактерий, мхов);
- 3 – эцезис (приспособление организмов к абиотическим факторам среды);
- 4 – реакция (обратное влияние организмов на условия среды);
- 5 – стабилизация (постепенное формирование климаксного сообщества).

Вторичная сукцессия представляет собой закономерную замену одного сообщества на другое, более совершенным в сложившихся абиотических условиях. Возникает смена сообществ такого уровня на субстрате уже освоенном живыми организмами и носит восстановительный характер. Примером вторичной сукцессии служит зарастание озера и переход этого сообщества в сообщество болота; зарастание и восстановление леса после пожара и т.п.

Этапы экологической сукцессии

Время в годах	0	1-10	10-20	20-50	50-70	70-90	90-120
Тип сообщества	Незаселенный субстрат, лишайники	Травы	Травы + кустарники	Древесные культуры			
				Береза, осина	Лиственный лес с подростом хвойных	Смешанный лес	Хвойный лес (еловый кедровый и т.п.)

Экологические сукцессии не всегда заканчиваются климаксом.

В определенных условиях сукцессия может быть регрессивной, такие сукцессии называют дигрессии – это смена сообществ, направленная на их обеднение и упрощение. Возможна такая смена при постоянном влиянии антропогенного фактора. Но такая смена является нетипичной и редкой формой. В естественных природных условиях смена сообществ влечет за собой формирование всегда более устойчивого сообщества.

Дигрессии чаще всего служат причиной существования антропогенных экологических систем. Антропогенные экосистемы создаются человеком на базе существующих природных систем, зависят от деятельности человека, должны постоянно поддерживаться. Они являются неустойчивыми, так как не способны к самосохранению и самовосстановлению. Далее представлена характеристика природных и антропогенных экосистем.

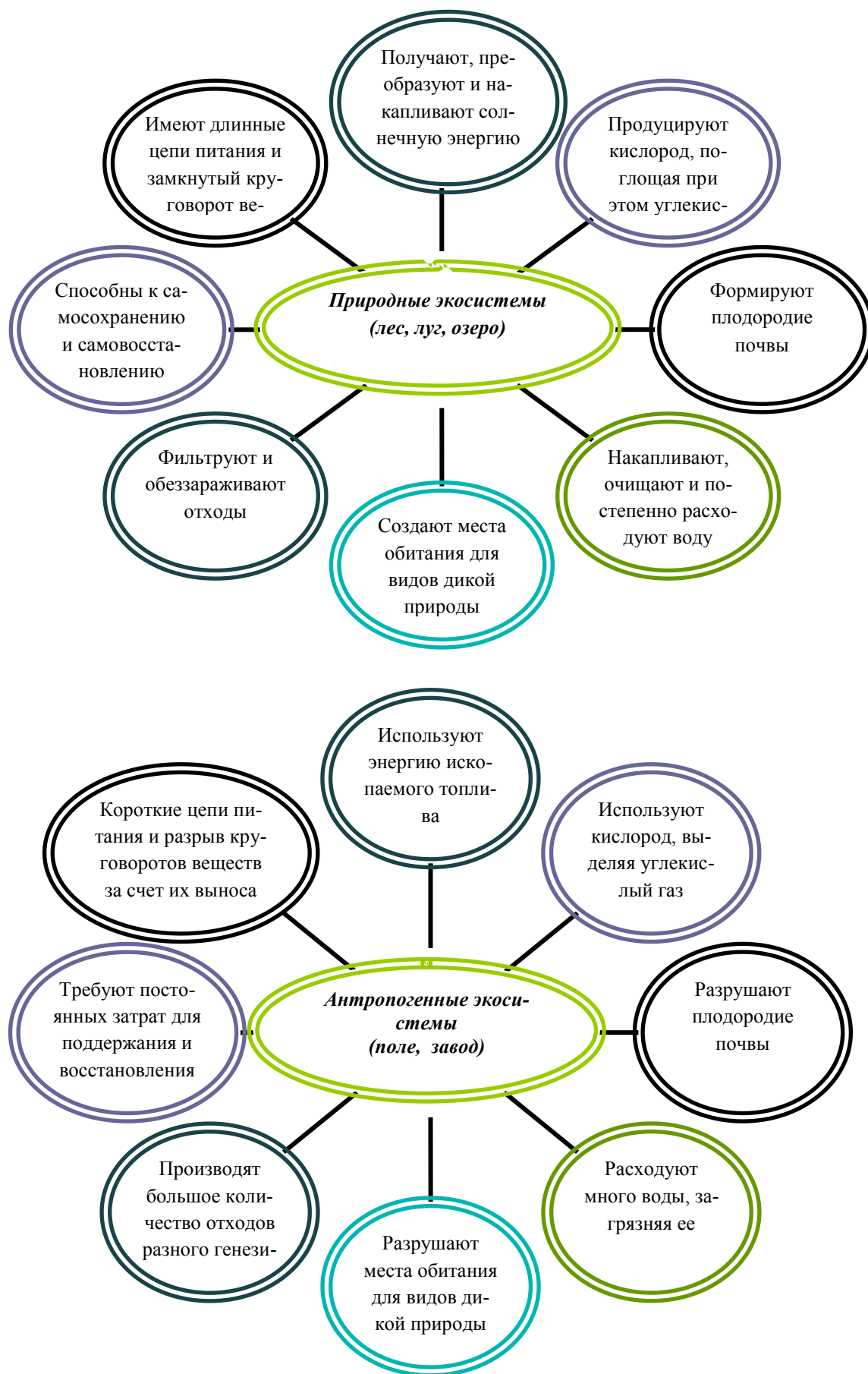


Рис. 16. Критерии существования антропогенных и природных экосистем

Антропогенные экосистемы делят на: промышленные и сельскохозяйственные. Все они отличаются низким уровнем биоразнообразия, нарушение трофической структуры, но имеют и свою специфику. Промышленные экосистемы (заводы, города) являются неустойчивыми, меньше зависят от природных производственных процессов, существуют за счет энергии ископаемого и ядерного топлива. Ярким примером такой системы является урбоценоз (город). Урбоценоз в своей структуре имеет селитебную зону (жилую), промышленную (заводы, фабрики), рекреационную (парки, зоны отдыха) и хорошо развитую транспортную сеть (автодороги, трамвайные и троллейбусные пути).

Сельскохозяйственные экосистема (агробиоценозы или агроэкосистемы) направлены на производство сельскохозяйственной продукции, зависят от природных естественных процессов, базируются на трофической структуре ценозов. При этом, они сильно истощают, обедняют естественные экосистемы, на базе которых создаются за счет выноса питательных элементов из почвы с урожаем и загрязнением ее посредством пестицидов разного ранга (гербициды, инсектициды, фунгициды).

В целом можно сделать вывод, что антропогенные экосистемы существуют только при прямом участии человека и любая, даже мощная антропогенная система будет разрушена без его участия и со временем превратится в природное сообщество в направлении формирования климакса системы.

МОДУЛЬ 4. ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Предметом изучения глобальной экологии является весь комплекс взаимосвязей в рамках живой оболочки нашей планеты.

Биосфера – относительно тонкий жизнеобеспечивающий слой земной поверхности, простирающийся от нескольких километров вглубь атмосферы до глубоководных жерл океана. Биосфера – это глобальная экосистема, состоящая из живых организмов (биота) и абиотических (неживых) факторов, из которых они получают энергию и питательные вещества.

До появления жизни Земля была мрачным местом, скалистым шаром с мелкими морями и тонкой полосой газов – в основном углекислого газа, окиси углерода, молекулярного азота, сероводорода и водяного пара. Это была враждебная и бесплодная планета. Это строго неорганическое состояние Земли называется геосферой; оно состоит из литосферы (породы и почвы), гидросферы (воды) и атмосферы (воздуха). Энергия Солнца безжалостно бомбардировала поверхность первобытной Земли, и со временем – миллионы лет – химические и физические действия привели к появлению первых признаков жизни: бесформенных, похожих на желе сгустков, которые могли собирать энергию из окружающей среды и производить больше себе подобных. Это зарождение жизни в тонком внешнем слое геосферы создало то, что называется биосферой, «зоной жизни», энергетически отвлекающей оболочкой, которая использует материю Земли для создания живого вещества.

Биосфера – это система, характеризующаяся непрерывным круговоротом материи и сопутствующим потоком солнечной энергии, в которой некоторые крупные молекулы и клетки самовоспроизводятся. Вода – главный предрасполагающий фактор, ибо от нее зависит вся жизнь. Элементы углерод, водород, азот, кислород, фосфор и сера в сочетании с белками, липидами, углеводами и нуклеиновыми кислотами обеспечивают строительные блоки, топливо и направление для создания жизни. Поток энергии необходим для поддержания структуры организмов путем образования и расщепления фосфатных связей. Организмы являются

клеточными по своей природе и всегда содержат какую-то замкнутую мембранную структуру, и все они имеют нуклеиновые кислоты, которые хранят и передают генетическую информацию.

Вся жизнь на Земле, в конечном счете, зависит от зеленых растений, а также от воды. Растения используют солнечный свет в процессе, называемом фотосинтезом, для производства пищи, которой питаются животные, и для обеспечения в качестве побочного продукта кислорода, необходимого большинству животных для дыхания. Поначалу океаны и земли изобиловали большим количеством нескольких видов простых одноклеточных организмов, но постепенно развивались растения и животные все большей сложности. Взаимоотношения развивались так, что некоторые растения росли в ассоциации с некоторыми другими растениями, а животные, связанные с растениями и друг с другом, образовывали сообщества организмов, включая сообщества лесов, лугов, пустынь, дюн, болот, рек и озер. Живые сообщества и их неживая среда неразрывно взаимосвязаны и постоянно взаимодействуют друг с другом.

Для удобства любой сегмент ландшафта, включающий биотическую и абиотическую составляющие, называется экосистемой. Озеро – это экосистема, когда оно рассматривается в совокупности не только как вода, но и как питательные вещества, климат и вся жизнь, содержащаяся в нем. Данный лес, луг или река также являются экосистемой. Одна экосистема переходит в другую вдоль зон, называемых экотонами, где происходит смешение видов растений и животных из двух экосистем. Лес, рассматриваемый как экосистема, - это не просто древостой, а комплекс почвы, воздуха и воды, климата и минералов, бактерий, вирусов, грибов, трав, трав и деревьев, насекомых, рептилий, амфибий, птиц и млекопитающих.

Другими словами, абиотическая, или неживая, часть каждой экосистемы в биосфере включает в себя поток энергии, питательных веществ, воды и газов, а также концентрацию органических и неорганических веществ в окружающей среде. Биотическая, или живая, часть включает три основные категории организмов, основанные на их способах получения энергии: первичные производители, в основном зеленые растения; потребители, которые включают всех животных; и раз-

лагатели, которые включают микроорганизмы, которые расщепляют остатки растений и животных на более простые компоненты для переработки в биосфере. Водные экосистемы – это экосистемы, включающие морскую среду и пресноводную среду на суше. Наземные экосистемы – это экосистемы, основанные на основных типах растительности, таких как леса, пастбища, пустыни и тундры. С каждой такой растительной провинцией связаны определенные виды животных.

Экосистемы могут быть далее подразделены на более мелкие биотические единицы, называемые сообществами. Примеры сообществ включают организмы в сосновом бору, на коралловом рифе, в пещере, долине, озере или ручье. Основное внимание в сообществе уделяется живому компоненту – организмам; абиотические факторы окружающей среды исключаются.

Сообщество – это совокупность популяций видов. В сосновом насаждении может быть много видов насекомых, птиц, млекопитающих, каждый из которых является отдельной гнездовой единицей, но каждый зависит от других для своего дальнейшего существования. Вид, кроме того, состоит из индивидов, единичных функционирующих единиц, идентифицируемых как организмы. За пределами этого уровня единицами биосферы являются единицы организма: системы органов, состоящие из органов, органов тканей, тканей клеток, клеток молекул и молекул атомных элементов и энергии. Таким образом, прогрессия, идущая вверх от атомов и энергии, идет к меньшему количеству единиц, больших и более сложных по структуре, на каждом последующем уровне.

Биосфера поддерживает от 3 до 30 миллионов видов растений, животных, грибов, одноклеточных прокариот, таких как бактерии, и одноклеточных эукариот, таких как простейшие. Из этого общего числа только около 1,4 миллиона видов были названы до сих пор, и менее 1 процента были изучены на предмет их экологических отношений и их роли в экосистемах. Чуть больше половины названных видов – насекомые, которые доминируют в наземных и пресноводных сообществах по всему миру; лаборатории систематиков заполнены видами насекомых, которые еще предстоит назвать и описать. Таким образом, отношения ор-

ганизмов к окружающей их среде и роли, которые играют виды в биосфере, только начинают пониматься.

Это огромное разнообразие жизни организовано в естественные экологические группировки. По мере развития жизни популяции организмов разделились на различные виды, репродуктивно изолированные друг от друга. Эти виды организованы через их взаимоотношения в сложные биологические сообщества. Взаимодействия в этих сообществах влияют на физическую среду, в которой они происходят, и влияют на нее, тем самым формируя экосистемы, через которые протекают и циркулируют энергия и питательные вещества, необходимые для жизни. Сочетание видов и физической среды меняется по всему земному шару, создавая экологические сообщества или биомы, такие как бореальные леса Северной Америки и Евразии и тропические леса тропиков. Совокупность богатств этих биомов и есть биосфера.

Биосфера состоит из частей Земли, где существует жизнь. Биосфера простирается от самых глубоких корневых систем деревьев до темной среды океанских впадин, до пышных дождевых лесов и высоких горных вершин. Ученые описывают Землю в терминах сфер. Твердым поверхностным слоем Земли является литосфера. Атмосфера – это слой воздуха, который простирается над литосферой. Земная вода – на поверхности, в земле и в воздухе – составляет гидросферу. Поскольку жизнь существует на земле, в воздухе и в воде, биосфера перекрывает все эти сферы. Хотя биосфера измеряет около 20 километров сверху донизу, почти вся жизнь существует между примерно 500 метрами ниже поверхности океана и примерно 6 километрами над уровнем моря.

Биосфера существует около 3,5 миллиардов лет. Самые ранние формы жизни в биосфере, называемые прокариотами, выживали без кислорода. Древние прокариоты включали одноклеточные организмы, такие как бактерии и археи. Некоторые прокариоты разработали уникальный химический процесс. Они смогли использовать солнечный свет, чтобы сделать простые сахара и кислород из воды и углекислого газа, процесс, называемый фотосинтезом. Эти фотосинтезирующие организмы были настолько многочисленны, что изменили биосферу. В течение

длительного периода времени атмосфера вырабатывала смесь кислорода и других газов, которые могли поддерживать новые формы жизни. Добавление кислорода в биосферу позволило развиваться более сложным формам жизни. Развились миллионы различных растений и других фотосинтетических видов. Эволюционировали животные, которые потребляют растения и животных. Бактерии и другие организмы эволюционировали, чтобы разлагать или разрушать мертвых животных и растения. Биосфера извлекает выгоду из этой пищевой сети. Остатки мертвых растений и животных выделяют питательные вещества в почву и океан. Эти питательные вещества повторно усваиваются растущими растениями. Этот обмен пищей и энергией делает биосферу самоподдерживающейся и саморегулирующейся системой.

Биосферу иногда представляют как одну большую экосистему – сложное сообщество живых и неживых существ, функционирующих как единое целое. Однако чаще всего биосферу описывают как имеющую множество экосистем.

Люди играют важную роль в поддержании потока энергии в биосфере. Иногда, однако, люди нарушают поток. Например, в атмосфере уровень кислорода снижается, а уровень углекислого газа увеличивается, когда люди расчищают леса или сжигают ископаемое топливо, такое как уголь и нефть. Разливы нефти и промышленные отходы угрожают жизни в гидросфере. Будущее биосферы будет зависеть от того, как люди будут взаимодействовать с другими живыми существами в пределах зоны жизни.

В начале 1970-х годов Организация Объединенных Наций учредила проект под названием «Человек и биосфера» (МАВ), который способствует устойчивому развитию. Сеть биосферных заповедников существует для того, чтобы установить рабочие, сбалансированные отношения между людьми и природным миром.

В настоящее время во всем мире насчитывается 563 биосферных заповедника. Первый биосферный заповедник был создан в Янгамби, Демократическая Республика Конго. Янгамби, расположенный в плодородном бассейне реки Конго, имеет 32 000 видов деревьев и таких эндемичных видов, как лесные слоны и ред-риверские свиньи. Биосферный заповедник в Янгамби поддерживает такие виды

деятельности, как устойчивое сельское хозяйство, охота и добыча полезных ископаемых.

Один из новейших биосферных заповедников находится в Яю, Эфиопия. Район развит под сельское хозяйство. Регулярно выращиваются такие культуры, как мед, древесина и фрукты. Однако самым прибыльным и ценным ресурсом Яю является местный вид растения – *Coffea arabica*. Этот кустарник – источник кофе. Яю имеет самый большой источник дикого кофе арабика в мире.

Жизнь – неотъемлемая часть земной системы. Живые существа влияют на состав атмосферы, «вдыхая» и «выдыхая» углекислый газ и кислород. Они играют определенную роль в круговороте воды, вытягивая воду из почвы и воздуха, и они помогают вернуть ее обратно, выдыхая водяной пар и аэрируя почву, чтобы дождь мог впитаться в землю. Они регулируют химию океана, извлекая углерод из атмосферы. Земля не была бы той планетой, какой она является, если бы не ее биосфера, сумма ее жизни.

В океане высокие концентрации хлорофилла сосредоточены в районах, где процветают крошечные растительные организмы (фитопланктон). Самые высокие концентрации хлорофилла находятся в холодных полярных водах или в местах, где океанские течения приносят холодную воду на поверхность, например, вокруг экватора и вдоль берегов континентов. Не холодная вода сама по себе стимулирует фитопланктон. Вместо этого холодные температуры часто являются признаком того, что вода поднялась на поверхность из глубин океана, неся питательные вещества, которые накапливались с течением времени. В полярных водах питательные вещества накапливаются в поверхностных водах в темные зимние месяцы, когда растения не могут расти. Когда весной и летом возвращается солнечный свет, растения процветают в высоких концентрациях.

Средняя продуктивность биосферы мало меняется из года в год, но есть небольшие вариации. Растениям для роста необходимы четыре вещи: питательные вещества, свет, вода и умеренная температура. Когда любая из этих вещей изменится, рост растений тоже изменится. На суше межгодовые изменения в росте растений наиболее заметны в маргинальных районах, где небольшие изменения

воды или температуры оказывают наибольшее влияние на рост растений. Австралийская глубинка, Африканский Сахель и Степи Центральной Азии демонстрируют ежегодные колебания роста растений в этой серии. Эти колебания, вероятно, связаны с изменением температуры или количества осадков.

Межгодовые изменения в океане труднее интерпретировать. Продуктивность океана (о чем свидетельствует распределение хлорофилла) зависит от температуры океана и наличия питательных веществ, обычно приносимых на поверхность океанскими течениями и перемешиванием. Концентрация хлорофилла в океане может изменяться при изменении океанских течений или температуры. Падение хлорофилла может произойти, если в районе пасется больше зоопланктона (мелких животных). Ветры могут вспенивать океан, загоняя фитопланктон под поверхность, где человек не может их измерить, или облака могут блокировать обзор во время коротких цветущих событий, когда хлорофилл вспыхивает.

Измерения глобального хлорофилла и растительности ценны для ученых, потому что они дают представление о круговороте углерода. Ученые используют измерения хлорофилла океана и растительности, чтобы определить чистую первичную продуктивность планеты: сколько углерода используется растениями для роста. Углерод циркулирует в океанах, почве и горных породах, растениях на суше и в океане, атмосфере. Накопление углекислого газа, выделяемого в атмосферу при сжигании ископаемого топлива, является основной причиной глобального потепления. Глобальная биосфера помогает компенсировать часть избыточного углекислого газа, который люди закачивают в атмосферу.

Земля сейчас находится в своей шестой биосфере. Эта шестая биосфера обеспечивает уникальные условия, в которых эволюционировал и процветал род *Номо*, включая *Номо sapiens*. Биосфера также обеспечивает ресурсы, на которых основана человеческая экономика. С точки зрения биосферной функции вид должен не только присутствовать, но и присутствовать в достаточном количестве, чтобы быть эффективным с экологической точки зрения. Нынешняя биосфера уже пострадала от значительной потери видов в результате, как вымирания, так и биотического обнищания. Переломный момент для нынешней биосферы неизвестен.

Изменения, вызванные прохождением переломного момента, необратимы; следовательно, благоразумие диктует избегать такого переломного момента.

Хотя океаны доминируют в нашей биосфере и обеспечивают важнейшие экосистемные услуги в таких разнообразных формах, как производство продуктов питания и контроль климата, относительно малоизвестно о роли высших хищников в открытом море. Одна из причин заключается в том, что открытое море и связанная с ним среда обитания на морском дне создают серьезные логистические проблемы для исследований любого рода. Кроме того, многие океанологи по-прежнему придерживаются мнения, что процессы, происходящие снизу вверх, являются основными движущими силами биологической структуры океанических экосистем. Хотя воздействие снизу вверх в море явно важно, это не исключает воздействия сверху вниз, которое можно было бы ожидать по нескольким причинам. Одна из них заключается в том, что сильные эффекты, вызванные хищниками, широко распространены в озерах, и общие структуры океанических пищевых сетей (от фитопланктона до зоопланктона и планктиворов-рыбоядных) аналогичны таковым в озерах. Во-вторых, нигде больше на планете нет такого изобилия хищников, о чем свидетельствуют обширные стаи морских млекопитающих, морских птиц и хищных рыб, которые все еще можно увидеть в некоторых местах, несмотря на тысячелетия хищничества людей, и которые исторически были еще более многочисленны. Несмотря на эти априорные причины ожидать каскадов в океанах, существует несколько примеров океанических трофических каскадов. Одна из них связана с популяциями горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) в Северной части Тихого океана, которые колеблются в течение 2-летнего цикла. В годы, когда горбуша в изобилии, зоопланктон подавлен, а фитопланктон в изобилии, тогда как в годы, когда горбуша редка, зоопланктон в изобилии, а фитопланктон относительно редок.

Аналогичные закономерности были задокументированы после сокращения численности трески в Северной Атлантике и Северном море, а также в результате массового сокращения численности различных хищных рыб в Черном море. В Южном океане сокращение численности плавниковых, морских и норок в резуль-

тате промышленного китобойного промысла, возможно, освободило популяции криля от ограничений хищничества, что, в свою очередь, повысило переносимость других кормильцев криля – ластоногих, пингвинов и, возможно, дополнительных групп потребителей. Увеличение темпов роста и снижение возраста первого размножения тюленей и китов после истощения больших китов из Антарктиды были интерпретированы как доказательства таких эффектов. Изменения в изотопном составе остатков скорлупы яиц пингвинов адели указывают на то, что эти птицы были рыбоядными в течение большей части последних 8000 лет, перейдя на крилевую диету только после начала промышленного китобойного промысла в Южном океане в начале двадцатого века.

Хищничество серых китов (*Eschrichtius robustus*) и моржей (*Odobenus rosmarus*) оказывает важное воздействие на системы морского дна. Серые киты влияют на эти системы, увеличивая отложения и потребляя ампелисцидных амфипод. Борозды, образованные китами в мягком бентосе, колонизируются мусорными амфиподами *Iysianassid*, служат для накопления детрита и, таким образом, облегчают местную пищевую сеть на основе детрита. Моржи еще больше влияют на эти системы, потребляя моллюсков и другую крупную инфауну, в свою очередь, привлекая хищных и детритивных морских звезд.

Становится также очевидным, что акулы играют важную роль во многих морских системах, особенно в средних и низких широтах. Можно говорить о вторжении мелких эласмобранчей и последовавший за этим крах их двустворчатой добычи после сокращения численности больших акул из-за перелома в восточной части США. Изменения в поведении дюгоней, морских черепах и мелких китообразных объясняются сезонными миграциями крупных акул в Западной Австралии.

Поведенческие паттерны различных морских видов добычи также предполагают сильные взаимодействия хищника и жертвы. Например, криль и другие крупные зоопланктеры обычно подвергаются вертикальным миграциям, которые выводят их за пределы кормового ареала морских птиц и млекопитающих в дневное время. Многие виды кормовых рыб и зоопланктона образуют плотные стаи,

что, вероятно, снижает вероятность их поглощения хищниками, которые должны искать и захватывать индивидуальную добычу.

Пагофильные (ледолюбивые) ластоногие в Арктике и Антарктиде ведут себя принципиально по-разному в ответ на то, идет ли опасность хищничества сверху или снизу льда. В Арктике, где белые медведи и люди являются важными хищниками, ластоногие бегут со льда в воду при признаках опасности. В Антарктиде, где угроза хищничества в воде (от касаток и тюленей-леопардов) гораздо больше, чем на льду, ластоногие не проявляют такого экстремального поведения в полете и часто почти не замечают потенциальных помех, когда их вытаскивают.

Микроорганизмы являются «основой биосферы», обеспечивая ее «существенную, стабильную основу». Микроорганизмы играли и продолжают играть фундаментальную роль в эволюции высших форм жизни на земле. Они делали это и продолжают делать благодаря основным экологическим процессам, которые они осуществляют для получения материалов и энергии, необходимых для роста и размножения.

Основным примером эволюционной роли микробов является кислородный фотосинтез, изобретенный фототрофными бактериями более 2 миллиардов лет назад и высвобождающий кислород как побочный продукт выработки энергии. Со временем это высвобождение кислорода привело к постепенному изменению земной атмосферы от восстановительной к окислительной. Окислительная атмосфера по мере своего развития позволяла развиваться энергетически более эффективным аэробным организмам и обеспечивала защитный экран озона от ультрафиолетового излучения для наземных и водных организмов.

Столь же поразительными примерами являются бактериальные эндосимбиотические истоки хлоропластов, светосборных органелл растений, и митохондрий, энергогенерирующих органелл, главных событий в эволюции растительных и животных линий в Эвкарии. Кроме того, фиксация атмосферного азота, восстановление газообразного азота до аммония и превращение его в органические формы азота – это полностью бактериальная деятельность, осуществляемая различными симбиотическими и свободноживущими микробами.

Экологические процессы, осуществляемые микроорганизмами, столь же фундаментальны. Например, глобальные биогеохимические циклы основных элементов, углерода, азота, серы и железа, необходимых компонентов всех живых клеток, действуют через микробную активность. В частности, необходима деградация сложных углеводов, таких как хитин, образующий экзоскелет членистоногих, и целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин, структурные полимеры растений. Без микробной конверсии эти полимеры накапливались бы, удаляя огромное количество углерода из биосферы и блокируя множество биологических процессов, которые позволяют жить микро – и макроорганизмам. В отсутствие этих микробных деградационных процессов жизнь на земле скоро бы прекратилась. Помимо микробной деградации сложных органических соединений, можно рассмотреть диапазон метаболического разнообразия микробов, начиная от кислородного и анаэробного фотосинтеза, сульфатного восстановления, метаногенеза, денитрификации, окисления железа, окисления нитритов и нитратов, окисления водорода и метана и т. д.

Все способы, с помощью которых микробы получают энергию, необходимую для роста и размножения. Эти соображения отчасти лежат в основе общепринятого мнения о том, что бактерии и другие микробы, осуществляя эти процессы, служат людям и другим высшим организмам в качестве переработчиков окружающей среды и биоремедиаторов. Эта точка зрения, будучи по существу правильной, упускает из виду существенный момент – эти действия и процессы являются фундаментальной биологией этой планеты. Микробы – составная часть биосферы; их деятельность создает и обеспечивает основу для всей остальной жизни.

Биологическое разнообразие относится к разнообразию внутри биосферы, включая генетическое, видовое и естественное разнообразие. Эта концепция возникла в 1980-х годах с развитием биотехнологии – и последующей коммерциализацией биологических ресурсов – и растущим осознанием биологами-консерваторами растущего уровня вымирания видов. Увеличение числа вымерших видов и видов, находящихся под угрозой исчезновения, представляет собой

глобальный кризис биоразнообразия, который, по мнению некоторых ученых, представляет собой шестой эпизод массового вымирания Земли и первый, вызванный деятельностью человека. Причинно-следственные объяснения различны, но часто включают неравенство в богатстве и бедности, незащищенные права собственности, перенаселение, потерю среды обитания и изменение климата.

География имеет решающее значение для понимания биоразнообразия, включая его глобальное распространение, наши научные знания о нем и его уязвимость. Биоразнообразие затрагивает почти все аспекты человеческой жизни в 21 веке, включая экологическую устойчивость, бедность и социальную справедливость, медицину и здравоохранение, сельское хозяйство и продовольствие, а также экономическую глобализацию. Как следствие, возник широкий спектр критических оценок этой концепции. Выделяются три области, вызывающие озабоченность: социальная справедливость и права собственности; неопределенность в изучении биоразнообразия; и эффективность усилий по защите биоразнообразия.

МОДУЛЬ 5. ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Актуальным направлением в современной экологии является ее прикладная часть, которая занимается рассмотрением проблем охраны окружающей среды, разработкой и внедрением технологических схем и процессов, позволяющих сохранить стабильность экосистем и биосферы в целом. Прикладная экология сегодня тесно связана с биотехнологией, природопользованием и др.

Одна из центральных проблем, изучаемых современной наукой – проблема взаимоотношений социума и природы. На стыке этих взаимоотношений рождается такая прикладная наука, как природопользование. Термин данный введен в 1959 году Ю.Н. Куражковским. Природопользование как наука представляет собой область знаний, разрабатывающая принципы рационального природопользования.

Выделяют три вида природопользования:

- отраслевое (применяется в определенной отрасли хозяйства);
- ресурсное (связано с применением конкретного ресурса);
- территориальное (использование ресурса в границах определенного ареала).

В истории взаимоотношений природы и общества выделяют несколько последовательно сменяющих друг друга кризисов. Первым таким кризисом можно считать кризис консументов, возникший 10-50 тыс. лет назад и связан с уничтожением многих видов млекопитающих в результате охоты. Это заставило перейти человечество к производящему типу хозяйства, появилось земледелие и скотоводство. 1,5-2 тыс. лет назад произошел кризис примитивного земледелия, как результат существующей системы земледелия. 150-200 лет назад начался кризис продуцентов из-за вырубки лесов и истребления растительности на территориях, где формировались очаги земледелия. Около 50 лет назад начался кризис редуцентов, который продолжается до настоящего момента и связан он с утилизацией различных веществ, произведённых человеком. В настоящее время синтезировано более 2000 различных веществ, нетипичных для природной среды. Редуценты не

только не успевают разлагать производимые вещества, но и многие не сформировали соответствующие ферментные системы для разложения новых веществ. Поэтому сейчас особенно остро стоит проблема утилизации отходов, их переработки.

Большая часть биосферы используется как объект природопользования. Все условия биосферы, которые человечество вовлекает в свои производственные процессы, приносящие материальную выгоду, переходят в ранг природных ресурсов.

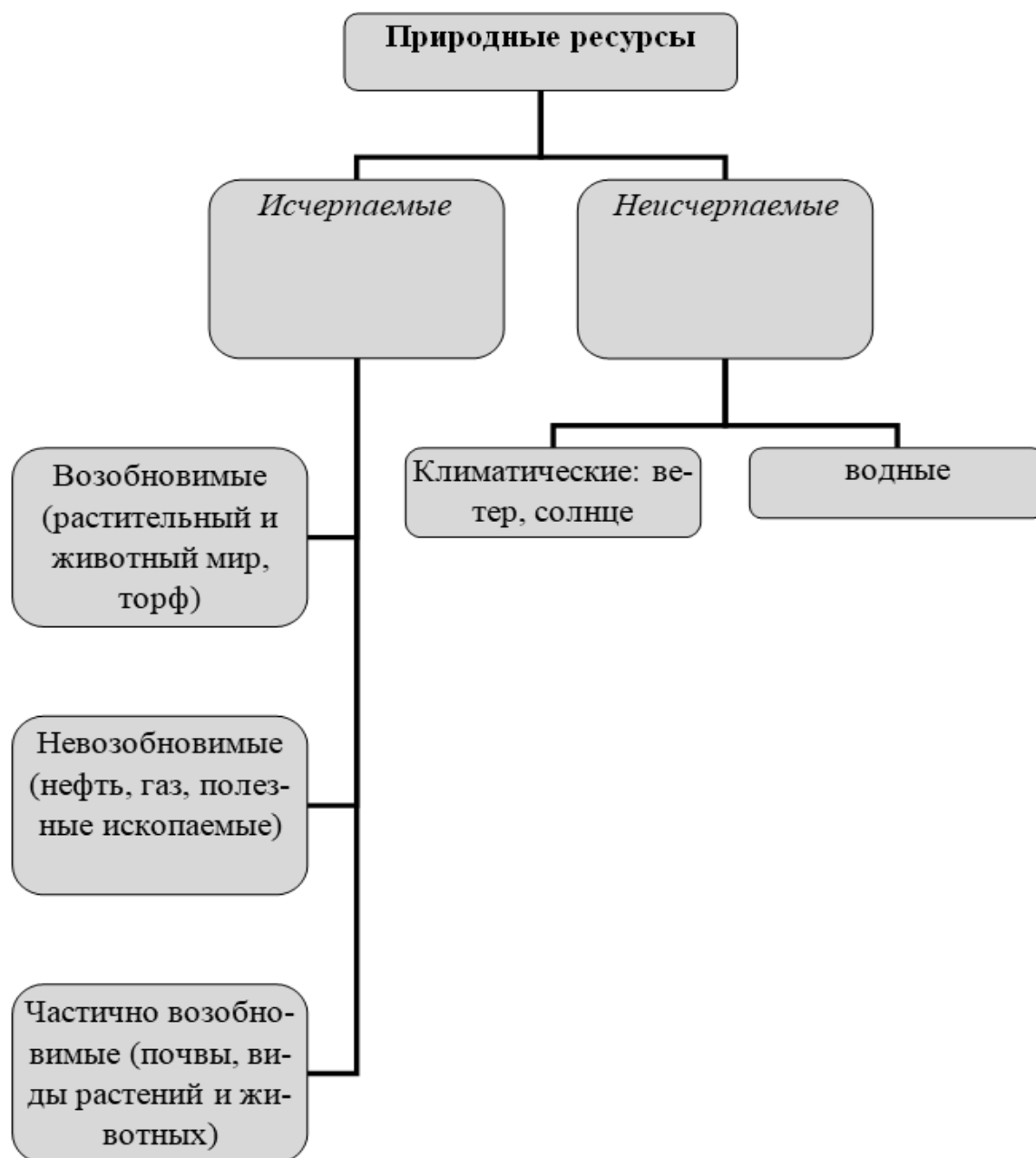


Рис. 17. Типы природных ресурсов по принципу истощаемости

Все существующие природные ресурсы классифицируют на: исчерпаемые и неисчерпаемые. Особое значение приобретают исчерпаемые не возобновляемые природные ресурсы, которые чаще всего относят к энергетически. Данный вид ресурсов является наиболее используемым и существует угроза к исчезновению данного типа ресурсов. Поэтому актуальным и важным направлением в современной науке является разработка энергосберегающих технологий, разработка новых потенциальных источников энергии.

Результатом взаимного влияния природы и социума являются экологический кризис и экологическая катастрофа. Экологический кризис (чрезвычайная экологическая ситуация) представляет собой неблагополучие, вызывающее изменения состояния окружающей среды, ее баланса, негативно влияющие на состояние здоровья людей, но, при этом, возникающие изменения носят обратимый характер. Примером экологического кризиса могут служить стойкие изменения показателей, отражающих состояние воздуха (повышение уровня угарного и углекислого газа), увеличение выбросов твердых бытовых отходов и т.п.

Экологическая катастрофа (экологическое бедствие) отличается необратимостью процессов, возникающих в окружающей среде и носящих негативное влияние на баланс экосистем, здоровье человека. Экологические катастрофы встречаются реже, носят стихийный характер и приводят к необратимым последствиям. Примером служит авария на Чернобыльской АЭС, разливы нефти в океане при аварии на танкерах и т.п.

Все экологические проблемы современности делят по масштабу на: глобальные, региональные и локальные.

Глобальные экологические проблемы охватывают весь Земной шар, все человечество. К проблемам данного уровня относят демографическую. Она связана с перенаселением планеты Земля и неравномерным расселением людей на ее поверхности. В настоящее время численность населения планеты превышает 7 млрд. Основной скачок численности приходится на последние 300 лет. Примерно в 1700 годы численность Земли не превышала 500 млн. человек (рис. 18).

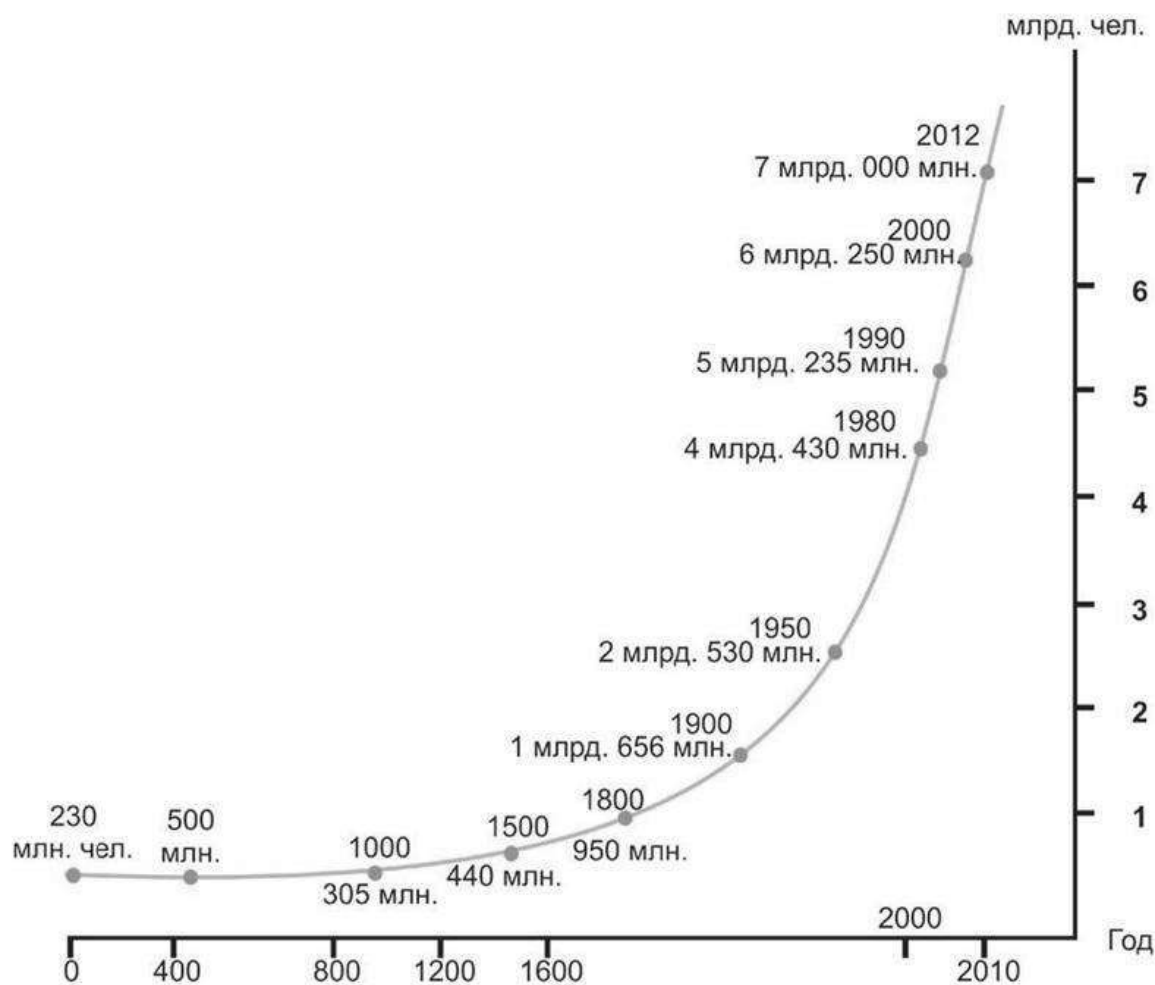


Рис. 18. Динамика численности населения людей на Земле

Темпы прироста населения постоянно растут, как видно из графика. Уже к 2050 году многие экологи прогнозируют численность человечества более 9 млрд.

С учетом экологической емкости планеты (по обобщенным данным разных ученых – около 15 млрд. человек) это составит существенные трудности и проблемы.

Рост численности населения происходит за счет Индии и Китая, хотя есть страны с обратной проблемой, например, Россия.

Демографическая проблема влечет за собой продовольственную проблему, особенно актуальную для стран с перенаселением. Данную проблему решают посредством создания ГМ-продуктов, отличающихся большей продуктивностью; синтезом органических веществ продуктов питания; применением методов селекции растений и животных.

С повышением уровня народонаселения возрастает и доля антропогенного прессинга природные ресурсы. Уничтожаются крупные лесные массивы (тайга, тропические леса), исчезают виды растений и животных, сокращается количество полезных ископаемых, энергетических ресурсов.

По подсчетам разных ученых на планете осталось запасов железа на 90-240 лет, меди – 20-40 лет, золота на 10-17 лет, нефти и газа на 30-40 лет.

За последние 2000 лет с лица Земли исчезло 106 форм млекопитающих, причем 40 из них уничтожены за последние пятьдесят лет. От лесных массивов осталось 2/5 части, причем, треть из них была уничтожена за последние 300 лет.

Глобальной экологической проблемой является также загрязнение окружающей среды. Под загрязнением понимают привнесение в среду новых, нетипичных для данной среды чужеродных компонентов (загрязнителей).

Загрязнители бывают: физическими, химическими и биологическими. Физическое загрязнение связано с волновыми явлениями (свет, звук, излучения). Так световой загрязнитель негативно влияет на режим дня животных, растений, человека. Радиоактивное излучение при высокой концентрации может приводить к прямой гибели организмов.

Химические загрязнители классифицируют по степени опасности:

1. Высокоопасные (ртуть, кадмий, свинец, цинк, бензапирен, фтор, мышьяк)
2. Опасные (бор, кобальт, никель, молибден, хром, сурьма, медь)
3. Малоопасные (барий, ванадий, марганец, вольфрам, стронций)
4. Неопасные (отходы дерево и металлообработки)

Биологическими загрязнителями являются патогенные микроорганизмы (бактерии, вирусы) и продукты жизнедеятельности живых организмов.

Основными источниками загрязнения являются транспорт, промышленность и сельское хозяйство.

Стадницкий и Родионов выделили три типа загрязнения:

1 – ингредиентное (включает чужеродные компоненты для экосистем, например, бытовые стоки, удобрения)

2 – параметрическое (основано на изменении качественных параметров среды, шум, световое загрязнение радиационное)

3 – биоцентрическое (вызывает нарушения в структуре популяций, интродукция, акклиматизация)

4 – стационарно-деструкционное (связано с более масштабными изменениями, которые касаются экосистем, ландшафтов, к этому типу можно отнести вырубку лесов, факторы урбанизации).

Для каждого загрязнителя, особенно химического существуют определенные пределы возможного присутствия в среде, то количество, которое не вызывает негативных изменений в организме животных, растений. Это количество имеют как предельно допустимая концентрация вещества. Справочники с указанием ПДК для разных веществ периодически обновляются, что связано с постоянными исследованиями и выявлением степени вредоносного эффекта разных концентраций веществ.

При этом важно знать малую разовую концентрацию и среднесуточную. Малая разовая концентрация определяется за 30 минут, а среднесуточная – в течение 24 часов. В основе лежит принцип избегания обще отравляющего действия.

МОДУЛЬ 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КЕЙСЫ

Задания олимпиадного уровня по экологии

1. Как изменится численность растительноядных рыб, если в озере, где они обитают произойдет вымирание всех хищных рыб? Проанализируйте динамику популяций на протяжении 2-10 лет.

2. Почему под грецким орехом встречается мало растительности? Объясните данное явление, основываясь на классификацию биотических связей Ю. Одум.

3. Какова длина трофических цепей в природных экологических системах? чем она ограничивается?

4. Как влияют на развитие экологических систем представители самого многочисленного класса животных?

5. С каких компонентов экологических систем начинается процесс сукцессии? Объясните, почему.

6. Составьте трофическую сеть из предложенных организмов и определите последовательность потока энергии с указанием процентного перехода на каждый уровень: божья коровка, тля, вишня, воробей, почвенные грибы, коршун, почвенные бактерии.

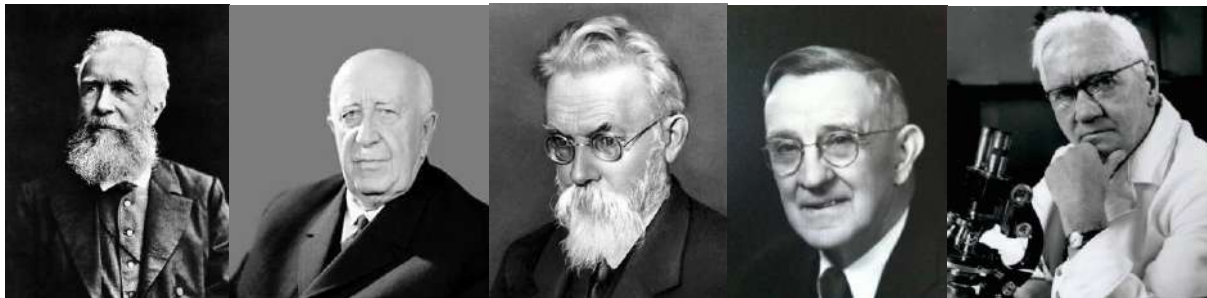
7. Какие изменения экологической системы в широколиственных лесах России могут произойти при интродукции в них растительноядных насекомых из Австралии? Спрогнозируйте возможные варианты событий.

8. Может ли как-то повлиять на баланс экосистемы интродукция новых видов микроорганизмов в почву этих экосистем? Каким образом?

9. Как может повлиять на численность популяции человека в пределах страны резкое снижение мелких насекомоядных птиц на территории данной страны?

10. В чем суть модели Вольтерры-Лотки? Приведите не менее 3 примеров, демонстрирующих данную модель.

11. Назовите фамилии ученых, портреты которых расположены ниже. Каковы достижения этих ученых в области экологии?



А

Б

В

Г

Д

12. При анализе видового разнообразия микроорганизмов, выяснили, что в целинном черноземе видовое богатство гораздо выше, чем в почвах сельскохозяйственного назначения. Объясните данный факт. Как его можно использовать в производственной и природоохранной деятельности человека.

13. Как связана высокая плодовитость лососевых рыб со структурой их популяции? Ответ обоснуйте.

14. С чем связан рост численности популяции человека в последние 300 лет? Каковы возможные последствия данного процесса?

15. Как Вы понимаете термин коэволюция?

16. Дайте определение устойчивого развития общества.

17. Как соотносится устойчивое развитие общества и коэволюция?

18. В какое время был принят и что включает в себя Указ Президента Российской Федерации «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию»?

19. На Ваш взгляд, можно ли назвать концепцию устойчивого развития общества первым шагом человечества на пути к ноосфере?

20. Что такое ноосфера?

21. Перечислите основные составляющие международного и государственного контроля за качеством окружающей среды.

22. Дайте определение и перечислите основные направления малоотходных и безотходных технологий.

23. Возможно ли осуществление малоотходных и безотходных технологий в современной экономической ситуации? Укажите международную нормативную базу.

24. Охарактеризуйте триаду «биосфера – техносфера – ноосфера».

25. Обоснуйте, почему подписанный в 1997 году Киотский протокол и принятое в 2015 году Парижское соглашение позволяют решить проблемы стран мирового сообщества, связанные с изменением климата нашей планеты.

26. Какие подходы в решении задачи о «необходимости восстановить нарушенный баланс между ноосферой и техносферой», поставленной В.В. Путиным на семидесятой Генеральной Ассамблее Организации Объединённых Наций Вы можете предложить?

Экологические кейсы

Кейс 1.

Информация.

В 1920 г. американские ученые Ганглер и Аллар, занимаясь селекцией табака, обратили внимание на зависимость цветения растений от длины светового дня. По фотопериодической реакции они выделили 4 типа растений:

1 – растения короткого дня. Например, табак, гречиха, конопля требуют длину светового дня до 12 часов.

2 – растения длинного дня. Например, картофель, пшеница наилучшим образом чувствуют себя при длине светового дня более 12 часов.

3 – растения промежуточного типа, которые цветут при узкой продолжительности дня. Это тропические и субтропические растения, дурнишник, который цветет с 9.30 до 9.45.

4 – нейтральные растения цветут при любой длине дня и имеют широкие пределы расселения. Примером служат томаты, одуванчики, горчица.

На фотопериодическую реакцию накладывают отпечаток географическая широта местности, и она не абсолютна. Фотопериодическая реакция – адаптация к широтности. Так, при низких температурах длиннодневные растения хорошо растут при короткой длине дня.

У животных за фотопериодизм отвечает гипоталамус, который выделяет нейрогормоны, стимулирующие работу гипофиза. Гипофиз отвечает за работу так называемых «биологических часов» (линька, сезонные миграции, кладка яиц).

Задания.

1. Начертите график зависимости цветения табака, картофеля, дурнишника и горчицы от длины светового дня и дайте ему характеристику.

2. Какие адаптивные реакции встречаются у растений и животных тундры относительно фактора инсоляции?

3. Приведите примеры адаптаций растений к длине светового дня в умеренных широтах? Спрогнозируйте эволюционные изменения этих организмов при переселении в условия пониженной и повышенной инсоляции.

Кейс 2.

Информация.

В середине XVIII века одной из популярнейших была теория самозарождения жизни. Согласно этой теории жизнь могла многократно самозарождаться из неорганической материи. Приверженцами этой теории были многие мыслители, философы древности, в том числе и Аристотель. Доказательством этой теории были факты личинок мух из гнилого мяса, мышей из груды грязных вещей и т.п.

Ученый-экспериментатор Нидхэм во второй половине XVIII века представил Королевскому обществу свой опыт, который экспериментально подтверждал возможность самозарождения жизни. Он взял прямо с огня баранью подливку, слил ее в бутылку и крепко закрыл пробкой. После этого он еще раз прокипятил бутылку в горячей воде, чтобы совершенно убить микробы, которые могли быть в бутылке или пробке, и через несколько дней под микроскопом обнаружил микробы в содержимом бутылки! Из этого он сделал вывод, что микробы зародились из самой подливки, и что жизнь может возникать самостоятельно из мертвой материи.

Задания.

1. Какие причины могли привести Нидхэма к ложным выводам согласно теории самозарождения жизни?
2. Предложите свои опыты, которые докажут невозможность самозарождения жизни.
3. Какие теории зарождения жизни еще существуют, какие из них наиболее состоятельны по вашему мнению? Почему теория креационизма является антинаучной?

Кейс 3.

Информация.

Одним из важнейших абиотических факторов среды является температура. Источником тепла на Земле выступают: солнечная энергия, органические остатки, окружающая среда обитания. Относительно данного фактора организмы приобре-

ли ряд приспособлений и эволюционно сформировали три экологические группы:

1 – криофилы (микротермы) являются морозолюбивыми. Оптимальная температура развития для этих организмов колеблется в пределах от -10 до -8°C . Это обитатели Арктики и Антарктики, высокогорий. Чаще всего к ним относят бактериальных организмов, грибов, лишайников, мхов и членистоногих. Возможность существования в таких условиях определяется способностью таких организмов трансформации форм воды внутри клеток.

2 – термофилы (мегатермы) обитатели аридных мест, где количество выпавших осадков ниже уровня испарения влаги. Температура субстрата в таких регионах достигает отметки $+50^{\circ}\text{C}$. К организмам данной группы относят большую часть цианобактерий, раковинных амёб, многих ракообразных, рыб и брюхоногих моллюсков.

3 – мезотермы – это обитатели мест со средними значениями температур, представители умеренных широт. В эту группу относят большую часть живых организмов планеты.

Для группы мезотермов характерно явление гетеротермии, связанное с сезонами года. В таких условиях многие организмы адаптировались, например, впадая в спячку, совершая сезонную миграцию и т.д.

Ответом на температурные изменения является правило Бергмана, согласно которому, при движении с севера на юг к экватору наблюдается уменьшение размеров тела животных, что объясняется повышением уровня метаболизма.

В 1735 году Реомюр установил, что сумма среднесуточных температур связана со временем созревания зерновых и плодовых культур, поэтому одни и те же виды на юге быстрее созревают. Он ввел понятие эффективной температуры, которая представляет собой сумму разностей среднесуточных температур, физиологических особенностей вида и определенной фазы развития. В качестве физиологических особенностей в данном случае выступает температурный интервал, при котором прекращаются процессы развития организм, например, у сосны обыкновенной около $+7^{\circ}\text{C}$, у тыквы около $+14^{\circ}\text{C}$.

Задания.

1. Согласно закону толерантности Шелфорда изобразите графики зависимости ягеля, осцилляции и сосны обыкновенной от температуры. Какие адаптации данные организмы имеют к преобладающему в их местах обитания температурному режиму?
2. Приведите не менее 4 наглядных примеров, демонстрирующих правило Бергмана. Есть у данного правила исключения?
3. Как температурный режим может влиять на урожайность сельскохозяйственных культур? Какие периоды жизненного цикла таких культур наиболее уязвимы к действию температурного фактора и почему?

Кейс 4.

Информация.

Алексей Полотебнов и Вячеслав Манассеин – врачи, которые занимались изучением плесени. В середине XVII в. Манассеин установил, что плесень каким-то образом не позволяет развиваться микроорганизмам. Полотебнов тоже пришел к такому выводу: по его наблюдениям, жидкость, в которой образовывалась плесень, оставалась чистой, прозрачной, что свидетельствовало только об одном — бактерий в ней нет.

Полотебнов продолжил свое исследование уже в новом русле, используя плесень в качестве бактерицидного средства. Он создал эмульсию с плесневым грибом и спрыскивал ею язвы больных кожными заболеваниями, и они заживали раньше. Однако, открытие осталось без внимания, и целых полвека никто из ученых не предпринимал новых попыток изучения плесневого грибка. Исследования Полотебнова и их результаты «воскресли» уже в начале XX века благодаря счастливой случайности и микробиологу, который не любил убирать на своем столе – шотландец Александр Флеминг.

Однажды ученый оставил колонию стафилококков без внимания на несколько дней. А когда решил их убрать, то обнаружил, что препараты покрылись плесенью. Флеминг изучил материал под микроскопом и обнаружил только плесень и капли прозрачной жидкости. Эта жидкость являлась антибиотиком, который Флемминг назвал пенициллин.

В 1929 году Флеминг рассказал о найденном лекарстве в Лондонском медицинском научно-исследовательском клубе. Его сообщение осталось без внимания – так же, как когда-то статья Полотебнова. Однако шотландец оказался более упрямым, чем русский врач. На всех конференциях, выступлениях, собраниях врачей Флеминг так или иначе упоминал открытое им средство для борьбы с бактериями.

Смотрите фильм «Пенициллиновая гонка»:

В настоящее время спектр применяемых антибиотиков очень широк, многие синтезируются искусственным путем.

Новость от 28 апреля 2016 г в Вестнике здоровья рассказывает о том, что открыт новый мощный антибиотик, который может помочь победить бактерии с лекарственной устойчивостью. Разработан экспертами из Университета Линкольна в лаборатории. Специалисты создали две версии теиксобактина – химического вещества, которое может уничтожить все бактерии, от золотистого стафилококка до туберкулеза. Это означает, что данные бактерии никогда не смогут стать устойчивыми к этому лекарственному препарату.

При отсутствии эффективного антибиотика нового типа поражающие людей бактерии становится все труднее и труднее уничтожать с каждым днем, и специалисты предупреждают, что вскоре даже относительно безобидные инфекции и простые операции могут стать смертельными.

Теиксобактин производится естественным путем группой бактерий, обитающих в почве, и был обнаружен в прошлом году международной группой ученых, позволив вылечить мышей с инфекциями, которые должны были закончиться смертельным исходом. Тем не менее, для того, чтобы сделать данное соединение пригодным для широкого использования, медикам пришлось искать способ создать его в лаборатории. Ожидается, что новый антибиотик будет доступен для применения в 2022 году.

Задания.

1. Возможно ли лечение вирусных заболеваний с применением антибиотиков? Ответ обоснуйте.

2. Чем отличается бактерицидное и бактериостатическое действие антибиотиков?

3. Возможно ли прекращение разработки и изучения новых антибиотиков? Чем отличаются первые антибиотики от современных?

4. Почему иногда антибиотики не помогают в борьбе с бактериальными заболеваниями? Приведите не менее трех вариантов.

Кейс 5.

Информация.

Чабрец меловой (*Thymus cretaceus*) – вид лекарственных растений, занесенный в Красную Книгу Липецкой области как исчезающий. Вид растет только на известковых и других каменистых отложениях по берегам рек, зачастую заселяя территории в составе сообществ пионерного типа, являющимися переходными стадиями сукцессионного процесса (меловые отложения, бугристые песчаные и каменистые степи) или антропогенно нарушенных сообществ (обочины дорог, карьеры, пастбища). Являясь типичными гелиофилами, тимьяны не выносят затенения и не выдерживают конкуренции в ходе восстановления облика степных ценозов.

На территории Липецкой области описаны популяции чабреца в Елецком и Задонском районах. Елецкий район: на каменистых склонах урочища Воронов камень. Верхняя часть скал, по верхней кромке. Отмечены небольшие куртины (около 10) на небольших площадях около 0,3 м². Хорошо развитая популяция растений. Измалковский район: известковые склоны долины реки Сосна в окрестностях д. Лобановка. Обнаружены три небольшие куртины вида, произрастающие на известковых выходах. Хотя популяция и не многочисленная, небольшие заросли площадью 0,2 м². Растения находятся в удовлетворительном состоянии.

Задания.

1. Объясните, почему чабрец меловой встречается на территории Липецкой области в Измалковском и Елецком районе. Какие условия и факторы способствуют сохранению данного вида в этих районах?

2. Спрогнозируйте развитие обнаруженных популяций чабреца при по-

стоянстве факторов среды, при возможных изменениях факторов среды.

3. Возможно ли внесение чабреца мелового в экосистему хвойного леса, дубравы? Объясните почему?

4. Какие факторы и условия необходимо учитывать при интродукции любого вида в новую экосистему?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенова О.В. Сборник практических заданий по экологии: учебно-методическое пособие / О.В. Аксенова, А.С. Гузенкова. – Москва: Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2013. – 31 с.
2. Белоусова О.А. Сборник задач по промышленной экологии / О.А. Белоусова, Л.В. Струкова. – Екатеринбург: ГОУВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 28 с.
3. Вторушина А.Н. Практикум по экологии: учебное пособие / А.Н. Вторушина, М.Э. Гусельников, А.И. Копытова и др. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 187 с.
4. Леонтьева И.А. Сборник задач по общей экологии: учебно-методическое пособие для студентов педагогических вузов биологических специальностей / И.А. Леонтьева. – Елабуга: Изд-во ЕГПУ, 2009. – 46 с.
5. Нетрусов А.И. Экология микроорганизмов / А.И. Нетрусов, Е.А. Бонч-Осмоловская, В.М. Горленко и др. – М.: Академия, 2004. – 272 с.
6. Саенко, О.Е. Естествознание: учебное пособие / О.Е. Саенко, Т.П. Трушина, О.В. Арутюнян. – М.: КноРус, 2014. – 364 с.
7. Свистова И.Д. Биодинамика микробного сообщества почвы в антропогенных экосистемах лесостепи: дис. ... д-ра биол. наук. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2005. – 479 с.
8. Сенчакова Т.Ю. Типы взаимоотношений почвенных микроскопических грибов с компонентами микробного сообщества и с растениями: монография / Т.Ю. Сенчакова, И.Д. Свистова. – Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2011. – 102 с.
9. Маринченко А.В. Экология: учебник / А.В. Маринченко. – 8-е изд., стер. – Москва: Дашков и К°, 2020. – 304 с.
10. Ахромушкина И.М. Задания для химических олимпиад: учебно-методическое пособие : И.М. Ахромушкина, Т.Н. Валуева. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2019. – 58 с.

11. Маглыш С.С. Биология: полный курс подготовки к тестированию и экзамену / С.С. Маглыш. – Минск: Тетралит, 2018. – 384 с.

12. Жукова А.Г. Молекулярная биология: учебник с упражнениями и задачами / А.Г. Жукова, Н.В. Кизиченко, Л.Г. Горохова. – Москва; Берли: Директ-Медиа, 2018. – 269 с.

13. Тулякова О.В. Биология с основами экологии : учебное пособие / О.В. Тулякова. – Изд. 2-е, стер. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2019. – 690 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Модуль 1. Экология как наука. Аутэкология	5
Модуль 2. Демэкология	36
Модуль 3. Синэкология (Биоценология)	44
Модуль 4. Глобальная экология	60
Модуль 5. Прикладная экология	72
Модуль 6. Практические задания и экологические кейсы	78
Список литературы	88

Учебное издание

Татьяна Юрьевна Петрищева,
Ирина Николаевна Усачева

**ОЛИМПИАДНАЯ ПОДГОТОВКА
ПО ОСНОВНЫМ РАЗДЕЛАМ
ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ
ЭКОЛОГИИ**

Учебное пособие

Технический редактор – О. А. Ядыкина
Техническое исполнение – В. М. Гришин
Книга печатается в авторской редакции

Лицензия на издательскую деятельность
ИД № 06146. Дата выдачи 26.10.01.
Формат 60 x 84 /16. Гарнитура Times. Печать трафаретная.
Печ.л. 5,8 Уч.-изд.л. 5,5
Тираж 300 экз. Заказ 21

Отпечатано с готового оригинал-макета на участке оперативной полиграфии
Елецкого государственного университета им. И. А. Бунина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»
399770, г. Елец, ул. Коммунаров, 28,1