

# ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

## Учебное пособие

«Человек совершил огромную ошибку, когда возомнил, что может отделить себя от природы и не считаться с её законами».

В.И. Вернадский

«Вода – большой дефицит, чем энергия. У нас есть альтернативные источники энергии, но альтернативы воды нет»

Ю. Одум

«Природа не только более сложна, чем мы о ней думаем, она гораздо сложнее, чем мы можем себе представить».

Т. Миллер

«Никакие материальные блага не способны заменить здоровой среды жизни»

Н.Ф. Реймерс

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Ивановский государственный химико-технологический университет

## **ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ**

Учебное пособие

Под редакцией д.т.н., проф. А.В. Невского

ИВАНОВО 2013

УДК: 574(075.2)

Авторы: А.П. Куприяновская, И.А. Кузьмина, Т.А. Чеснокова, Н.В. Тукумова,  
А.В. Невский

Основы экологии: учебное пособие / А.П. Куприяновская [и др.], под ред. А.В. Невского; Иван. гос. химико-технол. ун-т. Иваново, 2013, -162 с.  
ISBN 978-5-9616-0457-3

В учебном пособии проведен анализ и систематизирован накопленный к настоящему времени материал по основам экологии - области знаний, науки и учебной дисциплины. Рассмотрен предмет экологии, как совокупности связей между живыми организмами и окружающей средой, проанализированы этапы развития, сформулированы задачи и основные законы экологии. Дана характеристика фундаментального понятия экологии - биосферы и ее эволюции. Особое внимание уделено рассмотрению вопросов, связанных с изучением экологических систем и их структуры, экологии популяций, круговорота веществ в биосфере. Разработаны задания для решения задач, приведены примеры их решения, составлены контрольные вопросы для подготовки. В приложении приведены краткие биографические сведения о знаменитых ученых, в круг научных интересов которых входила экология.

Предназначено для изучения раздела «Основы экологии» дисциплины «Экология» студентами очной и заочной формы технических университетов.

Допущено учебно-методическим объединением по образованию в области химической технологии и биотехнологии в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению «Химическая технология».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета

#### Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ Макаров Владимир Михайлович, заведующий кафедрой «Охрана труда и природы» ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет»;

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ Бельчинская Лариса Ивановна, заведующая кафедрой химии ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»

ISBN 978-5-9616-0457-3

© Ивановский государственный  
химико-технологический  
университет, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДМЕТ ЭКОЛОГИЯ</b> .....	5
Этапы развития. Задачи экологии.....	5
<b>ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ</b> .....	8
Биосфера и ее эволюция.....	8
- <i>Основные функции биосферы</i> .....	8
- <i>Учение В.И. Вернадского о биосфере</i> .....	9
- <i>Этапы развития биосферы</i> .....	10
- <i>Понятие о биоразнообразии</i> .....	12
Закон константности живого вещества планеты В.И. Вернадского. Гипотеза Геи.....	13
Среда обитания. Экологические факторы и их классификация.....	15
- <i>Свет как экологический фактор</i> .....	16
- <i>Температура как экологический фактор</i> .....	17
- <i>Вода как экологический фактор</i> .....	17
- <i>Биогенные вещества как экологические факторы</i> .....	18
- <i>Рельеф как экологический фактор</i> .....	19
- <i>Эдафические (почвенно-грунтовые) экологические факторы</i> .....	19
- <i>Биологические ритмы</i> .....	19
Экологические системы и их структура.....	20
- <i>Понятие «биогеоценоз», «биоценоз», «биотоп» и «экосистема»</i> ....	20
- <i>Классификация природных экосистем (биомов)</i> .....	22
- <i>Взаимосвязь наземных и водных экосистем</i> .....	23
- <i>Иерархическая структура экосистемы</i> .....	24
- <i>Принципы организации экосистем</i> .....	28
Законы экологического минимума и экологической толерантности... Понятие об экологической нише.....	29
Адаптации живых организмов к экологическим факторам.....	31
Взаимодействие видов в природе.....	33
Гомеостаз и сукцессия экологической системы.....	34
Экологические нарушения.....	36
Энергия в экологических системах и их продуктивность.....	39
- <i>Синтез первичного органического вещества</i> .....	39
- <i>Трофической цепи и сети</i> .....	42
- <i>Законы термодинамики и экосистемы. Понятие об эксергии</i> .....	45
- <i>Солнце как источник энергии. Характеристика энергии</i> .....	47
- <i>Экологические пирамиды. Закон Линдемана</i> .....	50
- <i>Энергетика и продуктивность экосистемы</i> .....	53
- <i>Потоки энергии в системах консументов и редуцентов</i> .....	55
- <i>Стратегия развития экосистем</i> .....	58
- <i>Типы экосистем по энергетической классификации</i> .....	59
Концентрирование токсичных соединений при движении по	

трофическим цепям.....	61
<b>ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ.....</b>	<b>63</b>
- <i>Динамические показатели популяции: рождаемость, смертность, скорость роста популяций.....</i>	66
- <i>Продолжительность жизни и выживаемость.....</i>	70
- <i>Кривые выживания.....</i>	71
- <i>Экологическая стратегия выживания. Сравнительная характеристика r- и K- стратегий.....</i>	72
- <i>Регуляция численности (плотности) популяции.....</i>	73
<b>КРУГОВОРОТЫ ВЕЩЕСТВ В БИОСФЕРЕ.....</b>	<b>75</b>
- <i>Сущность биогенной миграции химических элементов.....</i>	77
Круговороты биогенных элементов (углерода, кислорода, воды, азота, фосфора, серы).....	79
Обратная связь в экосистемах. Понятие стресса.....	93
<b>ЗАКОНЫ ЭКОЛОГИИ.....</b>	<b>95</b>
Закон исторической необратимости.....	95
Закон генетического разнообразия.....	95
Закон корреляции.....	96
Закон максимизации энергии.....	96
Закон максимума биогенной энергии.....	96
Закон однонаправленности потока энергии.....	96
Закон уменьшения энергоотдачи в природопользовании.....	97
Закон оптимальности.....	97
Закон ограниченности естественных ресурсов.....	97
Закон равнозначности условий жизни.....	97
Закон совокупного действия естественных факторов.....	97
Закон экологической корреляции.....	98
Законы экологии Барри Коммонера.....	98
<b>ЗАДАЧИ.....</b>	<b>99</b>
1. Закон толерантности Шелфорда.....	99
2. Закон Линдемана и экологические пирамиды.....	112
3. Концентрирование токсичных соединений при движении по трофической цепи.....	120
4. Экологические системы, продуктивность и сукцессии.....	130
5. Динамика популяций.....	135
6. Круговороты веществ.....	137
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....</b>	<b>140</b>
Примеры решения задач.....	140
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....</b>	<b>149</b>
Ученые, в круг научных интересов которых входила ЭКОЛОГИЯ....	149
<b>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....</b>	<b>156</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>159</b>

## ПРЕДМЕТ ЭКОЛОГИЯ

### Этапы развития. Задачи экологии

**Экология** - это наука о взаимоотношениях между живыми организмами и окружающей средой. Термин впервые был предложен немецким естествоиспытателем, биологом-эволюционистом - Эрнстом Геккелем в 1869г. [1]. Ранее, в 1866 г. Э. Геккель писал: «...сумма знаний, относящихся к экономике природы: изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, как и неорганической, и прежде всего, дружественных или враждебных отношений с теми животными и растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт. Одним словом, экология – это изучение всех сложных взаимоотношений, которые Дарвин назвал условиями, порождающими борьбу за существование».

Практически адекватным определению Геккеля является современное толкование термина и соответствующей науки: **экология** - это область знания, изучающая взаимоотношения организмов и их сообществ с окружающей средой (в том числе и с другими организмами и сообществами) [2]. Учитывая парадигму **системного подхода** в современном естествознании, **экологию** можно определить как науку о структуре и функционировании экологических систем различного ранга.

Экология как наука основана на разных отраслях биологии (физиологии, генетики, биофизики) и связана с небиологическими науками (физикой, химией, геологией, математикой), на методы и терминологию которых опираются экологические исследования.

В истории развития экологии можно выделить три основных этапа.

Первый этап – зарождение и становление экологии как науки (до 60-х г.г. XIX в.). На этом этапе накапливались данные о взаимосвязи живых организмов со средой их обитания, делались первые научные обобщения.

Второй этап – оформление экологии в самостоятельную отрасль знаний (после 60-х г.г. XIX в. до 50-х гг. XX в.). Начало этапа ознаменовалось выходом работ русских ученых Карла Францевича Рулье, Николая Алексеевича Северцова, Василия Васильевича Докучаева, впервые обосновавших ряд принципов и понятий экологии, которые не утратили своего значения и до настоящего времени. В конце 70-х гг. XIX в. немецкий гидробиолог Карл Мебиус вводит важнейшее понятие о биоценозе как о закономерном сочетании организмов в определенных условиях среды. Э. Геккель вводит понятие «экология» (как было отмечено выше). Крупнейший русский ученый Владимир Иванович Вернадский создает фундаментальное учение о биосфере. Английский ботаник и эколог Артур Тенсли (1935 г.) выдвинул понятие об экосистеме (экологической системе), а несколько позже Владимир Николаевич Сукачев (1940 г.) обосновал близкое этому представление о биогеоценозе.

Во второй половине XX в. в связи с прогрессирующим загрязнением окружающей среды и резким усилением воздействия человека на природу экология приобретает особое значение. Начинается *третий этап* (50-е гг. XX в. – до настоящего времени) – превращение экологии в комплексную науку, включающую в себя науки об охране природной и окружающей человека среды.

В настоящее время существует достаточно широкий ряд областей (разделов) экологии. Основными являются следующие.

**Экология иерархии живого** - изучает живые организмы в соответствии с иерархическими группами: эндоэкология (молекулярная экология, экология клеток и тканей, экология органов и их систем), экзоэкология (экология особи, экология популяции, экология сообществ).

**Экология систематических групп** - рассматривает взаимосвязи организмов с окружающей средой в соответствии с крупнейшими систематическими категориями: экология амфибий, экология птиц, экология насекомых.

**Факториальная экология** - исследует влияние на организмы факторов среды: физическая экология, химическая экология.

**Экология среды жизни** - рассматривает взаимоотношения организмов и их сообществ со средой по основным сферам жизни и по ландшафтным подразделениям: аэроэкология, гидроэкология, литоэкология, экология тундры, экология пустынь.

**Концептуальная и экспериментальная экология** - изучает общие экологические закономерности: аналитическая экология, теоретическая экология, динамическая экология.

**Хроноэкология** - изучает экологические процессы во времени: эволюционная экология, археэкология, палеоэкология.

**Экология человека и социальная экология** - изучает взаимоотношения человека с окружающей средой: экология индивида, экология репродуктивных групп, популяционная экология человека, экология личности, экология семьи, экология социальных групп.

**Экология поселений** - изучает условия существования людей в населенных пунктах различных типов и размеров: урбоэкология, экология строительства, архитектурная экология.

**Экология культуры** - изучает жизнь человека в социально-культурной среде: экология культуры, экология духа.

**Прикладная экология** - изучает вопросы антропогенного преобразования экосистем и создание новых, предотвращения их разрушения, разработки принципов рационального природопользования: космическая экология, инженерная экология, промысловая экология, медицинская экология, сельскохозяйственная экология.

**Объектом** изучения в экологии служит экосистема - биологическая система, состоящая из сообщества живых организмов (биоценоз), среды их

обитания (биотоп), системы связей, осуществляющей обмен веществом и энергией между ними. **Предметом** экологии является совокупность связей между живыми организмами и окружающей средой.

Основные задачи экологии как науки:

- 1) исследование закономерностей организации жизни, в том числе в связи с антропогенными воздействиями на природные системы и биосферу в целом;
- 2) создание научной основы рациональной эксплуатации биологических ресурсов, прогнозирование изменений природы под влиянием человека и управления процессами, протекающими в биосфере, сохранение среды обитания человека;
- 3) разработка общей теории устойчивости и усиления компенсаторного эффекта экологических систем;
- 4) изучение законов регуляции численности популяций;
- 5) сохранение, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов;
- 6) сохранение среды обитания человека;
- 7) сохранение заповедных участков биосферы;
- 8) разработка систем мероприятий по экологической индикации загрязнения природной среды;
- 9) моделирование состояния экосистем и глобальных биосферных процессов;
- 10) разработка системы организационных, технических, экономических мероприятий по защите ОС.

Задачи экологии применительно к деятельности инженера промышленного производства состоят в следующем:

- 1) оптимизация технологических, инженерных и проектно-конструкторских решений, исходящих из минимального ущерба окружающей среде и здоровью человека;
- 2) прогнозирование и оценка возможных отрицательных последствий действующих, реконструируемых и проектируемых предприятий на окружающую среду и здоровье человека;
- 3) выявление и корректировка конкретных технологических процессов, наносящих ущерб окружающей среде и угрожающих здоровью человека.;
- 4) анализ и оценка условий и причин возникновения экологической опасности, уровня ее воздействия, предотвращения ущерба от возможной ее реализации в условиях чрезвычайных экологических ситуаций;
- 5) применение экозащитной техники и технологий с целью снижения отрицательного антропогенного воздействия на окружающую среду.



# ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

## Биосфера и ее эволюция

Возраст нашей галактики составляет примерно 10 – 12 млрд лет, а возраст Земли – от 6,5 – 7 млрд лет. Земля возникла при конденсации космического вещества из первичного протопланетного газового облака. После его уплотнения и возникновения земной коры, а также появления и преобразования атмосферы начала формироваться и биосфера Земли.

**Биосфера** (греч. bios – жизнь, sphaira – шар, сфера) является одним из фундаментальных понятий экологии.

Биосфера - это структурная оболочка земли, созданная самой жизнью, преобразованная живыми организмами и связанная с их жизнедеятельностью. Впервые термин «биосфера» был введен в науку геологом из Австрии Э. Зюссом в 1875 г. Однако заслуга создания целостного учения о биосфере принадлежит выдающемуся русскому ученому, естествоиспытателю, основоположнику геохимии и биохимии Вернадскому Владимиру Ивановичу (1868-1945гг.). Он развил представление о живом органическом веществе как носителе свободной энергии в биосфере и как огромной геологической силе, преобразующей среду обитания.

Биосфера формировалась миллиарды лет в результате различных эволюционных процессов. Она имеет определенные границы. Толщина биосферы доходит до 40-50 км. Живая материя (вещество) распространяется в атмосфере в ее нижней части тропосферы (до озонового слоя) т.е. до (8-10 км) у полюсов и (16 – 18) км у экватора. В литосфере живые организмы встречаются в верхней ее части – вглубь до 2-3 км, но микроорганизмы обнаружены в буровых скважинах на глубинах до 4 км, а микробиологические остатки даже до 7 км. В гидросфере жизнь достигает их дна - глубины 11 км. В гидротермах, расположенных ниже дна океана на 1 – 2 км, при давлении 300 атмосфер и температуре 250°C (вода при этих условиях не кипит), были найдены также живые организмы. Пределы жизни организмов ограничены точками превращения воды в пар и сворачиванием белков.

В целом активный слой жизни в биосфере составляет 12 -17 км. Около 99 % вещества, находящегося в нижних слоях атмосферы, трансформировано живыми организмами. Для реализации этого необходимо, чтобы живые организмы обладали значительной массой. Биомасса живых организмов Земли оценивается величиной в  $2,4 \cdot 10^{12}$  тонн, что составляет 0,25 % от всего вещества биосферы.

### *Основные функции биосферы*

**1. Энергетическая функция** выполняется за счет аккумуляции солнечной энергии растениями в процессе фотосинтеза. Часть этой энергии

перераспределяется между компонентами биосферы, часть накапливается в отмершей органике (образуются биогенные вещества торф, уголь, нефть), часть рассеивается.

**2. Газовая функция** обеспечивает газовый состав атмосферы в процессах миграции и превращения газов.

**3. Концентрационная функция** заключается в избирательном извлечении и накоплении живыми организмами биогенных элементов из окружающей среды (ОС). Живые организмы могут служить для человека как источником полезных (витамины, аминокислоты), так и опасных для здоровья веществ (тяжелые металлы, ядохимикаты).

**4. Деструктивная функция** обуславливает процессы, связанные с разложением мертвой органики.

**5. Средообразующая функция** состоит в трансформации химических параметров среды в условия, благоприятные для существования организмов.

### ***Учение В.И. Вернадского о биосфере***

Основы учения о биосфере, изложенные В.И.Вернадским в 1926 г. в книге «Биосфера» и разрабатывавшиеся им до конца жизни, сохраняют свое значение в современной науке. По представлениям В.И. Вернадского, биосфера включает семь различных типов веществ, геологически связанных между собой [3]:

- живое вещество (т.е. все живые организмы, населяющие нашу планету);
- косное (вещество, в образовании которого живые организмы не участвуют, например магматические и метаморфические горные породы);
- биокосное – продукты взаимодействия живых организмов и косного вещества (илы, почва, кора выветривания и т.д.);
- биогенное вещество – к нему относятся геологические породы, созданные благодаря жизнедеятельности организмов: каменный уголь, нефть, уголь, известняки, мел, кислород атмосферы и др.;
- радиоактивное вещество – атомы радиоактивных элементов ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{14}\text{C}$  и др.);
- вещество космического происхождения (метеориты, космическая пыль и др.);
- рассеянные атомы – отдельные атомы элементов, встречающиеся в природе в рассеянном состоянии (в таком состоянии часто существуют атомы микро- и ультра- микроэлементов: Mn, Co, Zn, Cu, Au, Hg и т.д.).

**Сущность учения В.И. Вернадского заключается в признании исключительной роли «живого вещества», преобразующего облик планеты. Именно живые организмы улавливают и преобразуют лучистую энергию Солнца и создают бесконечное разнообразие нашего мира.**

Вторым важнейшим аспектом учения Вернадского является разработанное им **представление об организованности биосферы**, которая

проявляется в согласованном взаимодействии живого и неживого, взаимной приспособляемости организма и среды.

В своем учении о биосфере В.И.Вернадский также дал представление о ее возникновении и развитии.

### ***Этапы развития биосферы***

**I этап:** возникновение простейших органических веществ из неорганических. Эти процессы происходили в результате воздействия ионизирующего и ультрафиолетового излучения, вулканической, грозовой и др. деятельности.

**II этап:** 3 - 3,4 млрд лет назад (*архейская и протерозойская эры*) начался процесс появления организмов и осуществился процесс самокопирования, т.е. создания генетического кода. Здесь идет обмен не только веществом и энергией, но и генетической информацией. Жизнь возникла первоначально в океане, там появились бактерии и первые автотрофные организмы, способные к фотосинтезу. Жизнь стала геологическим фактором. Живые организмы изменяли форму, состав земной коры, атмосферу и образовали живую оболочку Земли. Содержание кислорода в атмосфере достигло 1% от современного содержания O<sub>2</sub>.

*В палеозойскую эру* (около 700 - 600 млн лет назад) образовался озоновый экран в атмосфере (содержание кислорода достигло 3 - 10% от современного). Появились многоклеточные, сосудистые растения и насекомые, которые «вышли на сушу».

*Мезозойская эра.* Она имеет три периода: *триас, юрский и меловой.* Содержание кислорода в атмосфере увеличивается, появились млекопитающие и покрытосеменных растений. Идет эволюция растительного и животного мира.

*Кайнозойская эра* имеет два периода: *третичный и четвертичный.* В третичный период содержание кислорода в атмосфере близко к современному значению. Появляются злаковые, идет увеличение видового разнообразия млекопитающих, появляются приматы по линии антропоидов и человекообразные.

**III этап:** антропоген т.е. появление человека (примерно 1,5 - 2 млн лет назад). *Четвертичный период кайнозойской эры* - продолжается и сейчас. Ученые предполагают, что возникновение людей современного физического типа осуществилось 50-40 тыс. лет назад. В настоящее время наиболее вероятной гипотезой является гипотеза происхождения современного человека из Африки. Далее он распространился на все континенты. В результате приспособления человека к различным экологическим факторам возникли три расы: негроиды, европеоиды и монголоиды.

Человеческое сообщество со всеми его особенностями в эволюции можно рассматривать как один из последовательных этапов развития жизни на Земле (**антропогенез**).

Венцом творчества Владимира Ивановича Вернадского стало учение о ноосфере (1945 г.). Среди всех живых существ на планете он выделил человека как мощную геологическую силу. Эта сила способна оказывать влияние на ход биохимических и других процессов на Земле и околоземном пространстве. Роль человечества на настоящем этапе эволюции настолько возросла, что В.И. Вернадским была выдвинута концепция, согласно которой биосфера постепенно превращается в **ноосферу**, т.е. мир, в котором будет господствовать человеческий мозг (разум). В своём учении Вернадский показал, что ноосфера находится не над биосферой, не вне её, а является закономерным и неизбежным этапом развития самой биосферы, этапом разумного регулирования взаимоотношений человека и природы.

***Ноосфера*** (от греческого – поос – разум) – ***это земное, планетарное и космическое пространство, которое преобразуется и управляется человеческим разумом, гарантирующим всестороннее и прогрессивное развитие человечества и природы.***

В трудах Вернадского указан ряд конкретных условий, необходимых для становления и существования ноосферы:

- заселение человеком всей планеты;
- резкое преобразование средств связи и обмена между разными странами;
- усиление связей, в том числе политических, между всеми государствами Земли;
- преобладание геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере;
- расширение границ биосферы и выход в Космос;
- открытие новых источников энергии;
- равенство людей всех рас и религий;
- увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики;
- свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических построений и создание в общественном и государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли;
- подъем благосостояния трудящихся, создание реальной возможности не допустить недоедания и голода, нищеты и ослабить влияние болезней;
- разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения;
- исключение войн из жизни общества.

Данный этап развития жизни по Вернадскому – это этап развития разума, т.е. **ноогенез**. С ноогенезом связано возникновение новой науки – науки взаимоотношения человеческого общества и природы, которую предполагают назвать **ноогеникой**. Одна из главных её задач заключается в исправлении

нарушений, отклонений от разумных и целесообразных отношений между человеком и природой и предотвращении подобных отклонений в историческом будущем.

### ***Понятие о биоразнообразии***

В результате естественного отбора, за несколько миллиардов лет и при взаимодействии двух процессов: видообразования и вымирания, появился наиболее ценный «ресурс» планеты - биологическое разнообразие или биоразнообразие. По определению, данному Всемирным фондом дикой природы (1989 г.), ***биологическое разнообразие*** – это «***все многообразие форм жизни на земле, миллионов видов растений, животных, микроорганизмов с их наборами генов и сложных экосистем, образующих живую природу***».

Биологическое разнообразие следует рассматривать на трех уровнях:

1) видовое разнообразие – весь набор видов на Земле от бактерий и простейших до царства многоклеточных растений, животных и грибов;

2) генетическое разнообразие - это многообразие генетических свойств у особей одного вида; генетическое разнообразие необходимо любому виду для сохранения репродуктивной способности, устойчивости к заболеваниям и способности к адаптации в изменяющихся условиях;

3) разнообразие биологических сообществ, видов, экосистем, сформированных сообществами и взаимодействия между этими уровнями.

Биоразнообразие обеспечивает человечество новыми источниками питания, сырья, лекарственных и химических продуктов.

Огромное генетическое разнообразие – это гигантский генетический банк. Оно позволяет человеку и другим биологическим видам развиваться, свободно использовать необходимые ресурсы и находить свое место в биогеохимическом круговороте земли. На нашей планете обитает 8,74 ( $\pm 1,3$ ) млн видов. Из них около 7,7 млн. животных, 298 000 растений, 611 000 грибов и 36 400 простейших. Последняя оценка биологического разнообразия (2011 г.), основанная на новом математическом методе, показала, что 86% видов организмов, населяющих землю, и 91% видов, обитающих в воде, остаются не известными науке [4]. Ежегодно фиксируется до 10 000 новых видов. Если мысленно все живое вещество равномерно распределить по поверхности планеты, то получится слой толщиной 2 см.

Видовое разнообразие различных климатических зон сильно отличается. Так, число насекомых в тропических лесах в 3 – 6 раз больше, чем в лесах умеренного пояса. Во влажных тропиках Латинской Америки на одном гектаре встречается 40 – 100 видов деревьев, тогда как на востоке Северной Америки 10 – 30 видов.

Люди используют в пищу около 7000 видов растений, но 90% мирового продовольствия создается за счет 20 видов, а три вида: кукуруза, пшеница и рис – покрывают более половины всех потребностей.

***Биоразнообразие является главным критерием устойчивости экосистем и биосферы в целом.***

Биоразнообразие - это своего рода «страховая политика природы» против катастрофических, геофизических и космических возмущений окружающей природы. ***Главной экологической задачей человечества является сохранение естественной биоты океана и ее восстановление на значительной части суши.*** Ряд ученых считают, что обеспечением устойчивости биосферы является расширение заповедников – (до 30% от всех территории материков). В целом, общая природоохраняемая территория должна составлять ~ 85%. Еще о биоразнообразии и природоохраняемых территориях см. [1].

### **Закон константности живого вещества планеты В.И. Вернадского. Гипотеза Геи**

***Количество живого вещества биосферы в пределах рассматриваемого геологического периода - есть величина постоянная (Закон константности живого вещества биосферы В.И. Вернадского).***

Живое вещество является своего рода энергетическим и химическим посредником между Солнцем и поверхностью Земли, т.е. растения усваивают солнечную энергию и минеральные элементы питания из поверхностного слоя Земли и атмосферы и создают сложное первичное органическое вещество. Если бы количество живого вещества колебалось, то энергетика планеты была бы не постоянной.

Количественное постоянство также характерно и для числа видов (5-30 млн видов организмов на Земле). В эволюции живого одни виды образовывались, а другие вымирали из-за изменений условий среды. Однако, если бы число видов резко колебалось, биосфера потеряла бы свойство надежности. Поэтому во все геологические периоды массового вымирания организмов одновременно наблюдалось и бурное образование новых видов.

***Правило константности числа видов: число нарождающихся видов, в среднем, равно числу вымирающих видов, и общее видовое разнообразие в биосфере есть константа.***

Но это правило не учитывает антропогенное влияние человека на природу, его хозяйственную деятельность.

Совершенно очевидно, что абиотическая среда, т.е. физические факторы, контролируют деятельность живых организмов. В то же самое время, сами организмы влияют на абиотическую среду и контролируют ее разнообразными способами.

#### **Примеры.**

1) *Растения, живущие на песчаной зоне, образуют на ней почву, совершенно отличную от исходного субстрата.*

2) *Яркий пример того, как организмы изменяют абиотическую среду - это коралловые рифы (атоллы в Тихом океане). В них из простого сырья,*

поставляемого морем, животные (кораллы) и растения строят целые острова – «атолловые рифы».

Организмы контролируют также и состав атмосферы нашей Земли.

В 70 –е годы 20-го столетия британский эколог Джеймс Лавлок выдвинул идею о Земле, как о «суперорганизме», о том, что биосфера сама создает и поддерживает условия необходимые для ее существования. Он пришел к выводу, что состав атмосферы Земли с ее уникально высоким содержанием кислорода и низким содержанием углекислого газа, а также умеренные температурные условия на Земле нельзя объяснить без учета буферной активности различных форм жизни.

Данная научная идея, опирающаяся на анализ продолжительных изменений глобального климата, состава атмосферы, уровня солености океанических вод, получила название *гипотезы Геи*. Подтверждение этой гипотезы нашло свое отражение, в частности, в работах американского биолога Линн Маргулис, которая высказала мысль о том, что связующую роль в поле взаимодействия между жизнью и планетой должны играть микроорганизмы.

(Гея - древнегреческая богиня живородящей Земли, производительница всех живых существ, праматерь, мать Земля).

**Суть гипотезы Геи** состоит в том, что **именно живые организмы сыграли основную роль в развитии и регуляции геохимической среды, благоприятной для них.**

Сравним по данным табл. 1 современный состав атмосферы Земли с гипотетической атмосферой, которую бы имела безжизненная Земля, а также с атмосферой Марса и Венеры, где если и есть жизнь, то она, по-видимому, не контролирует физическую среду.

Таблица 1

Состав атмосферы и температурные условия на Марсе, Венере, Земле и гипотетические условия для Земли без жизни

Содержание газов в атмосфере, об %.	Марс	Венера	Земля	
			без жизни	с жизнью
CO <sub>2</sub>	95	98	98	0,0345
N <sub>2</sub>	2,7	1,9	1,9	78
O <sub>2</sub>	0,13	Следы	Следы	20,95
Средняя температура поверхности, °С	-53	477	290 ± 50	15

*Как видно из приведенной выше таблицы, сначала на Земле в составе атмосферы практически не было кислорода. По предположениям ученых*

*основным потребителем кислорода первоначально в восстановительной среде земной атмосферы являлись растворенные в водах древнего океана в большом количестве ионы  $Fe^{2+}$ . Растворимые соединения двухвалентного железа входили в состав минералов земной коры и включались в миграционные процессы вследствие выветривания и эрозии. Фактически ионы железа служили катализаторами окисления молекулярным кислородом веществ с выраженными восстановительными свойствами. Очевидно, формирование аэробной среды атмосферы Земли началось, когда были окислены все содержащиеся в воде запасы веществ-восстановителей, и скорость поступления в окружающую среду свободного кислорода превысила скорость восстановления ионов железа и других переходных ионов.*

*Благодаря деятельности фотосинтезирующих микроорганизмов началась перестройка химического состава атмосферы Земли: сине-зеленые водоросли извлекали из атмосферы углекислый газ и выделяли кислород, в результате чего содержание свободного кислорода в атмосфере постепенно нарастало.*

*Рост содержания кислорода в атмосфере привел к возникновению озонового слоя, защищающего поверхность Земли от жесткого УФ-излучения. Это дало новое направление эволюции жизни. 400 млн. лет назад жизнь вышла на сушу, поверхность Земли покрылась пышной растительностью, появились животные. Появление растительности ускорило процесс фотосинтеза, и состав атмосферы достиг стационарного, современного уровня [5].*

Поэтому представление о том, что сначала в результате чисто случайного взаимодействия физических сил на Земле возникла атмосфера и условия для жизни, а затем уже и появилась сама жизнь, приспособливающаяся к этим условиям, не верно.

### **Среда обитания. Экологические факторы и их классификация**

**Среда обитания** – это часть природы, окружающая живые организмы и оказывающая на них определенное воздействие. На планете живые организмы освоили четыре среды обитания: водную, наземно-воздушную, почвенную и организменную.

**Экологические факторы** – это отдельные элементы среды обитания, которые оказывают непосредственное влияние на характер и интенсивность протекающих в экосистеме процессов.

По отношению к экосистеме экологические факторы делятся на *внешние* (экзогенные) и *внутренние* (эндогенные). К первым относят солнечную радиацию, атмосферные осадки, атмосферное давление, скорость ветра и течений и т.д. Внутренние факторы соотносятся со свойствами самой экосистемы, образуют ее, т.е. входят в ее состав. Это численность и биомасса популяций, количество различных химических веществ, характеристики водной или почвенной среды и т.д.



По критерию «жизни» экологические факторы делятся на *биотические и абиотические*. Биотические факторы – это воздействие живых организмов друг на друга, т.е. взаимодействие между особями в популяциях и между популяциями в сообществах. Абиотические факторы – это компоненты неживой природы. Среди абиотических факторов выделяют: климатические (свет, влажность, температура и т.д.); геологические (землетрясения, извержения вулканов и др.); эдафические, или почвенно-грунтовые (плотность, структура, химический состав) и гидрологические (вода, течение, соленость и др.).

В последнее время все чаще употребляется термин – *антропогенные факторы* (вызванные человеком), приводящие либо к прямому воздействию на живые организмы, либо к изменению среды обитания (охота, сведение лесов, загрязнение, эрозия почв и т.д.).

Экологические факторы могут оказывать на организм прямое действие и косвенное. Косвенное воздействие осуществляется через другие экологические факторы. Например, высокая температура может вызвать ожог (прямое действие), а может привести к обезвоживанию организма (косвенное воздействие).

### ***Свет как экологический фактор***

***Свет*** – один из основных экологических факторов. При прохождении солнечной радиации через атмосферу около 19% поглощается облаками, водяными парами и т.д., 34% отражается обратно в космос, 47% достигает земной поверхности, из них 24% - прямая радиация и 23% - отраженные лучи.

В спектре солнечного света выделяют области, различные по своему биологическому действию. *Ультрафиолетовые лучи* в небольших дозах необходимы живым организмам (бактерицидное действие, стимуляция роста и развития клеток, синтез витамина D и т.д.), в больших дозах губительны из-за способности вызывать мутации. Значительная часть ультрафиолетовых лучей поглощается озоновым слоем. *Видимые лучи* – основной источник жизни на Земле, дающий энергию для фотосинтеза. *Инфракрасные лучи* – основной источник тепловой энергии.

Для растений солнечный свет необходим, прежде всего, как источник энергии для фотосинтеза. По отношению к условиям освещенности растения делят на следующие экологические группы. *Гелиофиты (светлюбивые)* – растения, обитающие в условиях хорошего освещения. Они имеют мелкие листья, сильноветвящиеся побеги, значительное количество пигментов в листьях и др. *Сциофиты (тенелюбивые)* – растения, плохо переносящие прямые солнечные лучи. Для них характерны крупные, тонкие листья, расположенные горизонтально, с меньшим количеством устьиц. *Факультативные гелиофиты (теневыносливые)* – растения, способные обитать

как в условиях хорошего освещения, так и в условиях затенения. Имеют переходные черты.

Для животных свет – это условие ориентации. Животные бывают с *дневным, ночным и сумеречным* образом жизни.

По отношению к продолжительности дня организмы (в основном растения) делят на *короткодневные* (обитатели низких широт) и *длиннодневные* (обитатели умеренных и высоких широт). Реакция организмов на продолжительность дня называется *фотопериодизмом*. Фотопериодизм обуславливает такие сезонные явления, как листопад, перелеты птиц и т.д.

### ***Температура как экологический фактор***

***Температура*** - также один из основных экологических факторов. От температуры окружающей среды зависит температура организмов, а следовательно, скорость всех химических реакций, составляющих обмен веществ. В основном живые организмы способны жить при температуре от 0 до +50°C, что обусловлено свойствами цитоплазмы клеток. Верхним температурным пределом жизни является 120-140 °C (близкие к нему значения температуры выдерживают споры, бактерии), нижним – минус 190-273 °C (переносят споры, семена, сперматозоиды).

Организмы могут использовать два источника тепловой энергии: *внешний* (тепловая энергия Солнца или внутреннее тепло Земли) и *внутренний* (тепло, выделяемое при обмене веществ).

### ***Вода как экологический фактор***

***Вода*** обеспечивает протекание в организме обмена веществ и нормальное функционирование организма в целом. Одни организмы живут в воде, другие приспособились к постоянному недостатку влаги. Среднее содержание воды в клетках большинства живых организмов составляет около 70%. Вода в клетке присутствует в двух формах: *свободной* (95% всей воды клетки) и *связанной* (4-5% связаны с белками).

Наиболее важные функции и свойства воды следующие:

1. *Вода как растворитель* является лучшим из известных растворителей, в ней растворяется больше веществ, чем в любой другой жидкости. Многие химические реакции в клетке являются ионными, поэтому протекают только в водной среде.

2. *Вода как реагент* участвует во многих химических реакциях: полимеризации, гидролиза, в процессе фотосинтеза.

3. *Вода как источник энергии*. Осмотическое движение воды через мембрану в состоянии генерировать гидроэлектрическую энергию, которая преобразуется и хранится в энергетических резервуарах в форме АТФ

(аденозинтрифосфат) и ГТФ (гуанозинтрифосфат) - двух важнейших систем элементов батарей, химических источников энергии в организме.

4. *Вода как термостабилизатор и терморегулятор.* Эта функция обусловлена такими свойствами воды, как *высокая теплоемкость* – смягчает влияние на организм значительных перепадов температуры в окружающей среде; *высокая теплопроводность* - позволяет организму поддерживать одинаковую температуру во всем его объеме; *высокая теплота испарения* – используется для охлаждения организма при потоотделении у млекопитающих и транспирации у растений.

5. *Транспортная функция воды* осуществляется при передвижении по организму вместе с водой растворенных в ней веществ к различным его частям и выведение ненужных продуктов из организма.

6. *Структурная функция* состоит в том, что цитоплазма клеток содержит от 60 до 95% воды, и именно она придает клеткам их нормальную форму. У растений вода поддерживает тургор (упругость эндоплазматической мембраны), у некоторых животных служит гидростатическим скелетом (медузы).

7. *Смазочная функция воды.* Вода является основой сред-смазок, при помощи которых свободно двигаются трущиеся между собой части организма.

По отношению к воде среди живых организмов выделяют следующие экологические группы: *гигрофилы* (влаголюбивые), *ксерофилы* (сухлюбивые) и *мезофиллы* (промежуточная группа).

В наземно-воздушной среде этот абиотический фактор характеризуется величиной количества осадков, влажности, иссушающими свойствами воздуха и доступной площадью водяного запаса.

Количество атмосферных осадков обусловлено физико-географическими условиями и неравномерно распределено на земном шаре. Но для организмов важнейшим лимитирующим фактором является распределение осадков по сезонам года.

### ***Биогенные вещества как экологические факторы***

***Биогенные элементы*** являются ресурсами среды и лимитирующими факторами для организмов.

*Макроэлементы* – это элементы, которые требуются организмам в относительно больших количествах.

*Микроэлементы* – это жизненно важные и необходимые биогенные элементы, которые необходимы живым организмам в малых или следовых количествах. Растения получают их, как правило, из почвы, реже – из воды, а животные и человек – с пищей.

## ***Рельеф как экологический фактор***

***Рельеф*** – совокупность неровностей земной поверхности разного масштаба. Различают выпуклые (положительные) формы рельефа и вогнутые (отрицательные) формы. Рельеф сформировался в результате взаимодействия внутренних (эндогенных) и внешних (экзогенных) геологических процессов.

Рельеф оказывает косвенное воздействие на живые организмы, перераспределяя солнечную радиацию и осадки в зависимости от экспозиции и крутизны склонов. Так в северном полушарии на южных склонах произрастают более светолюбивые и теплолюбивые растения, чем на северных, в понижениях обитают более требовательные к влаге растения.

## ***Эдафические (почвенно-грунтовые) экологические факторы***

***Почва*** – одна из сред обитания живых организмов. Важнейшими экологическими факторами, характеризующими почву как среду обитания, является кислотность, содержание питательных веществ, содержание органических веществ, структура, плотность, засоленность, гранулометрический состав и др.

По отношению к содержанию питательных элементов в почве среди растений различают – *олиготрофы* (растения, довольствующиеся малым количеством зольных элементов), *эвтрофы* (нуждающиеся в большом количестве зольных элементов) и *мезотрофы* (требуют умеренного количества зольных элементов).

По степени связи с почвой как средой обитания животных объединяют в три экологические группы. *Геобионты* – животные постоянно обитающие в почве, весь цикл развития которых протекает в почвенной среде. *Геофилы* – животные, часть цикла развития которых (чаще одна из фаз) обязательно проходит в почве. *Геоксены* – животные, иногда посещающие почву для временного укрытия или убежища.

## ***Биологические ритмы***

***Биологические ритмы*** – это периодические повторяющиеся изменения интенсивности и характера биологических процессов и явлений. Они присущи всем живым организмам и отмечаются на всех уровнях организации: от внутриклеточных процессов до биосферных. Биологические ритмы наследственно закреплены и являются следствием естественного отбора и адаптации организмов. Ритмы бывают внутрисуточные, суточные, сезонные, годовичные, многолетние и многовековые.

Примерами биологических ритмов являются: ритмичность в делении клеток, синтез ДНК и РНК, суточное движение листьев и лепестков в сторону Солнца, осенние листопады, сезонные миграции птиц и млекопитающих и т.д.

Биологические ритмы делятся на внутренние (эндогенные) и внешние (экзогенные).

**Экологические ритмы** (суточные, годовые, приливные, лунные) возникли как приспособление живых существ к периодическим изменениям среды. Они являются относительно стабильными и соответствуют внешним ритмам.

## Экологические системы и их структура

### *Понятие «биогеоценоз», «биоценоз», «экоTON» и «экосистема»*

Живые организмы находятся между собой и абиотическими условиями среды обитания в определенных отношениях, образуя экологические системы.

Для обозначения наземных экосистем русским академиком В.Н. Сукачевым был предложен, а затем и общепринят термин **биогеоценоз** (от греч. «bíos» - жизнь, «Ge» - Земля, «koínós» - сообщество (общий)).

**Биогеоценоз** – это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов), имеющих свою особую специфику взаимодействия слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и другими явлениями природы.

Биогеоценозы - это естественные экологические системы, сугубо наземные образования, имеющие свои четкие границы. Биогеоценоз состоит из двух составляющих:

- **биоценоза** – комплекса организмов (растений, животных, микроорганизмов), занимающих определенный участок суши или водоема и характеризующихся определенными отношениями между собой и окружающей средой;
- **эктопа** (биотоп) (греч. «topos» – место) – относительно однородного по абиотическим факторам среды пространства в пределах водной, наземной и подземной частей биосферы, занятое одним и тем же сообществом (на суше биогеоценозом), т.е. местообитание организмов, характеризующееся определенным сочетанием экологических факторов: почв, грунтов, микроклимата и др.

Примеры экотопа: склон оврага, городской лесопарк, небольшое озеро.

В свою очередь экоTON имеет две составляющие:

- **климатопа** – совокупность климатических факторов;
- **эдафотоп** – совокупность почвенно-грунтовых факторов.

Биоценоз включает в себя три составляющих:

- **зооценоз** – сообщество животных;
- **фитоценоз** – сообщество растений;
- **микробоценоз** – сообщество микроорганизмов.

Все составляющие биогеоценоза взаимосвязаны и взаимозависимы. На рис. 1 представлена структура биогеоценоза (по В.Н. Сукачеву) [6].

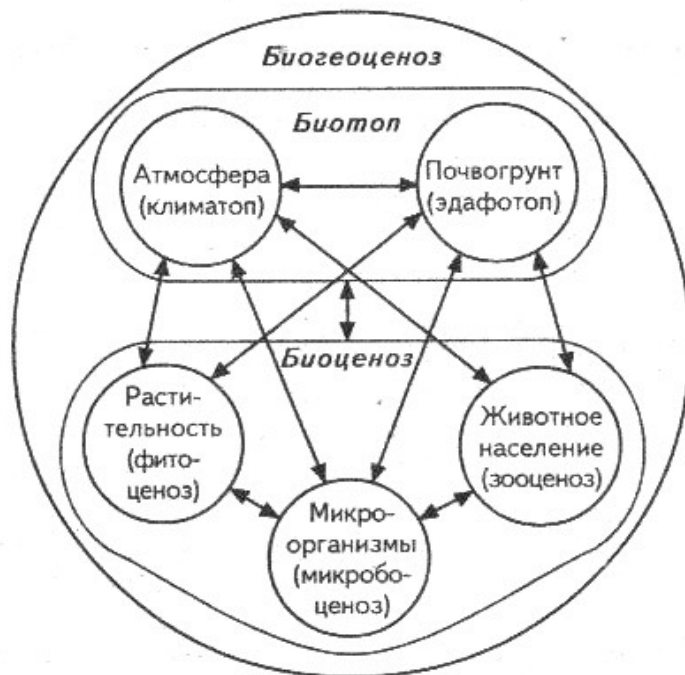


Рис. 1. Структура биогеоценоза (по В.Н. Сукачеву) [6]

Биоценоз обладает сложной внутренней структурой. Выделяют видовую и пространственную структуры биоценозов. *Видовая структура* характеризуется видовым разнообразием и количественным соотношением видов, зависящих от ряда факторов (главным образом от температуры, влажности и недостатка пищевых ресурсов).

*Пространственная структура* – это структура биоценоза, показывающая распределение организмов разных видов в пространстве (по вертикали и горизонтали). Одно из важнейших свойств биогеоценоза – это взаимосвязь и взаимозависимость всех его компонентов.

**Экосистема** – это любая совокупность организмов и неорганических компонентов, связанных между собой потоком энергии, и в которой может осуществляться круговорот веществ. Это определение дано английским ученым (экологом, ботаником) Артуром Тенсли в 1935 г.

Понятия «экосистема» и «биогеоценоз» близки друг к другу, но не являются синонимами. Примерами биогеоценоза могут быть лес, степь, водоем и т.д. Экосистема – это и лес, и степь, и водоем, но и также горшок с цветком, космический пилотируемый корабль, сооружение для биологической очистки воды (аэротенк, биофильтр). Понятие «экосистема» шире, чем «биогеоценоз», т.е. любой биогеоценоз является экологической системой, но не всякая экосистема может считаться биогеоценозом.

Экосистема - основная функциональная единица экологии, т.к. в ее состав входят и живые организмы (биотические компоненты) и неживая среда (абиотические компоненты), эти компоненты экосистемы взаимно влияют друг

на друга и они необходимы для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на Земле.

Самой крупной экосистемой является биосфера (или экосфера). Она включает все живые организмы Земли, находящиеся во взаимодействии с физической средой Земли как единое целое. Эта система поддерживается в состоянии устойчивого равновесия, получая поток энергии от солнца, и переизлучая его в космическое пространство.

### ***Классификация природных экосистем (биомов)***

В зависимости от природных и климатических условий можно выделить две группы и ряд типов природных экосистем или биомов. **Биом** (англ. biome, от греч. *bíos* — жизнь и лат. *-omat-*, *-ома* — окончание, обозначающее совокупность) – ***это совокупность различных групп организмов и среды их обитания в определенной ландшафтно-географической зоне.*** В основе классификации для наземных экосистем (наземных биомов) лежит тип естественной (исходной) растительности, а для водных экосистем (водных биомов) – гидрологические и физические особенности (по Юджину Одуму [7]).

#### **Наземные экосистемы:**

- 1) тундра: арктическая и альпийская;
- 2) бореальные хвойные леса (тайга);
- 3) листопадные леса умеренной зоны (широколиственные леса);
- 4) степь умеренной зоны;
- 5) чапараль (районы с дождливой зимой и засушливым летом);
- 6) тропические злаковники (грасленд) и саванна;
- 7) пустыня: травянистая и кустарниковая;
- 8) полувечнозеленый сезонный (листопадный) тропический лес (районы с выраженными влажным и сухим сезонами);
- 9) вечнозеленый тропический дождевой лес.

Размещение по земной поверхности основных наземных биомов определяют два абиотических фактора – температура и количество осадков. Климат в разных районах земного шара неодинаков. Годовая сумма осадков меняется от 0 до 2500 мм и более. При этом они выпадают равномерно в течение года или их основная доля приходится на определенный период – влажный сезон. Среднегодовая температура также варьирует от отрицательных величин до 38°C. Температуры могут быть практически постоянными в течение года (у экватора) или меняться по сезонам.

#### **Водные экосистемы:**

##### ***Пресноводные:***

- 1) лентические (стоячие воды): озера, пруды, водохранилища и др.;
- 2) лотические (текущие воды): реки, ручьи, родники и др.;
- 3) заболоченные угодья: болота, болотистые леса, марши (приморские луга).

##### ***Морские:***

- 1) открытый океан (пеларгическая система);
- 2) воды континентального шельфа (прибрежные воды);
- 3) районы апвеллинга (плодородные районы с продуктивным рыболовством);
- 4) эстуарии (прибрежные бухты, проливы, устья рек, лиманы, соленые марши и т.д.);
- 5) глубоководные рифтовые зоны.

Главными показателями различия водных экосистем являются:

- 1) количество растворенных питательных веществ в воде (соленость);
- 2) глубина проникновения солнечных лучей;
- 3) температура воды;
- 4) количество растворенного кислорода;
- 5) доступность питательных элементов.

По типу местообитания и образу жизни водные организмы объединяются в следующие экологические группы:

- *планктон* – организмы, в основном пассивно перемещающиеся за счет течения. Различают *фитопланктон* (одноклеточные водоросли) и *зоопланктон* (одноклеточные животные, рачки, медузы и др.);
- *нектон* - активно передвигающиеся в воде животные (рыбы, амфибии, головоногие моллюски, черепахи, китообразные и др.);
- *бентос* – организмы, живущие на дне и в грунте (прикрепленные водоросли, ракообразные, моллюски, морские звезды и др.).

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

### ***Взаимосвязь наземных и водных экосистем***

Между наземными и водными экосистемами существуют различные виды взаимосвязей. К числу важнейших из них относится смыв веществ, преимущественно нитратов и фосфатов, с поверхности земли в водные экосистемы. Эти питательные вещества поддерживают жизнь водных растений в реках, озерах и эстуариях, что в свою очередь обеспечивает жизнь водных животных. За счет поступления гниющих органических веществ в водные экосистемы снабжаются пищей водные организмы, питающиеся детритом. Когда почва смывается в озера и медленно текущие реки, почвенный материал отлагается на дне. Эти осадки постепенно преобразуют типы жизни водной флоры и фауны.

С другой стороны, происходит поступление веществ из водных экосистем в наземные. Рыбы и моллюски являются пищей для многих обитающих на суше животных (морские птицы, медведи, орлы) и для человека. С экскрементами птиц часть питательных веществ возвращается из моря на сушу как элемент круговорота азота и фосфора.



## *Иерархическая структура экосистемы*

Экосистемы, как любой целостный организм, как и биосфера в целом обладают иерархической структурой. Рассмотрим эту иерархическую структуру (по Т. Миллеру) [8]. Элементарные частицы → атомы → молекулы → протоплазма → клетки → ткани → органы → системы органов → **особи** → **популяции** → **сообщества** → **экосистемы** → **экосфера** → Земля → планеты → Солнечная система → Галактика → Вселенная.

Основополагающим объектом изучения экологии является взаимодействие пяти уровней организации материи: **особи** (живые организмы) → **популяции** → **сообщества** → **экосистемы** → **экосфера**.

На рис. 2 представлена схема иерархической организации природных систем по Т.Миллеру (А.А. Горелову) [8] и показано, что предметом изучения экологии являются объекты организованного, популяционно-видового, биоценотического и биосферного уровней организации в их взаимодействии с окружающей средой.

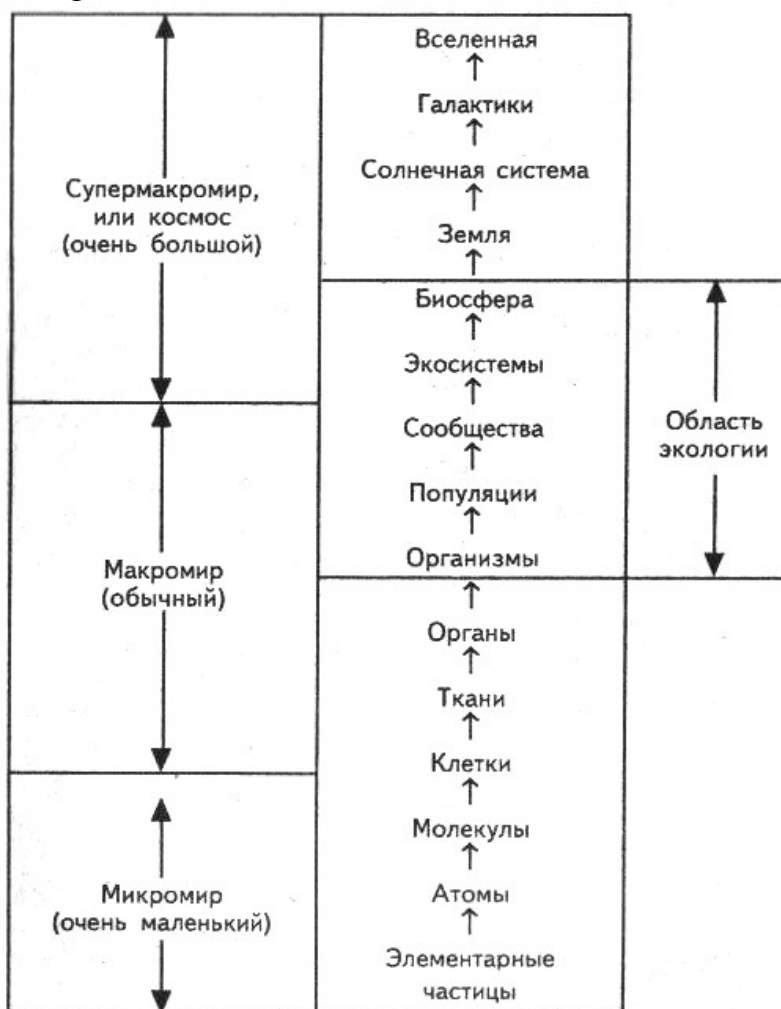


Рис. 2. Иерархия природных систем (по Т. Миллеру, 1993 г. (А.А. Горелову, 2002 г.))

Живое, как и неживое вещество, состоит из элементарных частиц, образующих атомы и молекулы. Последние агрегируются и структурируются. Минимальные структуры живого, состоящие из молекул – органеллы. Органеллы формируют клетки. Те в свою очередь - ткани, а затем - системы органов. Далее пути конструирования живого расходятся: одна ветвь ведет к формированию целого индивида - генетического потомка его предков, а другая к возникновению особи.

**Биологический вид** – это совокупность особей, обладающих наследственным сходством морфологических, физиологических и биохимических особенностей, способных к скрещиванию с образованием плодovитого семейства, приспособленных к определенным условиям жизни и занимающих в природе определенную область (*ареал*).

**Особь** - это не просто индивид, как совокупность органов и их систем, но и сочетание индивида и его неотрывных спутников (например, микроорганизмов, живущих в кишечнике). Индивиды некоторых видов совершенно не могут существовать без своих спутников.

Продолжение рода у высших организмов невозможно без встречи особей разных полов, составляющих **«семью»** хотя бы на период оплодотворения. Эта группа организмов («семья») живет в составе скопления особей своего вида, населяющих определенное пространство – **популяции**.

**Популяция** – совокупность особей одного вида, способных к самовоспроизводству, которая длительно существует в определенной части ареала относительно обособленно от других совокупностей того же вида. Контакты между особями одной популяции чаще, чем между особями разных популяций.

Каждая популяция одновременно входит в две структуры:

- 1) группу генетически сходных популяций, составляющих **биотическое сообщество** (например, злаки на лугу);
- 2) экологическую пирамиду (трофическую (пищевую) цепь).

Сообщества организмов, взаимодействующих между собой, а также с химическими и физическими факторами, создающими неживую окружающую среду, образуют **экосистемы**.

Общая схема экосистемы представлена на рис. 3.

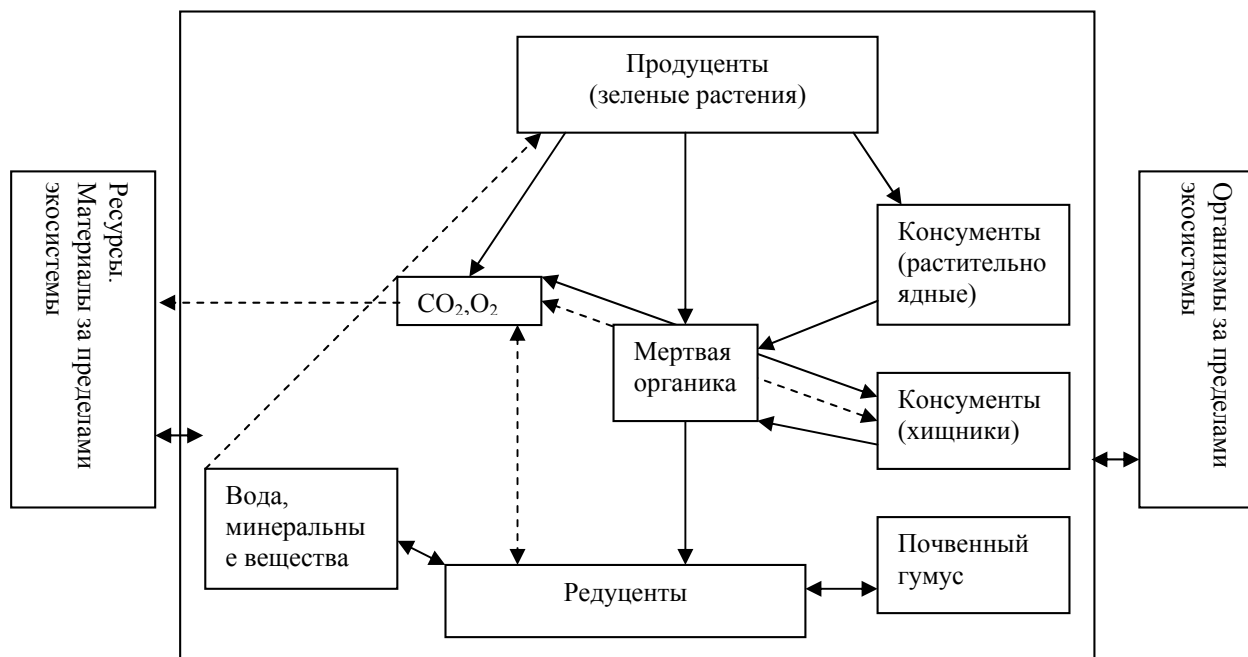


Рис. 3. Общая схема экосистемы:  
 движение органических веществ →  
 движение минеральных веществ и/или энергии ----->

Структурную организацию экосистемы можно представить и рассмотреть, как с трофической, так и биологической точек зрения.

**С точки зрения трофической структуры** экосистему можно разделить на два яруса – автотрофный и гетеротрофный [7].

1. **Верхний автотрофный ярус**, или «зеленый пояс», включает растения или их части, содержащие хлорофилл, где преобладают фиксация энергии света, использование простых неорганических соединений и накопление сложных органических веществ.

2. **Нижний гетеротрофный** или «коричневый пояс» почв и осадков, разлагающихся веществ, корней и т.д. В нем преобладают использование, трансформация и разложение сложных органических соединений.

**С биологической точки зрения** в составе экосистемы удобнее выделить следующие компоненты [7]:

1) **неорганические вещества**: биогенные вещества (углерод, азот, углекислый газ, вода, фосфор, сера и т.д.), которые включаются в круговороты веществ; главными химическими факторами являются питательные элементы и их соединения в атмосфере, гидросфере и земной коре, необходимые в больших и малых количествах для существования, роста и размножения организмов;

2) **органические соединения** – белки, углеводы, липиды, гумусовые вещества и т.д.;

3) **воздушную, водную и субстратную среду, включающую климатический режим и другие физические факторы**;

4) *продуценты* (*автотрофы* - *самопитающиеся* от лат. *Producens (producentis)* - производящий, создающий) – это живые организмы, которые из неорганических соединений синтезируют или продуцируют органические вещества. Только эти организмы способны сами производить для себя пищу. Более того, продуценты непосредственно или косвенно обеспечивают питательными элементами и другие живые организмы – консументы и редуценты;

5) *консументы* (*гетеротрофы* от лат. *Consume* - потребляю) – живые организмы, питающиеся другими организмами (животные, человек).

В зависимости от источников питания консументы, питающиеся живыми организмами, подразделяются на три основных класса:

- *фитофагов* (растительноядные) – это консументы 1-го порядка, питающиеся исключительно продуцентами. Например, олени и зайцы питаются ветками и листьями;

- *хищников* (плотоядные) – консументы 2-го порядка, которые питаются исключительно растительноядными животными (фитофагами), а также консументы 3-го порядка, питающиеся только плотоядными животными. Например, тунец, питающийся сельдью и анчоусом, является вторичным консументом, а ястреб или сокол, охотящийся на змей и горностаев, относится к третичным консументам, или консументам высшего уровня.

- *эврифагов* (всеядные), которые могут поедать как растительную, так и животную пищу. Примерами являются свиньи, крысы, лисы и др., а также человек.

б) *редуценты* (от лат. *Reducens (reducentis)* — возвращающий, восстанавливающий) - сообщества, получающие энергию при разложении омертвевшей органики. Существует два основных класса редуцентов: детритофаги и деструкторы. *Детритофаги* (от лат. *Detritus* - продукт распада + *Phagos* – пожиратель) или *падальщики*, напрямую потребляют мёртвые организмы или органические остатки. Это - крабы, шакалы, грифы, термиты, дождевые черви, муравьи и др.

Большая часть мёртвой материи в экосистеме, особенно мёртвые древесные породы и листья, проходят стадии разложения и гниения, в результате чего сложные органические молекулы делятся на более простые неорганические соединения, которые вновь могут быть усвоены продуцентами. Этот процесс, также входящий в пищевую цепь, производится отдельным типом редуцентов – *деструкторами*. Основной биологической функцией деструкторов является минерализация органического вещества.

К деструкторам относятся два типа организмов – грибы и микроскопические одноклеточные бактерии.

Консументы, питающиеся остатками мертвых растений или животных, называются также редуцентами.

Экосистема может существовать и без консументов, питающихся живыми организмами и без детритофагов, так как химические вещества могут

переходить напрямую от продуцентов к деструкторам - редуцентам и обратно без участия вышеперечисленных организмов консументов. А вот без деструкторов весь мир вскоре был бы погружен в слой растительных отходов, тел мертвых животных и мусора. Редуценты являются завершающим звеном в круговороте веществ. Они очищают природную среду от отходов путём разрушения органических соединений в мёртвых организмах и органических остатках и преобразуют их в неорганические питательные вещества, используемые продуцентами. Таким образом, жизненный цикл возобновляется.

Следует учитывать также, что продуценты, фитофаги, хищники, эврифаги и детритофаги частично выполняют функции редуцентов, выделяя в окружающую среду минеральные вещества – продукты их метаболизма (*метаболизм – это совокупность всех химических реакций в живом организме*).

### ***Принципы организации экосистем***

Существование экосистем основано на общих термодинамических принципах сохранения энергии и материи. Жизнь развивается в результате постоянного обмена веществом и информацией на базе потока энергии в совокупном единстве среды и населяющих ее организмов. Форма существования организма всегда соответствует условиям его жизни.

***Если меняется химизм среды, то обязательно изменяются все остальные экологические компоненты системы, ее динамические качества либо в этой экосистеме, либо в их сопряженной цепи – это закон внутреннего динамического равновесия экосистемы.***

Природа сопротивляется антропогенным изменениям среды. С увеличением экономически ценных свойств экосистемы снижается ее надежность. Надо всегда помнить **правило трех нижних уровней иерархии**: ***разрушение трех или более нижних уровней иерархии систем ведет всю целую систему к гибели.***

Например, повреждение генетической структуры клетки ведет к превращению нормальной клетки в опухолевую, далее идет раковый процесс в организме, который приводит к гибели всего организма.

Уничтожение даже одного из видов живых существ, входящих в экосистему, может привести к ее полному уничтожению и тяжелым экономическим последствиям для человека.

Например, в 50-е годы прошлого столетия в Китае была объявлена война с воробьями, которые склевывали урожай зерновых. В результате уничтожения птиц размножились вредные насекомые, и правительство Китая было вынуждено закупать воробьев из других стран. Аналогично, в Индонезии в 70-е годы проводилась всеобщая борьба с малярийными комарами с помощью пестицида ДДТ, параллельно ДДТ съели и тараканы. Хотя тараканы оказались устойчивыми к этому пестициду, но они стали более медлительными и их стали с большей скоростью уничтожать ящерицы, которыми питались кошки. В

результате концентрирования ДДТ при движении по пищевой цепочке кошки погибли. Как итог – размножились гусеницы и крысы, которые несли с собой блох, зараженных чумой, и люди вместо малярии получили еще более страшную болезнь – чуму. Поэтому опрыскивания ДДТ прекратили и в страну ввезли кошек.

### **Законы экологического минимума и экологической толерантности**

Активная жизнедеятельность любого организма или группы организмов зависит от определенных условий (или факторов). Идея о том, что выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей, была впервые сформулирована в 1840 г. известным немецким агрохимиком Юстусом фон Либихом. Он изучал питание растений и установил, что рост растений зависит от того элемента питания, который присутствует в почве в минимальном количестве. Опираясь на результаты своих исследований, он сформулировал принцип, который известен как **закон минимума Либиха**: *«Веществом, находящимся в минимуме, управляется урожай и определяется величина и устойчивость растений во времени»*. Но закон минимума применим только в условиях стационарного состояния экосистем, т.е. когда приток и отток энергии и вещества сбалансированы.

Спустя 70 лет в 1913 г. американский учёный Виктор Эрнст Шелфорд пришел к выводу, что не только вещество, присутствующее в минимуме, может определять жизнеспособность организма, но и избыток какого-то элемента может приводить к нежелательным отклонениям. Например, избыток кальция в организме человека по отношению к некоторой норме вызывает развитие мочекаменной и желчекаменной болезни.

**Закон толерантности Шелфорда**: *«Лимитирующим фактором процветания организма или экосистемы может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между ними определяет величину выносливости (диапазон толерантности) организма или экосистемы к данному фактору»*.

Факторы, присутствующие как в избытке, так и в недостатке (по отношению к оптимальным условиям жизнедеятельности организма), называются *лимитирующими*, а термин **толерантность** (*экологическая валентность*) означает способность организмов выносить отклонение факторов среды (т.е. переносить количественные колебания экологического фактора) от оптимальных значений и адаптироваться к ним. Кривая, характеризующая зависимость переносимости от фактора, называется **кривой толерантности** (рис. 4).

**Оптимум** – интенсивность экологического фактора, наиболее благоприятного для деятельности организма.

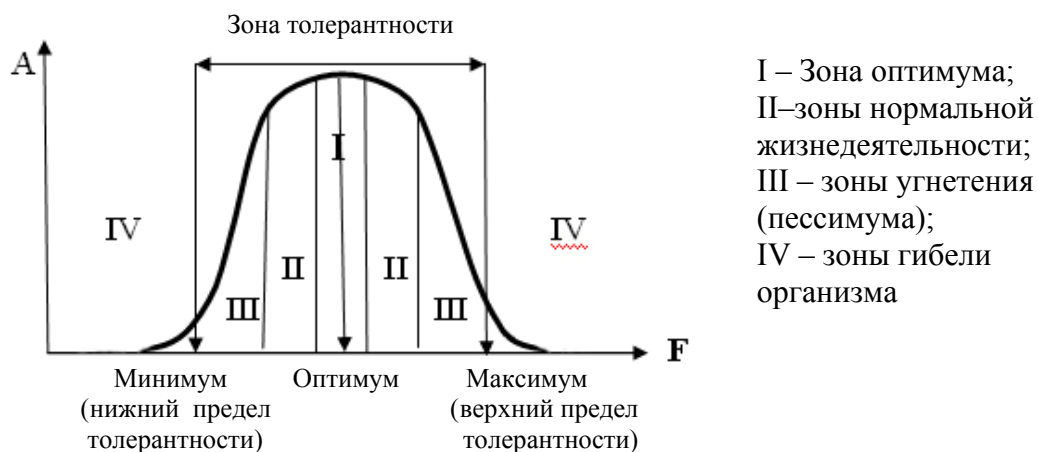


Рис. 4. Кривая толерантности:

$A$  – параметр активности организма (приспособляемость, живучесть, адаптация);

$F$  – значение экологического фактора (температура, влажность, содержание биогенного вещества и др.).

**Смысл закона Шелфорда заключается в том, что наибольшей вероятностью к выживанию обладает тот вид, который имеет широкие области варьирования экологических факторов.**

Одни организмы допускают колебания абиотических факторов (температура, влажность, растворенный кислород, величина рН и т.д.) в широких пределах, а другие в узких. Следовательно, одни организмы могут выживать при более широкой, а другие при более узкой амплитуде колебаний конкретного экологического фактора.

Например, береза растет на любых почвах, ель - на умеренно увлажненных, а сосна - на песчаных. Ерш обитает в водах с рН = 4,5 – 9,5, а судак в водах с рН = 6,0 – 8,0. Некоторые живые организмы выживают только в узком температурном режиме – это *стенотермные виды*: «стеноз» - узкий (греч.), например, тропические рыбы. А золотой карась может жить и при высоких температурах (+24<sup>0</sup>С) и при температуре воды близкой к замерзанию - это *эвритермные виды*: «эври» - широкий.

Значения любого экологического фактора, близкие к предельным, характеризуются как пессимумы. В пессимальных условиях снижается жизненная активность вида, его подвижность, плодовитость и т.д.

Способность вида адаптироваться к отдельным экологическим факторам или их комплексу называется *экологической пластичностью*. Чем выше пластичность вида, тем выше его приспособляемость в конкретной среде, тем шире диапазон толерантности. Экологический фактор, количественное значение которого выходит за пределы выносливости вида, будет лимитирующим (ограничивающим) фактором. Лимитирующий фактор будет ограничивать распространение вида даже в том случае, если все остальные факторы будут благоприятными.

Из закона вытекает очень важное *следствие* – *любой избыток вещества или энергии оказывается загрязняющим окружающую среду.*

В настоящее время закон толерантности, сформулированный В.Э. Шелфордом, дополнен в 1975 г. Ю. Одумом следующими положениями:

- организмы могут иметь широкий диапазон толерантности в отношении одного фактора и узкий – в отношении другого;
- наиболее широко распространены организмы с большим диапазоном толерантности;
- диапазоны толерантности к отдельным факторам и их комбинациям – различны;
- если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для вида, то диапазон толерантности может сузиться и в отношении других экологических факторов (например, если содержание азота в почве мало, то требуется больше воды для злаков);
- период размножения является критическим для всех организмов, поэтому именно в этот период увеличивается число лимитирующих факторов.

### **Понятие об экологической нише**

Любой организм приспособлен к условиям ОС. Требования того или иного организма к факторам среды обуславливают границы его распространения или местообитания (ареал), а также место, занимаемое в экосистеме.

***Экологическая ниша*** - это совокупность множества параметров, определяющих существование того или иного вида, его функциональные характеристики (преобразование энергии, обмен информацией со средой и себе подобными) и его функциональную роль в сообществе. Под экологической нишей обычно понимают место организма в природе и весь образ его жизнедеятельности (жизненный статус), включающий отношение к факторам среды, видам пищи, времени и способам питания, местам размножения, укрытий и т.д. Это понятие значительно объемнее и содержательнее понятия «местообитание». Известный американский эколог и зоолог Юджин Одум образно назвал местообитание «адресом» организма (вида), а экологическую нишу его «профессией». На одном местообитании живет, как правило, большое количество организмов разных видов. Например, смешанный лес - это местообитание для сотен видов растений и животных, но у каждого из них своя и только одна «профессия» - экологическая ниша. Так, например, сходное местообитание в лесу занимают лось и белка. Но ниши их совершенно разные: белка живет в основном в кронах деревьев, питается семенами и плодами, там же и размножается. Весь жизненный цикл лося связан с подпологовым пространством: питание зелеными растениями или их частями, размножение и укрытие в зарослях и т. п.



Так как абиотические факторы взаимосвязаны, то изменение одного из них может вызвать изменение других, а это и приведет к изменению объема ниши.

Каждый биологический вид играет определенную роль в своей экосистеме. Экологи доказали, что некоторые виды, называемые ключевыми видами, кардинально влияют на многие другие организмы экосистемы. Исчезновение ключевого вида из экосистемы может спровоцировать целый каскад падений численности популяций и даже вымирание тех видов, которые зависели от ключевого вида в той или другой форме. Например, волки относятся к наиболее очевидным ключевым видам, поскольку они регулируют численность популяций травоядных. При отсутствии волков плотность популяции оленей и других травоядных может настолько увеличиться, что приведет к стравливанию и разрушению растительного покрова, а ледовательно, к исчезновению ассоциированных с ним видов насекомых и к почвенной эрозии.

Другим примером является земляная черепаха. Она вырывает нору глубиной до 9 метров. В этих норах находят убежище около 40 видов различных животных: серая лиса, змеи, насекомые и т.д. В тех местах, где численность черепахи пострадала из-за изысканного вкуса мяса, многие, зависящие от черепахи виды перестали существовать.

Разделение экологических ниш между видами происходит за счет приуроченности разных видов к разным местообитаниям, разной пище и разному времени использования одного и того же пространства.

**Принцип конкурентного исключения (Принцип Гаузе)** гласит: *«Два вида не могут сосуществовать в одной и той же местности, если их экологические потребности идентичны. Такие виды обязательно должны быть разобщены в пространстве или во времени».*

Поэтому сама по себе экологическая ниша не может быть занята двумя или более видами. Даже очень близкие виды чем-то различаются (например, бодрствуют в разное время, имеют разные размеры).

Экологическая ниша, как функциональное место вида, не может относительно долго пустовать.

В природе существует **правило экологического дублирования**: *исчезающий (или уничтожаемый) вид живого организма в рамках одного уровня экологической пирамиды заменяется другим по следующей схеме:*

- мелкая особь сменяет крупную;
- ниже организованный эволюционно - более высокоорганизованным;
- более генетически лабильный менее генетически изменчивым.

Поскольку экологическая ниша в биоценозе не может пустовать, экологическое дублирование происходит обязательно. Некоторыми учеными высказывалось предположение, что примером обязательности заполнения экологических ниш служит возникновение новых заболеваний. Так, СПИД был предсказан за десять лет до его появления как гриппоподобный вирус с

высоким процентом летального исхода. Основанием для этого предсказания послужило то, что победа медицины над многими инфекционными болезнями высвободила пустующие экологические ниши, которые должны быть заполнены.

Виды животных и растений, привнесенные из других экосистем и чуждые данной экосистеме, или не приживаются, или, не имея врагов, бурно размножаются и выводят из устойчивого состояния данную экосистему и могут быть причиной ее гибели.

### **Адаптации живых организмов к экологическим факторам**

Животные и растения вынуждены приспосабливаться к множеству экологических факторов, причем эти приспособления вырабатываются и закрепляются в процессе эволюции и естественного отбора на генетическом уровне.

*Эволюционно выработанные и наследственно закрепленные особенности живых организмов, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность в условиях динамических экологических (биотических и абиотических) факторов, называются адаптациями.* Очевидно, что любой живой организм может обитать лишь в тех местах, где режимы экологических факторов соответствуют необходимым условиям. Особи, не приспособленные к данным или изменяющимся условиям, вымирают.

Выделяют три вида адаптаций:

- **морфологические** - сопровождаются изменением в строении организма и приводят к образованию определенных жизненных форм (например, растения, обитающие в пустынях, лишены листьев, и их строение наилучшим образом приспособлено к минимальным потерям влаги);

- **физиологические** – изменения в физиологии организмов (например, способность верблюда обеспечивать организм влагой путем биохимического окисления запасов жира);

- **поведенческие (этологические)**, т.е. изменение поведения организма в ответ на изменение факторов среды. Существуют разные формы приспособительного поведения животных, направленные на обеспечение нормального теплообмена с окружающей средой. Это - создание убежищ, сезонные миграции млекопитающих и птиц, впадение в спячку в зимний период времени и т.д. Особенности поведения животных направлены на то, чтобы избежать угрозы оказаться в экстремальных условиях.

## Взаимодействие видов в природе

Взаимодействие различных видов в экосистеме основано на пищевых и пространственных взаимоотношениях. Различают:

- 1) нейтрализм;
- 2) межвидовую конкуренцию;
- 3) хищничество;
- 4) паразитизм;
- 5) симбиоз (мутуализм и комменсализм).

**Нейтрализм** - сожительство двух видов на одной территории, не имеющее для них ни положительных, ни отрицательных последствий. Например, белки и лоси не оказывают друг на друга значительных воздействий.

**Межвидовая конкуренция** - это конкуренция между особями различных видов за доступные ресурсы, например, пищу, убежище и пространство. Так, если два вида находятся на одном трофическом уровне, то между ними весьма вероятна конкуренция за пищу. Со временем адаптивная эволюция одного или обоих видов может привести к тому, что каждый вид в пределах одного трофического уровня будет занимать отдельную нишу, и конкуренция, таким образом, будет сведена к минимуму. В других случаях, когда конкурирующие виды занимают одинаковые или сильно перекрывающиеся ниши, может быть достигнуто равновесие, при котором ни один из видов не будет развиваться столь же успешно, как и в отсутствие конкурента, или же численность одного из видов начнет снижаться, и он будет полностью вытеснен. Последнее явление называется *конкурентным исключением*.

**«Хищник – жертва»** - взаимоотношения, при которых один из участников (хищник) умерщвляет другого (жертва) и использует его в качестве пищи. Например, волки и зайцы. Состояние популяции хищника тесно связано с состоянием популяции жертв. Однако при сокращении численности популяции одного вида жертв, хищник переключается на другой вид. Например, волки могут использовать в качестве пищи зайцев, мышей, косуль, кабанов, лягушек, насекомых и т.д.

Частным случаем хищничества является - **каннибализм**. Каннибализм - это умерщвление и поедание себе подобных. Встречается у крыс, бурых медведей и человека.

**Паразитизм.** Паразит (от греч. *para* – около и *sitos* – пища) обитает внутри или на поверхности тела другого организма, называемого хозяином, и получает от него пищу и, как правило, местообитание. В данном случае совместное существование выгодно только паразиту, тогда как хозяину его присутствие может приносить вред. Процветающий паразит может существовать с хозяином, не причиняя ему серьезного вреда и обеспечивая себе, таким образом, собственное будущее.

Паразиты, которые обитают на поверхности тела хозяина, называются **эктопаразитами**, например клещи, блохи, пиявки, грибы. Паразиты,

обитающие внутри организма хозяина, называются **эндопаразитами**, например, малярийный плазмодий, цепень, кишечные паразиты.

Некоторые зеленые растения являются полупаразитами: обладая способностью к фотосинтезу, микроэлементы тем не менее они получают от хозяина. Примером таких растений может служить *омела белая*, гаустории которой проникают в древесину растения-хозяина и высасывают из нее минеральные соли и воду.

**Симбиоз.** Симбиоз (от греческого *simbiosis* – совместная жизнь) – одна из форм совместного существования двух различных организмов. Существуют две разновидности симбиоза – мутуализм и комменсализм.

**Мутуализм** - это взаимовыгодные отношения между двумя организмами. Иногда этот термин используют вместо термина «симбиоз». Мутуализм может существовать между двумя животными, двумя растениями или между растением и животным. Так, например, актиния *Calliactis parasitila* прикрепляется к раковине, в которой живет рак-отшельник. Актиния питается остатками пищи краба и перемещается вместе с ним с одного места на другое. В свою очередь она обеспечивает маскировку крабу, а ее стрекательные клетки служат ему защитой.

Растительные жвачные дают приют обширной фауне ресничных, например, *Entodinium*. Ресничные, которые существуют только в анаэробных условиях и обитающие в пищеварительном тракте жвачных, питаются содержащейся в пище хозяина целлюлозой, превращая ее в такие соединения, которые уже сами жвачные способны переваривать до продуктов, подвергающихся всасыванию и ассимиляции.

Бобовые, например, люцерна, клевер, горох и соя, живут в тесном соседстве с бактериями, позволяя им «инфицировать» свою корневую систему. Но это не причиняет растениям вреда. Напротив, под их воздействием на корнях образуются клубеньки, где бактерии поселяются и, увеличиваясь в 40 раз, становятся так называемыми *бактероидами*. Их задача – превратить азот в соединения, которые могут усваиваться бобовыми. Бактерии же, в свою очередь, получают от растений питание.

**Комменсализм** (лат. *com* – с, вместе и *mensa* – стол, трапеза) – такая форма симбиоза, при которой один из партнеров извлекает пользу из совместного существования с другим партнером (иногда называемым хозяином). При такой форме симбиоза хозяин не получает от совместного существования ни пользы, ни вреда. Так, например, колониальный полип *Hydractinia echinata* прикрепляется к раковинам брюхоногих моллюсков, в которых обитают раки-отшельники. Полип получает от краба питание, поглощая остатки его пищи, а для краба такое совместное существование является совершенно безразличным. Или, например, в открытом океане некоторые виды рачков селятся прямо на челюстных костях китов. В результате такого сожительства рачки приобретают безопасное убежище и стабильный

источник пищи. Для кита от такого соседства нет никакой пользы, но и вреда оно тоже не приносит.

Другим примером комменсализма служат взаимоотношения крупных хищников и падальщиков. Падальщики, например, гиены, грифы питаются останками жертв, убитых и частично съеденных крупными хищниками – львами. Но они часто отбирают у льва-одиночки пищу, оставляя его тем самым голодным.

### **Гомеостаз и сукцессия экологической системы**

Экосистемы существуют в течение длительного интервала времени, т.е. они обладают определенной устойчивостью во времени и в пространстве. Различают три вида устойчивости экосистем:

1) *инертность или выносливость* - способность экосистемы сопротивляться различным изменениям;

2) *постоянство* - способность экосистем сохранять свои размеры;

3) *упругость* – способность живых систем самовосстанавливаться после внешнего воздействия, если оно не носило катастрофический характер. Так, если зрелый дождевой тропический лес будет вырублен, сожжён или повален ветром, то через 50 лет на этом месте вновь будет дождевой тропический лес.

Для поддержания относительной стабильности экосистемы в ней необходимо иметь сбалансированность потоков вещества и энергии и сбалансированность потоков обмена веществ.

Но, с другой стороны, ни одна экосистема не бывает абсолютно стабильной. Например, численность одних видов растений и животных периодически увеличивается, других - уменьшается. Подобные процессы в естественных условиях имеют более или менее закономерную периодичность, но в целом не выводят систему из равновесия.

Состояние подвижно-стабильного равновесия экосистемы называется **гомеостазом** («гомео» - тоже, «стазис» - состояние). Другими словами, **гомеостаз - это способность экосистем к авторегуляции при изменении условий среды**. В естественных экосистемах гомеостаз поддерживается за счет того, что они открыты, т.е. получают непрерывно вещество и энергию из окружающей среды. Например, к растениям непрерывно поступает солнечная энергия, химические соединения из воздуха и почвы. В антропогенных системах (например, в аквариуме), которые не являются открытыми, гомеостаз поддерживается человеком, путем субсидирования их веществом и энергией.

Несмотря на то, что экосистемы находятся в состоянии гомеостаза, они испытывают медленные, но постоянные во времени изменения, имеющие последовательный характер. Эти изменения касаются в первую очередь биоты.

Организмы большинства сообществ и экосистем могут адаптироваться не только к незначительным и средним изменениям условий окружающей среды, но также и к довольно серьезным изменениям.

Иногда, в результате естественных причин (пожаров, наводнений, извержений вулканов, землетрясений, отступления ледников) или антропогенных изменений окружающей среды (пожаров, расчистки угодий, открытой добычи полезных ископаемых, затопления участков суши для создания прудов и водохранилищ, загрязнения) остается на территориях мало растительности и почвы. После подобного крупномасштабного нарушения данный участок обычно начинает вновь возрождаться в несколько этапов. Во-первых, несколько неприхотливых *пионерных видов* заселяют участок и начинают формировать почвы или – в водных экосистемах – донные отложения. В конце концов, эти пионерные виды изменяют почву или донные отложения и прочие условия настолько, что участок становится менее пригодным для них и более пригодным для новой группы растений и животных с другими экологическими требованиями. Такой процесс, при котором сообщества одних видов растений и животных замещаются с течением времени серией различных и обычно более сложных сообществ, называется *экологической сукцессией* или *биотическим развитием*. Иными словами, ***сукцессия – это развитие экосистемы, состоящее во временном изменении видовой структуры, т.е. это последовательная смена биоценозов (экосистем), выраженная в изменении видового состава и структуры сообщества под влиянием природных и антропогенных факторов.*** Сукцессия - это изменение не только биоты, но и целостный необратимый процесс изменения всего комплекса абиотических факторов.

К сукцессиям относятся: опустынивание степей, зарастание озер, образование болот и т.д.

В зависимости от причин, вызывающих смену биоценоза, сукцессии делят на природные и антропогенные, аутогенные и аллогенные.

***Природные сукцессии*** происходят под действием естественных причин, не связанных с деятельностью человека.

***Антропогенные сукцессии*** обусловлены деятельностью человека.

***Аутогенные сукцессии*** (самозарождающиеся) возникают вследствие внутренних причин (изменения среды под действием сообщества).

***Аллогенные сукцессии*** (порожденные извне) вызваны внешними причинами (например, изменением климата).

В зависимости от первоначального состояния субстрата, на котором развивается сукцессия, различают первичные и вторичные сукцессии.

***Первичная сукцессия*** – это процесс развития и смены экосистем на субстрате, не измененном (или почти не измененном) деятельностью живых организмов.

Таковыми участками, к примеру, могут быть новые водоемы, скалы или глины после отступления ледника или прохождения селя, остывшая

вулканическая лава, участки открытой добычи полезных ископаемых, с которых снят верхний слой почвы. На таких бесплодных участках, например скалы, первичная сукцессия от голой скальной породы к зрелому лесу может занять время от сотен до тысяч лет.

Процесс начинается с поселения на скалах накипных лишайников. Уже на этой стадии формируется комплекс микроскопических водорослей, простейших нематод, некоторых насекомых и клещей, которые способствуют созданию почвы. Позднее здесь поселяются мхи и осоки, затем появляются сосудистые растения. Параллельно идет обогащение животного мира.

Более распространенным типом сукцессий является **вторичная сукцессия**, то есть последовательное развитие сообществ на территории, где естественная растительность была устранена или сильно нарушена, но почва или донные отложения не были уничтожены. Вторичные сукцессии происходят на месте уже существующих биогеоценозов после их нарушения в результате – вырубки, пожара, вспашки, извержения вулкана и т.д. Таким образом, **вторичная сукцессия** – это восстановление экосистемы, когда-то уже существовавшей на данной территории.

*Пример:* сукцессия хвойного леса после опустошительного пожара. Она начинается с образования в течение 1 - 3 лет на освободившейся территории вейникового луга. На освещенных, относительно сухих и хорошо прогреваемых местах формируется временное одноярусное сообщество из светолюбивых трав. Первыми здесь развиваются виды с легко распространяемыми семенами: вейник, Иван-чай и др. Затем идет лесовозобновление: прорастают светолюбивые лиственные породы (осина, береза, ивы и т.д.); поселяются кустарники (4 – 9 лет). Одновременно формируется комплекс животного населения: многочисленные насекомые, грызуны, птицы и рептилии. После смыкания крон и перехода сообщества от стадии жердняка в фазу лиственного леса (через 10 – 15 лет от начала сукцессии) биоценоз вновь усложняется за счет появления более полного комплекса растительности и животного населения, характеризующего спелые лиственные леса. Под древесным пологом, в условиях затенения и повышенной влажности начинается интенсивное прорастание семян ели. Постепенно хвойный молодняк окончательно заглушает травянистую растительность, ее сменяют мхи и лесное разнотравье. Старые лиственные деревья затеняются, выходящими в первый ярус, елями и смыкание еловых крон еще больше угнетает березы и осины (50 – 70 лет от начала сукцессии). В конце концов, лиственные деревья выпадают, и восстанавливается исходный тип лесного сообщества с господством ели. Соответственно меняется комплекс фауны. Весь процесс от пожара (вырубки) до формирования устойчивого таежного биоценоза занимает в среднем 90 – 150 лет.

**Климаксовая экосистема.** В своем развитии экосистема стремится к устойчивому состоянию. Сукцессионные изменения происходят до тех пор, пока не сформируется стабильная экосистема, производящая максимальную биомассу на единицу энергетического потока. **Сукцессия завершается стадией, когда все виды растений и животных в экосистеме размножаясь, сохраняют постоянную численность и дальнейшей смены ее состава не происходит. Такое равновесное состояние называют климаксом, а экосистему - климаксовой.**

**Примеры:** в сухом и жарком климате – это пустыня; во влажном жарком климате - дождевой тропический лес; в средневропейской полосе – лиственный лес возраст, у которого более 70 лет.

### Экологические нарушения

При сукцессиях изменения происходят медленно и постепенно: это более или менее упорядоченный процесс замещения одних видов другими. Однако возможны и внезапные резкие изменения, возникающие популяционные взрывы некоторых видов за счет гибели большинства других. В таких случаях говорят не о сукцессии, а об **экологическом нарушении**.

Нарушения возникают часто при необдуманном воздействии человека на природу, например, в результате сброса богатых биогенами (питательными веществами) сточных вод в естественные водоемы, вызывающие бурный рост некоторых водорослей.

Наконец, изменения могут быть столь резкими, что практически ни один исходный компонент биосистемы не сохраняется. Тогда говорят о ее гибели. Экосистемы гибнут по причине:

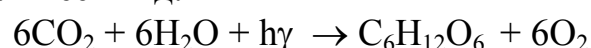
- загрязнения среды токсичными отходами;
- изменения гидрорежима, например, при осушении болот и т.д.

### Энергия в экологических системах и их продуктивность

#### *Синтез первичного органического вещества*

Автотрофные организмы способны полностью самостоятельно синтезировать в процессах фото- и хемосинтеза органические вещества из неорганических молекул, потребляемых из внешней среды. При этом происходит образование простых органических соединений (аминокислот, моносахаридов и жирных кислот), из которых в дальнейшем синтезируются макромолекулы (белки, жиры и углеводы).

**Фотосинтез** (фотоавтотрофия) - синтез органических соединений за счет энергии света в продуцентах - зеленых растениях. Суммарное уравнение фотосинтеза имеет вид:



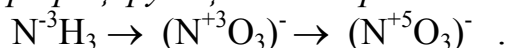


Фотосинтез протекает при участии фотосинтезирующих пигментов, обладающих уникальным свойством преобразования энергии солнечного света ( $\lambda = 380 - 710$  нм) в энергию химических связей. Это главным образом зеленые (хлорофиллоносные) растения, но к фотосинтезу способны и представители синезеленых водорослей (цианобактерии), которые, по-видимому, были первыми фотосинтетиками в эволюции жизни на Земле. Это процесс эндотермический, он идет с поглощением солнечной энергии (т.е. против термодинамического градиента) и с увеличением свободной энергии в органическом веществе и ее накоплением.

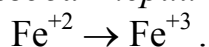
**Хемосинтез** – процесс синтеза органических соединений из неорганических ( $\text{CO}_2$  и др.) за счет химической энергии связей в клеточных бактериях - прокариотах. Химическая энергия высвобождается в процессах окисления неорганических веществ (серы, водорода, сероводорода, железа, аммиака и др.)

К хемосинтезу способны только хемосинтезирующие бактерии: нитрифицирующие, водородные, железобактерии, серобактерии и др. Все хемосинтетики являются облигатными аэробами, так как используют кислород воздуха.

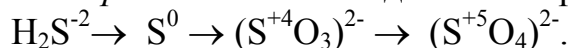
*Нитрифицирующие бактерии* окисляют соединения азота:



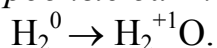
*Железобактерии* превращают закисное железо в окисное:



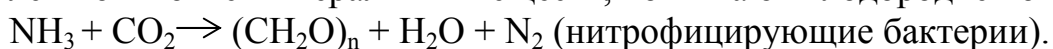
*Серобактерии* окисляют соединения серы:



*Водородные бактерии* окисляют свободный водород до воды:



Высвобождающаяся в ходе реакций окисления энергия запасается ими и используется для синтеза органических соединений. Хемосинтезирующие бактерии играют очень важную роль в очистке сточных вод, способствуют накоплению в почве минеральных веществ, повышают плодородие почвы.



Суммарная масса автотрофов-продуцентов составляет более 95% массы всех живых организмов в биосфере.

Растения усваивают из атмосферы воздуха огромное количество углекислоты – примерно  $3 \cdot 10^{11}$  тонн/год и выделяют примерно  $1,5-3 \cdot 10^{11}$  тонн/год кислорода.

В отличие от продуцентов, консументы (гетеротрофы) не способны к реакциям фотосинтеза, поэтому используют солнечную энергию опосредованно, т.е. через органическое вещество, созданное продуцентами. Таким образом, в экосистеме образуется цепь последовательной передачи энергии от одних организмов другим или **трофическая (пищевая) цепь**. (греч. Трофе-питаться)

Все животные – консументы, и их роль в поддержании устойчивого биогенного круговорота очень велика.

В процессе собственного *метаболизма*, т.е. совокупности всех химических реакций, протекающих в живом организме, гетеротрофы разлагают полученные в составе пищи органические вещества и на этой основе строят вещества собственного тела. Трансформация первично продуцированных автотрофами веществ в организмах консументов ведет к увеличению разнообразия живого вещества. Разнообразие же – необходимое устойчивости кибернетической системы на фоне внешних и внутренних возмущений (принцип Эшби). Живые системы – от организма до биосферы в целом функционируют по кибернетическому принципу «обратной связи» (см. стр. 94).

Животные, составляющие основную часть организмов-консументов, отличаются большой подвижностью, способностью к перемещению в пространстве. Они эффективно участвуют в миграции живого вещества, дисперсии его по поверхности планеты, что с одной стороны – стимулирует пространственное расселение жизни, а с другой – служит своеобразным «гарантийным механизмом» на случай уничтожения жизни в каком-либо месте в силу тех или иных причин.

*Пример «пространственной гарантии».*

В результате извержения вулкана на острове Кракатау в 1883 г. жизнь на острове была полностью уничтожена, но в течение всего 50 лет восстановилась – было зарегистрировано порядка 1200 видов. Заселение шло главным образом за счет не затронутых извержением островов Явы, Суматры и др., откуда разными путями растения и животные вновь заселили покрытый пеплом и застывшими потоками лавы остров. При этом первыми (уже через три года) на вулканическом туфе появились пленки цианобактерий. Процесс становления устойчивых сообществ на острове продолжается; лесные ценозы еще находятся на ранних стадиях сукцессии и сильно упрощены по структуре.

Наконец, чрезвычайно важна роль консументов, в первую очередь животных, как регуляторов интенсивности потоков вещества и энергии по трофическим цепям.

В процессе питания на всех трофических уровнях появляются отходы, которые разлагаются и перерабатываются благодаря существованию редуцентов. При их работе в процессе метаболизма происходит разложение остатков до минеральных веществ (вода и углекислый газ), которые вновь становятся доступными продуцентам. Таким образом, образуется круговорот веществ в экосистемах.

В принципе система регулирования потоков вещества в биогенном круговороте, основанная на комплементарности составляющих эту систему экологических категорий живых организмов, работает по принципу безотходности производства. Однако в идеале этот принцип соблюден быть не может в силу большой сложности взаимодействующих процессов и влияющих на них факторов. Результатом нарушения полноты круговорота явились

отложения нефти, каменного угля, торфа, сапропелей (сапропель - это многовековые донные отложения пресноводных водоемов, которые сформировались из отмершей водной растительности, остатков живых организмов, планктона, также частиц почвенного перегноя, содержащий большое количество органических веществ, гумуса). Все эти вещества несут в себе энергию, первоначально запасенную в процессе фотосинтеза. Использование их человеком – как бы «оставленное во времени» завершение циклов биологического круговорота.

### ***Трофические цепи и сети***

В функционирующей природной экосистеме не существует отходов. Все организмы, живые или мертвые, потенциально являются пищей для других организмов: гусеница ест листву, дрозд питается гусеницами, ястреб способен съесть дрозда. Когда растения, гусеница, дрозд и ястреб погибают, они, в свою очередь, перерабатываются редуцентами.

***Цепь питания (трофическая цепь)*** – последовательность организмов, по которой передается энергия, заключенная в пище, от ее первоначального источника. Пищевые цепи – это путь однонаправленного потока крохотной части высокоэффективной солнечной энергии, поглощенной в процессе фотосинтеза, через живые организмы экосистемы в окружающую среду в виде низкоэффективной тепловой энергии. Каждое звено цепи называется ***трофическим уровнем***. Первый трофический уровень – продуценты (автотрофные организмы, преимущественно зеленые растения). Второй трофический уровень – консументы первого порядка (растительноядные животные). Третий трофический уровень – консументы второго порядка (первичные хищники, питающиеся растительноядными животными). Четвертый трофический уровень – консументы третьего порядка (вторичные хищники, питающиеся плотоядными животными). Трофические цепи бывают относительно простыми: трава/кора осины → заяц → лиса; или более сложными: трава → насекомые → ящерицы/лягушки → змеи → хищные птицы. Но в пищевой цепи редко бывает больше 4 – 5 трофических уровней. Последний трофический уровень – редуценты (сапрофитные бактерии и грибы). Они осуществляют минерализацию – превращение органических остатков в неорганические вещества.

Различают два типа пищевых цепей.

***Цепи выедания (или пастбищные)*** – пищевые цепи, начинающиеся с живых фотосинтезирующих организмов зеленых растений и обычно составляют основу биоценоза. Например, фитопланктон → зоопланктон → рыбы микрофаги → рыбы макрофаги → птицы ихтиофаги.

***Цепи разложения (или детритные)*** – пищевые цепи, начинающиеся с организмов (сапрофитов), которые используют энергию, освобождающуюся при разложении ими отмерших остатков растений, трупов и экскрементов

животных (грибы и многие микроорганизмы). Например, детрит → детритофаги → хищники микрофаги → хищники макрофаги.

Таким образом, поток энергии, проходящий через экосистему, разбивается как бы на два основных направления. Энергия к консументам поступает через живые ткани растений или запасы мертвого органического вещества. Цепи выедания встречаются и в наземных и в водных экосистемах, а цепи разложения преобладают в экосистемах суши.

В сообществах пищевые цепи сложным образом переплетаются и образуют *пищевые сети*. На рис. 5 и 6 представлены примеры пищевых сетей в наземной и пресноводной экосистемах.

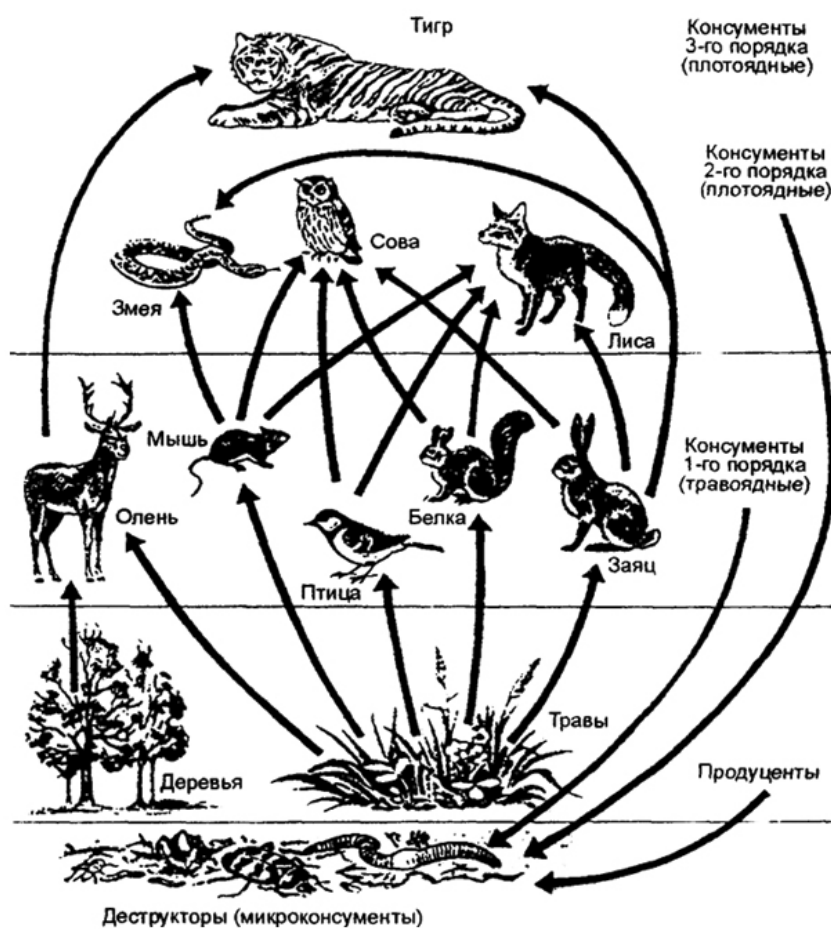


Рис. 5. Пищевая сеть в наземной экосистеме и направление потока вещества в ней (по Е.А. Криксунову и др., 1995)



Рис. 6. Пример пищевой сети в пресноводной экосистеме [9]

В состав пищи каждого вида консументов обычно входит не один, а несколько видов, каждый из которых, в свою очередь, может служить пищей нескольким видам мира фауны. С одной стороны, каждый трофический уровень представлен многими популяциями разных видов, а с другой стороны, многие популяции принадлежат к нескольким трофическим уровням. В результате, благодаря сложности пищевых связей, выпадение какого-то одного биологического вида часто не нарушает равновесия в экосистеме.

Трофическая цепь в экосистеме – это одновременно и энергетическая цепь, т.е. в ней происходит последовательный и упорядоченный поток энергии, передаваемый от Солнца сначала продуцентам, а от них ко всем остальным звеньям. Организмы-потребители (консументы, редуценты), питаясь органическим веществом продуцентов, получают от них энергию, частью идущую на построение собственного органического вещества и связывающуюся в молекулах соответствующих химических соединений, а частью расходуемую на дыхание, теплоотдачу, выполнение движений. Таким образом, в экосистеме имеет место непрерывный поток энергии, заключающийся в передаче ее от одного пищевого уровня к другому.

## ***Законы термодинамики и экосистемы. Понятие об эксергии***

Энергетический бюджет экосистемы строится на основе **первого закона термодинамики**, согласно которому ***энергия не исчезает и не возникает вновь, а из одной формы переходит в другую***. Отсюда следует, что количество энергии, поступившее в экосистему извне, должно быть равно сумме количества энергии, покидающей экосистему, и количества энергии, остающейся в экосистеме.

Первый закон термодинамики позволяет объяснить некоторые явления в окружающей природе и понять, что на продуктивность экосистем накладываются определенные ограничения. Пища содержит в себе запас химической энергии, используемый живыми организмами. Попав в организм, она расщепляется на более простые компоненты, высвобождая энергию. Часть этой энергии связывается и аккумулируется в тканях и органах, некоторое ее количество выделяется в виде тепла, а также расходуется на биохимические процессы, поддерживающие жизнедеятельность организма.

В экологии особенно значим **второй закон термодинамики**.

Во-первых, ***потери энергии в виде недоступного для использования тепла всегда приводят к невозможности 100% перехода одного вида энергии (кинетической) в другую (потенциальную) и наоборот. Как результат – невозможно создать вечный двигатель.***

Во-вторых, ***процессы, связанные с превращением энергии, могут происходить самопроизвольно только при условии, что энергия переходит из концентрированной формы в рассеянную.***

Этот процесс связан с рассеиванием энергии на каждом последующем звене, т.е. с ее потерями и возрастанием энтропии (беспорядочности). Рассеиваемая доля энергии компенсируется непрерывным поступлением энергии от Солнца.

На базе общих законов термодинамики сформулированы следующие законы термодинамики для экосистем.

1. Количество энергии неизменно, меняется только ее качество, то есть способность совершать работу. Солнечная энергия, поступая в экосистему, преобразуется в процессах анаболизма, в частности, в процессе фотосинтеза, и в конечном счете на выходе из экосистемы в процессе метаболизма, но ее количество неизменно.

2. Создание порядка в системе связано с большим потоком энтропии из системы, чем в систему. Поддержание структурной организации системы происходит за счет обмена энергией и энтропией со средой - достигается устойчивое состояние далекое от термодинамического равновесия (максимума энтропии).

3. Функционирование живых систем возможно только при температуре больше абсолютного нуля.

В этой связи термодинамические параметры экосистемы будут иметь следующий смысл. Баланс энергии, поглощенной экосистемой, как открытой диссипативной неравновесной системой равен:

$$\mathbf{B} = \mathbf{E}_x + U_{\text{св.}} + U_{\text{вн.}}, \quad (1)$$

где  $E_x$  - эксергия (энергия, обусловленная возможностью взаимодействия системы (поток энергии) с ее средой (система поглощающая энергию) и определяется величиной работы, которую может совершить система до установления термодинамического равновесия со средой);  $U_{\text{св.}}$  - связанная энергия (переход энергии в хаотическое движение составляющих систему частиц, равный произведению температуры системы на энтропию:  $U_{\text{св.}} = T \times S$ );  $U_{\text{вн.}}$  - приращение внутренней энергии (аккумуляция энергии в системе, поглощающей энергию, идущая на взаимодействие между элементами этой системы).

Известно, что принципы классической термодинамики в ряде случаев не учитывают реальную сложность рассматриваемых систем, особенно систем функционирования реальных промышленных объектов, в частности, особенности взаимодействия сложных химико-технологических систем (ХТС) с внешней средой. Тем не менее, все реально-действующие производства имеют непосредственный контакт с окружающей средой и являются открытыми, т.е. обменивающимися с внешней средой энергией, веществом и информацией.

Для учета указанных особенностей открытых систем весьма полезной характеристикой может служить величина эксергии, отражающая взаимосвязь энтальпии,  $H$ , энтропии,  $S$  и температуры,  $T$ :

$$\mathbf{E}_x = (H - H_0) - T_0(S - S_0), \quad (2)$$

где индекс «0» соответствует параметрам окружающей среды. Термодинамический смысл величины эксергии заключается в том, что она является мерой качества энергии, ее способности выполнять работу в данных условиях. Экологический смысл эксергии заключается в том, что она является мерой отклонения изучаемой системы от параметров окружающей среды. В открытой системе изменение энтропии представляет собой сумму двух вкладов:

$$dS = dS_e + dS_i, \quad (3)$$

где  $dS_e$  - поток энтропии, обусловленный обменом энергией и веществом с окружающей средой, а  $dS_i$  - производство энтропии внутри рассматриваемой системы.

Данный подход позволяет рассматривать неравновесные открытые системы с помощью анализа термодинамической самоорганизации структур, в которых локализован некий квазиравновесный процесс. В этом случае изменения в системе могут быть представлены как переход системы через ряд термодинамических квазиравновесных состояний, а зависимость состояний системы от времени может быть описана с помощью параметров, контролирующих наиболее медленный процесс.

## Солнце как источник энергии. Характеристика энергии

На рис. 7 представлено распределение потоков солнечной энергии в биосфере [10].

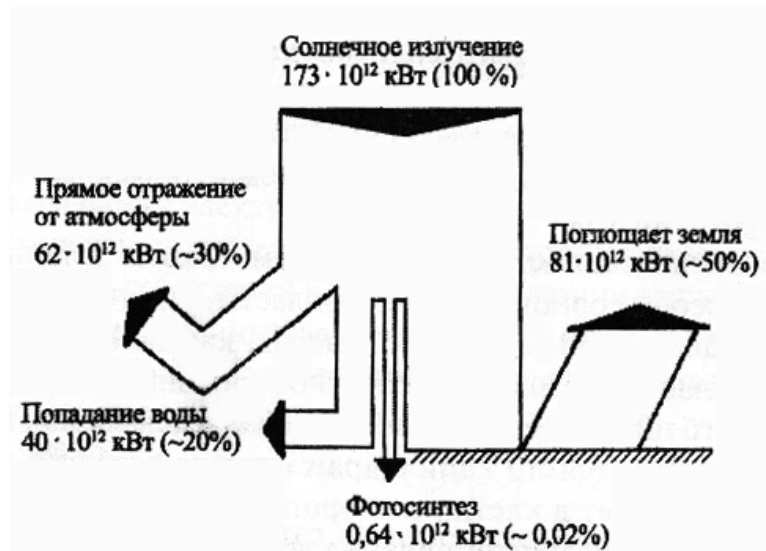


Рис. 7. Распределение потоков солнечной энергии в биосфере

Первичным источником энергии, используемой биосферой, является Солнце. От этого источника Земля получает около 99% энергии, причем это количество составляет около  $4 \cdot 10^9$  от суммарной энергии, излучаемой Солнцем. Энергия этого излучения усваивается в процессе фотосинтеза, затем трансформируется в химическую энергию биологических молекул и, в конце концов, рассеивается в космическом пространстве в виде теплового излучения. Солнечная энергия в той или иной форме фиксировалась на Земле в течение большей части ее эволюции, насчитывающей около 4,5 млрд лет. Распределение солнечной энергии в зависимости от широты определяет положение основных климатических зон, т.е. устанавливает пределы существования различных форм жизни. В перераспределении солнечной энергии важная роль принадлежит атмосфере и Мировому океану.

Поток солнечной энергии мощностью  $173 \cdot 10^{12}$  кВт подводится к внешней границе тропосферы (рис. 7). В среднем около 30% этого излучения рассеивается твердыми частицами атмосферы или же непосредственно отражается облаками. Эта часть энергии теряется и не участвует в циркуляции атмосферы. Примерно 20% солнечного излучения, проходя через атмосферу, поглощается. Из них 1 – 3% излучения, в основном ультрафиолетового, поглощается в верхних слоях атмосферы молекулами озона  $O_3$ . Это поглощение защищает биосферу от губительного действия ультрафиолетовых лучей. Излучение с длиной волны более 1 мкм поглощается в основном водяными парами, частицами пыли и капельками воды в облаках.



Около 50% солнечного излучения достигает поверхности суши и океанов. Часть этого излучения сразу отражается и направляется обратно в космическое пространство. Это коротковолновое излучение не меняет в процессе отражения длины волны. Остальное излучение поглощается сушей и океаническими водами, распространяется вглубь, превращаясь в тепловую энергию, затрачивается на испарение воды. Глубина, на которую это тепло может распространяться, зависит от свойств поглощающей поверхности. В океане толщина прогретого слоя иногда превышает 100 м. Перенос энергии в земной коре происходит за счет молекулярной теплопроводности и представляет собой более медленный процесс. На глубине 0,5 м суточные изменения температуры едва заметны. Поток энергии, достигающий поверхности Земли и поглощенный ею, в конце концов, излучается обратно в виде длинных инфракрасных волн. Соотношение между этими двумя потоками зависит от характера поверхности, ее отражательной способности, высоты Солнца над горизонтом и др.

Количество солнечной энергии, поступающей в живые организмы, ничтожно мало по сравнению с общим потоком энергии, достигающей поверхности Земли. В процессе фотосинтеза, протекающего в клетках зеленых растений, связывается всего около 0,02% энергии, получаемой от Солнца. Однако за счет этой энергии может синтезироваться несколько тысяч граммов сухого органического вещества на 1 м<sup>2</sup> земной поверхности в год. Более половины энергии, связанной при фотосинтезе, тут же расходуется в процессе дыхания самих растений. Остальная часть энергии запасается – идет для наращивания биомассы.

Максимальные значения эффективного использования лучистой энергии Солнца у растений составляет:

3 – 4,5% - у морских микроскопических водорослей;

1 – 3% - в тропических лесах;

0,6 – 1,2 % в лесах умеренного пояса;

0,6 % - в посевах сельскохозяйственных культур.

Энергия характеризуется не только количественными, но и качественными показателями, то есть одинаковые количества разных форм энергии могут сильно различаться по своему рабочему потенциалу.

Высококонцентрированные формы энергии, такие как энергия нефти, обладают более высоким рабочим потенциалом и соответственно более высоким качеством, чем такие «разбавленные» формы, как солнечный свет, а солнечный свет, в свою очередь, обладает более высоким качеством по сравнению с еще более разбавленным низкотемпературным теплом.

**Критерием качества энергии** может быть количество определенного типа энергии, затрачиваемое на получение другого ее типа в цепи превращения энергии, например, в пищевой цепи или в цепи превращения энергии, ведущей к получению электрической энергии. По мере того как в этой цепи уменьшается количество энергии, так как часть рассеивается в качестве тепла,

пропорционально на каждом этапе повышается качество той ее доли, которая перешла в новую форму.

*Удобным показателем качества энергии может быть количество калорий солнечного света, которое должно рассеяться, чтобы получилась одна калория более высококачественной формы.* Например, энергия пищи или древесины (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты качества энергии

Тип энергии	Солнечный эквивалент, кал	Эквивалент горючих ископаемых (нефть), кал
Солнечный свет	1.0	0.0005
Валовая продукция растений	100	0.05
Чистая продукция растений (в виде древесины)	1000	0.5
Горючие ископаемые (нефть, подготовленная к использованию)	2000	1.0
Энергия поднятой воды	6000	3.0
Электричество	8000	4.0

Химическая структура источника энергии опосредованно определяет его качество, как источника пищи для консументов.

Для природной пищевой цепи характерно снижение количества энергии на каждом последующем уровне от  $10^6$  ккал/м<sup>2</sup>·год, поступающих от солнца, до 100 ккал/м<sup>2</sup>·год или менее на уровне хищника (вторичного консумента), но качество энергии, измеренное в количестве рассеянных солнечных ккал, возрастает от 1 до 10000 (рис. 8).

**Уменьшение количества**

1000000 -----> 10000 -----> 1000 -----> 100 →

Солнце —————> Растения —————> Фитофаги —————> Хищники →

**Повышение качества**

1 -----> 100 -----> 1000 -----> 10000

Рис. 8. Схема повышения качества и снижения количества энергии в цепи ее переноса, начинающейся с Солнца

Процентное содержание энергии высокого качества, переходящей из одного трофического уровня в другой, колеблется от 2 до 30 % в зависимости от вовлекаемых типов живых организмов и от экосистемы, в которой происходит трансформация энергии. Экологи подсчитали, что в дикой природе в среднем около 10 % доступной высококачественной химической энергии одного трофического уровня трансформируется в доступную химическую энергию в организмах следующего уровня. Оставшаяся энергия используется для поддержания жизнедеятельности организмов, но большая ее часть теряется в окружающей природе как тепловая энергия низкого качества в соответствии со вторым началом термодинамики (согласно которому, любые виды энергии в конечном итоге превращаются в тепловую форму и рассеиваются).

### *Экологические пирамиды.*

#### *Закон пирамиды энергии – закон Линдемана (1942 г.) или правило 10%*

Внутри каждой экосистемы трофические сети имеют хорошо выраженную структуру, которая характеризуется природой и количеством организмов, представленных на каждом уровне различных пищевых цепей. Для изучения взаимоотношений между организмами в экосистеме и для их графического изображения обычно используют не схемы пищевых сетей, а экологические пирамиды. Экологические пирамиды выражают трофическую структуру экосистемы в геометрической форме. Они строятся в виде прямоугольников одинаковой ширины, но длина прямоугольников должна быть пропорциональна значению измеряемого объекта. Отсюда можно получить *пирамиды численности, биомассы и энергии.*

Экологические пирамиды отражают фундаментальные характеристики любого биоценоза, когда они показывают его трофическую структуру:

- их высота пропорциональна длине рассматриваемой пищевой цепи, т.е. числу содержащихся в ней трофических уровней;
- их форма более или менее отражает эффективность превращений энергии при переходе с одного уровня на другой.

***Пирамиды численности*** (пирамиды Элтона). Они представляют собой наиболее простое приближение к изучению трофической структуры экосистемы. При этом сначала подсчитывают число организмов на данной территории, сгруппировав их по трофическим уровням и представив в виде прямоугольника, длина (или площадь) которого пропорциональна числу организмов, обитающих на данной площади (или в данном объеме, если это водная экосистема). Установлено основное правило, которое гласит, что в любой среде растений больше, чем животных, травоядных больше, чем плотоядных, насекомых больше, чем птиц и т.д. (рис. 9, 10 (А и Б)).

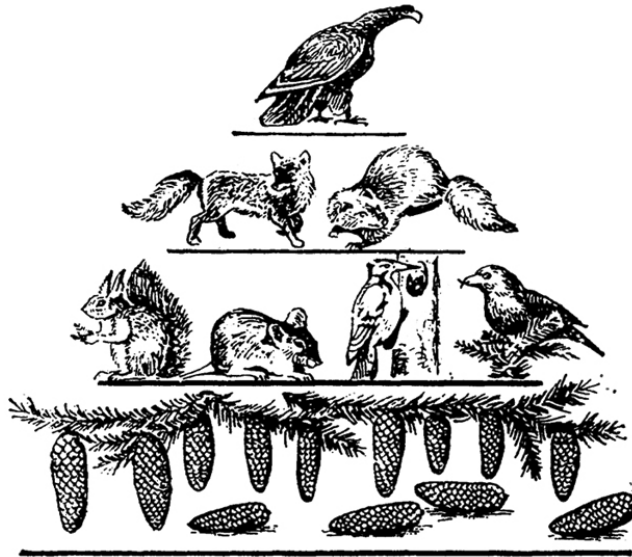


Рис. 9. Пирамиды численности (по Г.А. Новикову, 1979)

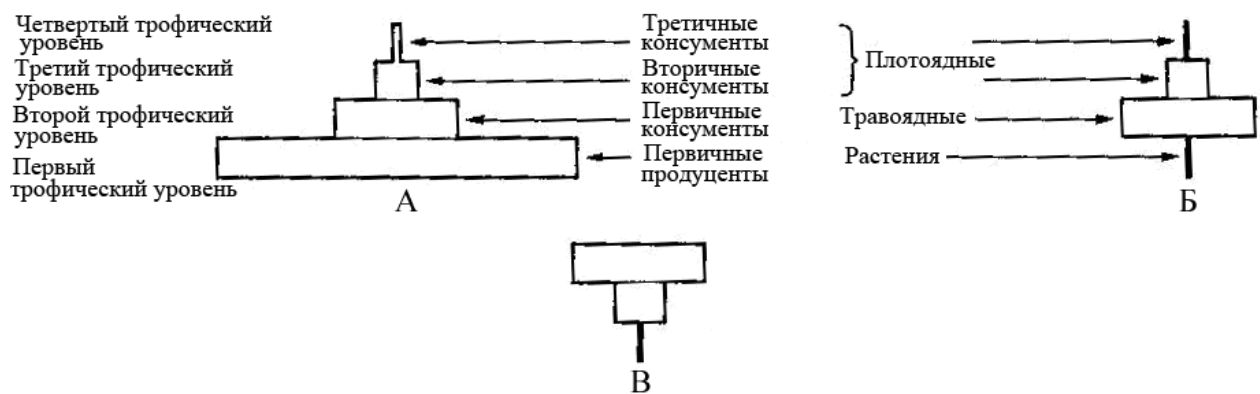
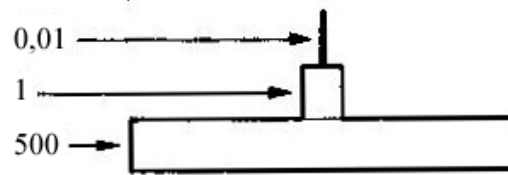


Рис. 10. Два типа обычных пирамид численности (А и Б) и перевернутая (паразитическая) (В) [9]

Пирамиды численности отражают плотность организмов на каждом трофическом уровне. В построении различных пирамид численности отмечается большое разнообразие. Нередко они перевернуты (рис. 10 (В)). Например, в лесу насчитывается значительно меньше деревьев (первичные продуценты), чем насекомых (растительноядные). Подобная же картина наблюдается в пищевых цепях сапрофитов и паразитов.

**Пирамида биомассы.** Отражает более полно пищевые взаимоотношения в экосистеме, так как в ней учитывается суммарная масса организмов (*биомасса*) каждого трофического уровня. Прямоугольники в пирамидах биомассы отображают массу организмов каждого трофического уровня, отнесенную к единице площади или объема. Форма пирамиды биомассы нередко сходна с формой пирамиды численности. Характерно уменьшение биомассы на каждом следующем трофическом уровне (рис. 11, А [9]).



А. Зброшеное поле (Джорджия, США)



Б. Ла-Манш

Рис. 11. Пирамиды биомассы. Цифры отражают продукцию, выраженную в граммах сухой массы, приходящуюся на  $1 \text{ м}^2$  (по Ю. Одуму (1971))

Пирамиды биомассы, так же как и численности, могут быть не только прямыми, но и перевернутыми (рис. 11, Б). Перевернутые пирамиды биомассы свойственны водным экосистемам, в которых первичные продуценты, например фитопланктонные водоросли, очень быстро делятся, а их потребители - зоопланктонные ракообразные - гораздо крупнее, но имеют длительный цикл воспроизводства. В частности, это относится к пресноводной среде, где первичная продуктивность обеспечивается микроскопическими организмами, скорость обмена веществ которых повышена, т.е. биомасса мала, производительность велика.

**Пирамида энергии.** Наиболее фундаментальным способом отображения связей между организмами на разных трофических уровнях служат пирамиды энергии. Они представляют эффективность преобразования энергии и продуктивность пищевых цепей, строятся подсчетом количества энергии (ккал), аккумулированной единицей поверхности за единицу времени и используемой организмами на каждом трофическом уровне.

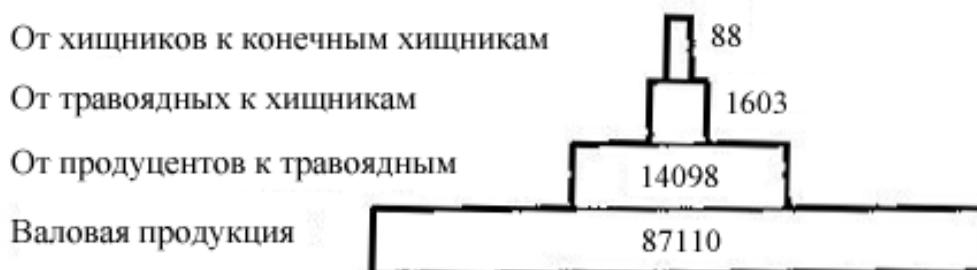


Рис. 12. Пирамида энергии. Цифрами обозначено количество энергии на каждом трофическом уровне в  $\text{кДж}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$  (по Ю. Одуму (1971)) [9]

В соответствии с законом пирамиды энергий Линдемана – 1942 г. (правило 0,1 или 10 %): *с одного трофического уровня экологической пирамиды (по лестнице продуценты → консументы → редуценты) переходит на другой, более высокий её уровень в среднем ~ 10% от поступившей энергии на предыдущий уровень экологической пирамиды.*

Пирамиды энергии свидетельствуют о том, что чем длиннее пищевая цепь или сеть, тем больше теряется полезной высококачественной энергии. Пирамида энергетических потоков объясняет, почему можно прокормить большее число людей, если сократить пищевую цепь до прямого потребления зерновых (например, рис – человек), чем, если в качестве пищи использовать мясо животных, потребляющих зерно (зерно – говядина – человек).

В форме пирамид принято выражать продуктивность экологических систем и соотношение в них различных трофических уровней.

Экологические пирамиды наглядно иллюстрируют соотношение биомасс и эквивалентных им потоков энергии в каждом звене трофической цепи и часто используются в практических расчетах, например, для обоснования необходимой посевной площади под с/х культуры с тем, чтобы обеспечить кормами скот, а следовательно, и потребность населения в животном белке.

### ***Энергетика и продуктивность экосистемы***

В процессе жизнедеятельности сообщества создается и расходуется органическое вещество. Это значит, что каждая экологическая система обладает определенной продуктивностью. Продуктивность оценивают, соотнося массу вещества с некоторой единицей времени и выражают в единицах энергии или вещества на единицу площади за 1 сутки. Следовательно, продуктивность может быть рассмотрена, как скорость образования органического вещества.

Каждая экосистема обладает определенной продуктивностью, как создает органическое вещество. ***Продуктивность*** - это скорость образования органического вещества или биомассы в целом.

***Валовая или первичная продуктивность*** - скорость, с которой *лучистая энергия Солнца усваивается организмами-продуцентами (P)*, т.е. – это общая биомасса, созданная растениями в ходе фотосинтеза. Например, если за 1 год растительные организмы леса в результате фотосинтеза образовали 5 т/га органического вещества, то это и есть валовая продуктивность.

Однако в процессе жизнедеятельности растений часть созданного вещества расходуется на дыхание.

***Дыхание*** – это доля энергии или биомассы, затрачиваемая на поддержание собственной структуры (R). Следовательно, в единицу

времени на единице площади накапливается меньше биомассы, чем ее было создано.

***Вся накопленная экосистемой биомасса за вычетом того вещества (энергии), что пошло на дыхание, составляет фактическую, или чистую первичную продуктивность сообщества ( $P_{пер}$ ).***

Чистая первичная продукция доступна на следующем трофическом уровне (гетеротрофам). Консументы тоже создают органическое вещество за счет чистой первичной продуктивности, но сами синтезировать органические вещества из неорганических не могут. ***Продуктивность консументов носит название вторичной продуктивности ( $P_{втор}$ ).***

Самой высокой биомассой и продуктивностью обладают тропические дождевые леса, самой низкой – пустыни и тундры. В табл. 3 приведены биомассы разных типов экосистем.

Таблица 3

Биомассы разных типов экосистем (Н.Ф.Реймерс, 1990 г.)

Тип экосистем	Площадь, в $10^6$ км	Биомасса растений, кг/м <sup>2</sup>		Мировая величина	
		Колебания	В среднем	Биомасса растений, в $10^9$ т	Биомасса животных, в $10^6$ т
Влажные тропические леса	17.0	6 - 80	45	765	330
Вечнозеленые леса умеренного пояса	5.0	6 - 200	35	175	50
Листопадные леса умеренного пояса	7.0	6 - 60	30	200	110
Тайга	12.0	6 - 40	20	240	57
Тундра	8.0	0.1 -	0.6	5	35
Пустыни	18.0	0.1 - 4	0.7	13	8
Культивируемые земли	14.0	0.4 - 12	1	14	6
Морские системы в целом	361	-	0.01	3.9	997
Общая биомасса Земли	510	-	3.6	1841	2002

Продуктивность экосистемы зависит от множества факторов, и в первую очередь, от абиотических факторов: тепла, влаги и др. Также она зависит и от антропогенного воздействия. В угнетенном состоянии продуктивность экосистем минимальна, если не равна нулю.

Продуктивность экосистем, в целом, определяется низшим звеном, т.е. продуцентами, т.к. высшие звенья трофической цепи потребляют уже созданное органическое вещество.

### *Потоки энергии в системах консументов и редуцентов*

Существование трофических цепей связано с передачей энергии от высшего звена к низшему. В ходе этого процесса происходят неизбежные потери, в результате чего **общая биомасса, продукция и энергия прогрессивно уменьшаются по мере перехода на более высокие трофические уровни**. Считается, что с каждого трофического уровня на следующий переходит не более 10% биомассы и соответственно энергии, в связи с чем длина пищевой цепи постепенно ограничивается, а численность особей прогрессивно уменьшается от низших к высшим звеньям.

Характерная черта всех консументов – вторичная продукция – обычно на порядок ниже, определяющей ее первичной. Результатом является своеобразная трофическая пирамида. Куда же расходуется оставшаяся энергия.

Во-первых, не вся растительная биомасса съедается. Значительная часть биомассы ассимилируется и переходит в биомассу консументов. Некоторая ее часть теряется с выделениями организмов и также поступает к редуцентам. И наконец, не вся ассимилированная энергия превращается затем в биомассу более высокого трофического уровня. Часть ее теряется в виде тепла в процессе дыхания.

На рис. 13 приведена схема распределения потоков вещества и энергии среди продуцентов и консументов.

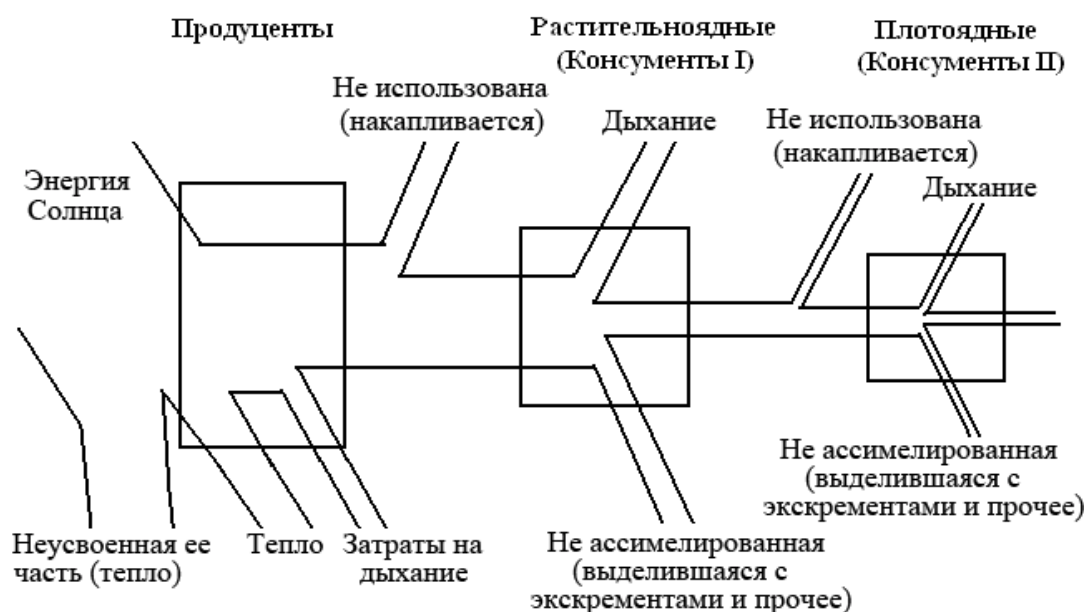


Рис. 13. Схема распределения потоков вещества и энергии среди продуцентов и консументов (по Ю. Одуму, 1971) [11]



**Ассимиляция (лат) – это усвоение питательных веществ живыми клетками.**

Энергия может проходить через сообщество многими альтернативными путями. Организмы, составляющие одну и ту же экологическую нишу, функционируют по-разному. Так, энергия может быть потреблена и ассимилированная беспозвоночным фитофагом, использующим ее для совершения работы и теряющим с теплом при дыхании. Она может быть потреблена позвоночным фитофагом, а позднее ее использует хищник, который, поглотив, превратится в мертвое органическое вещество. После его гибели его энергию использует гриб, почвенный клещ. В каждом случае по пути энергии она может оказаться не ассимилированной (перейдет в мертвое органическое вещество) или ассимилированной и израсходованной на дыхание, рост тела или создание потомства. В конце концов каждый джоуль поглощенной солнечной энергии уходит из экосистемы с рассеиваемым в процессе дыхания теплом.

**«Маршруты» энергии в системах консументов и редуцентов, по-видимому, одни и те же, за одним исключением – фекалии и мертвые организмы в системах консументов теряются, поступая в систему редуцентов, а в системах редуцентов они как раз и составляют ее основу.**

Количество чистой первичной продукции, проходящее по каждому из возможных путей, определяется **эффективностью переноса энергии** по каждому из путей передачи с одного трофического уровня на другой. При анализе путей переноса энергии и расчетах первичной продукции используются три показателя: эффективность потребления, эффективность ассимиляции и эффективность продуцирования энергии. Эти показатели вычисляются по формулам [12]:

$$\text{ЭК} = (I_n / P_{n-1}) \cdot 100; \quad (4)$$

$$\text{ЭА} = (A_n / I_n) \cdot 100; \quad (5)$$

$$\text{ЭП} = (P_n / A_n) \cdot 100, \quad (6)$$

где ЭК, ЭА, ЭП – эффективность потребления консументами, эффективность ассимиляции и эффективность продуцирования соответственно, выраженные в процентах от суммарной продукции данного трофического уровня;

$P_n$  - продукция трофического уровня  $n$ ;

$I_n$  – потребление трофического уровня, на котором потребляется (съедается) продукция предыдущего трофического уровня ( $P_{n-1}$ ); (потребление включает в себя ассимиляцию плюс отходы);

$A_n$  – продукция, доступная для использования в ходе роста и совершения работы; (ассимиляция включает в себя дыхание и продукцию).

При использовании выражения (4) для фитофагов (консументов первого порядка) ЭК – это часть энергии, производимой в единицу времени в виде чистой продукции, которая попала в пищеварительный тракт

растительных. Для консументов второго порядка – это доля продукции фитофагов, «съеденная» хищниками. Остальная часть гибнет сама по себе и поступает в систему редуцентов.

Расчеты эффективности потребления энергии для консументов второго порядка всегда являются менее реалистичными, чем для фитофагов. Они показывают, что хищники способны поглощать 50 – 100% продукции, если питаются позвоночными, и намного меньше – только 5% - если питаются беспозвоночными.

Эффективность ассимиляции, напротив, бывает низкой у фитофагов, детритофагов и потребителей микроорганизмов (20-50%) и высока у хищников (примерно 80%). Хищники легче переваривают и легче ассимилируют животную пищу, чем растительную.

Эффективность продуцирования зависит в основном от систематического положения организмов. У беспозвоночных она обычно бывает довольно высокая (30-40%); у них больше ассимилированной энергии идет на образование продукции, чем у позвоночных. У *эктотермных* позвоночных, т.е. организмов, которые получают тепло из окружающей среды (к ним относятся все растения и большинство животных), величины ЭП составляют примерно 10%. А у *эндотермных* организмов, которые производят большую часть необходимого тепла за счет биохимических реакций, идущих в самом организме (к ним относятся теплокровные животные и птицы) только 1-2% ассимилированной энергии. У микроорганизмов величина ЭП очень высока, что объясняется коротким жизненным циклом и быстрым обновлением популяций. Полагают, что ЭП у эндотермных организмов с увеличением размера тела повышается, а у эктотермных, наоборот снижается.

В целом установлено, что в любом биоценозе наибольшая часть вторичной продукции и, следовательно, потеря тепла при дыхании приходится на систему редуцентов. Углерод, например, включается в трофическую структуру сообщества путем фиксации молекулы  $\text{CO}_2$  в процессе фотосинтеза. Войдя в первичную продукцию, углерод становится доступным для потреблений в виде органических веществ (сахара, белков, жиров и т.д.) и затем выделяется с фекалиями и потребляется вторичными продуцентами. Использование энергии углеродсодержащих соединений для совершения работы приводит к его возвращению в атмосферу в виде диоксида углерода и потери энергии в виде тепла. Здесь пути вещества (углерода) и энергии расходятся.

Энергия, которая рассеивается в виде теплового движения, не может быть использована живыми организмами. Однако углерод в составе  $\text{CO}_2$  вновь фиксируется автотрофами в ходе фотосинтеза. Таким образом, **процесс передачи энергии не является замкнутым**, поэтому не все экологи называют «круговоротом энергии», полагая, что этот процесс отражает способность системы редуцентов «перерабатывать» углерод органического вещества неоднократно. Подчеркивается при этом, что каждый джоуль энергии

используется только один раз! Следовательно, **жизнь на Земле возможна только благодаря ежедневному поступлению солнечной энергии.**

В отличие от энергии солнечной радиации запасы биогенных элементов непостоянны, эти элементы «просто меняют молекулы», в состав которых входят; например, азот нитратов переходит в белковый азот, а последний – снова в азот нитратов. Другими словами, сами биогенные элементы используются неоднократно, и круговорот – их характерная особенность в экосистемах. В поддержании круговорота биогенных элементов главную роль играют гетеротрофные организмы – вторичные продуценты, особенно редуценты, которые превращают сложные органические соединения в простые неорганические.

### ***Стратегия развития экосистем***

Развитие экосистем или экологическая сукцессия представляет собой изменение во времени видовой структуры сообществ и биоты, в целом, а также изменение условий среды обитания.

С позиции энергетики и продуктивности экологические системы, в которых отношение скорости образования первичной продуцируемой биомассы (валовый фотосинтез) (**P**) к расходам на дыхание (**R**) больше единицы, носят название систем с ***автотрофной сукцессией*** (суммарная биомасса в них нарастает), например, сукцессия после лесного пожара.

При соотношении тех же показателей меньше единицы суммарная биомасса экосистемы снижается, и такие экосистемы характеризуются ***гетеротрофной сукцессией*** (например, осушенное болото).

При равенстве биомассы, продуцируемой растениями в процессе фотосинтеза, и убывающей за счет дыхания тех же растений или расходования последующими трофическими уровнями ( $P/R = 1$ ), объем биомассы и суммарные запасы энергии в ней остаются примерно постоянными; такие системы называют ***климаксными***. Климаксное сообщество формируется в результате последовательной смены экосистем и представляет собой наиболее сбалансированное сообщество, максимально эффективно использующее вещественно-энергетические потоки, то есть поддерживающее максимально возможную биомассу на единицу поступающей в экосистему энергии. Для климаксного сообщества характерно: низкая чистая продуктивность, в основном детритные пищевые сети, большая биомасса, высокое видовое разнообразие, сложная структура сообщества, узкая специализация по нишам и крупные размеры организмов.

На ранних стадиях автотрофной сукцессионной последовательности соотношение  $P/R$  много больше единицы, так как обычно первичные сообщества обладают высокой продуктивностью, но структура экосистемы ещё не сформировалась полностью, и нет возможности утилизировать эту биомассу. Постепенно по мере усложнения сообществ, с усложнением структуры

экосистемы, расходы на дыхание (R) растут, так как появляется всё больше гетеротрофов, ответственных за перераспределение вещественно-энергетических потоков и соотношение P/R стремится к единице.

Гетеротрофная сукцессия обладает обратными характеристиками: в ней соотношение P/R на ранних этапах много меньше единицы (так как в экосистеме много органического вещества и нет необходимости в его синтезе, его можно сразу использовать на построение сообщества) и постепенно P/R увеличивается по мере продвижения по сукцессионным стадиям.

В зрелой или климаксовой экосистеме наблюдается тенденция к равновесию между связанной энергией и энергией, затрачиваемой на поддержание биомассы, то есть суммарное дыхание сообщества.

Теоретически (без учета антропогенного фактора, возмущающих космических и геохимических факторов) климаксовая система поддерживает себя неопределенно долго, так как все ее внутренние компоненты уравновешены друг с другом и она находится в равновесии с физической средой. Ельник (еловый лес) — типичный пример климаксового сообщества, развивающегося на некоторых суглинистых почвах на Северо-Западе России в подзоне южной тайги.

### *Типы экосистем по энергетической классификации (по Ю. Одуму, 1986 г.)*

Источник и качество доступной энергии определяют:

- видовой состав;
- численность организмов;
- характер функциональных процессов, протекающих в экосистеме;
- сами процессы развития экосистемы;
- образ жизни человека.

Так как энергия является исходной движущей силой развития всех экосистем, как природных, так и сконструированных человеком, ее и принимают за основу классификации экосистем.

По энергетической классификации экосистемы подразделяются на 4 группы:

**1. Природные экосистемы, движимые Солнцем и не субсидируемые веществом и энергией извне.** Ежегодный приток энергии в них 1000 – 10000 ккал/м<sup>2</sup>. (Пример - открытые океаны, высокогорные леса, пустыни).

Все экосистемы этой группы получают мало энергии и имеют низкую продуктивность и на них часто накладываются ограничения, например, нехватка элементов питания и воды. Организмы, живущие в таких системах, выработали адаптации к существованию на скудном пайке энергии и др. ресурсов и к эффективному их использованию. Эти экосистемы важны, так как: они занимают огромные площади, лишь одни океаны занимают ~70% площади

земного шара; и именно в этих природных экосистемах очищаются большие объемы воздуха, возвращается в оборот вода и формируются климатические условия.

**2. Природные экосистемы, движимые Солнцем и субсидируемые другими естественными источниками** (эстуарии в приливных морях, дождевые леса). Помимо солнечного света они получают дополнительную энергию в виде дождя, ветра, органических веществ, минеральных элементов и т.д. Ежегодный приток энергии в эти экосистемы -  $10000 - 100000 \text{ ккал/м}^2$ .

Например, прибрежная часть эстуария, т.е. залива, с одной стороны которого – открытый океан или море, а с другой дельта реки. Из-за впадения в морской залив реки происходит смешение пресных и соленых вод, кроме того, в эстуариях дополнительным источником энергии являются приливы и течения, способствующие более быстрому круговороту минеральных элементов питания и перемещению пищи и отходов. Организмы в эстуариях эффективно превращают энергию Солнца в органическое вещество. Поэтому они более продуктивны.

Таким образом, это природные системы, обладающие естественной плодородностью и характеризующиеся не только высокой поддерживающей способностью, но и производящие излишки органического вещества, которые могут выноситься в другие системы или накапливаться.

**3. Природные экосистемы, движимые Солнцем и субсидируемые человеком** (наземные и водные агроэкосистемы). Ежегодный приток энергии в эти экосистемы  $10000 - 100000 \text{ ккал/м}^2$ .

Высокие выходы пищи в них поддерживаются большими поступлениями энергии топлива от человека. Эта энергия тратится на возделывание, орошение, удобрение, селекцию, борьбу с вредителями. В этих экосистемах производятся продукты питания, волокнистые материалы и т.д. Оценки продуктивности этого типа экосистем и предыдущего (второго) типа совпадают. Эти экосистемы стоят на уровне самых продуктивных природных экосистем.

Основными отличиями агроэкосистем от природных являются:

- в агроэкосистемах резко снижено разнообразие видов; снижение разнообразия культивируемых растений снижает и видовое разнообразие животного населения биоценоза;
- виды растений и животных, культивируемых человеком, «эволюционируют» за счет искусственного отбора и не конкурентноспособны в борьбе с дикими видами без поддержки человека;
- агроэкосистемы получают кроме солнечной энергии еще и дополнительную энергию, субсидируемую человеком;
- чистая продукция (урожай) удаляется из экосистемы и не поступает в цепи питания биоценоза, а частичное ее использование вредителями, потери при уборке, которые тоже могут попасть в естественные трофические цепи, всячески пресекаются человеком;

- экосистемы полей, садов, пастбищ, огородов и других агроценозов – это упрощенные системы, поддерживаемые человеком на ранних стадиях сукцессии, и они столь же неустойчивы и не способны к саморегуляции, как и природные пионерные сообщества, а поэтому не могут существовать без поддержки человека;
- в агроценозах значительно чаще происходит чрезмерное увеличение отдельных видов («экологических взрывов» - например, повсеместное распространение колорадского жука, который приводит к снижению урожая и гибели картофеля и других пасленовых культур).

4. *Индустриально-городские экосистемы, движимые топливом (органическим, ископаемым или ядерным)*. Ежегодный приток энергии в них равен 0,1 – 3 млн ккал/м<sup>2</sup>.

В этих экосистемах высококонцентрированная потенциальная энергия топлива не просто дополняет, а заменяет солнечную энергию. Эти системы зависят от экосистем первых трёх видов, паразитируют на них, получая продукты питания и топливо. В этих экосистемах генерируется не только богатство, а также и загрязняющие вещества и загрязняющие помехи в виде избыточного тепла, шума, электромагнитного излучения, смога и т.п.

В своем развитии человечество прошло через все четыре описанные выше типа экосистем. Сейчас часть стран мира – Соединенные штаты Америки, некоторые страны Западной Европы в больших масштабах потребляют нефть, газ и другие полезные ископаемые, т.е. функционируют как экосистемы 4-го типа. В это же время как страны третьего мира остаются зависимыми, главным образом, от биомассы пищи и древесины в качестве основного источника энергии, т.е. находятся на стадии экосистем, движимых только Солнцем.

### **Концентрирование токсичных соединений при движении по трофическим цепям**

Ряд веществ (к ним относятся соединения тяжелых металлов, пестициды, радионуклиды и др.) при движении по трофической цепи не рассеиваются в отличие от энергии, а накапливаются в организмах. Это, так называемое концентрирование в пищевой цепи, связано с тем, что объем потребляемой пищи за длительное время значительно превышает массу потребителя, а загрязняющее вещество не во всех случаях выводится из организма с выделениями. Поэтому на каждом последующем уровне трофической цепи создается многократно высокая концентрация стойких в окружающей среде загрязнителей. Часто в конце трофической цепи оказывается человек.

На рис. 14 приведена схема накопления токсиканта ДДТ в водной пищевой цепи.

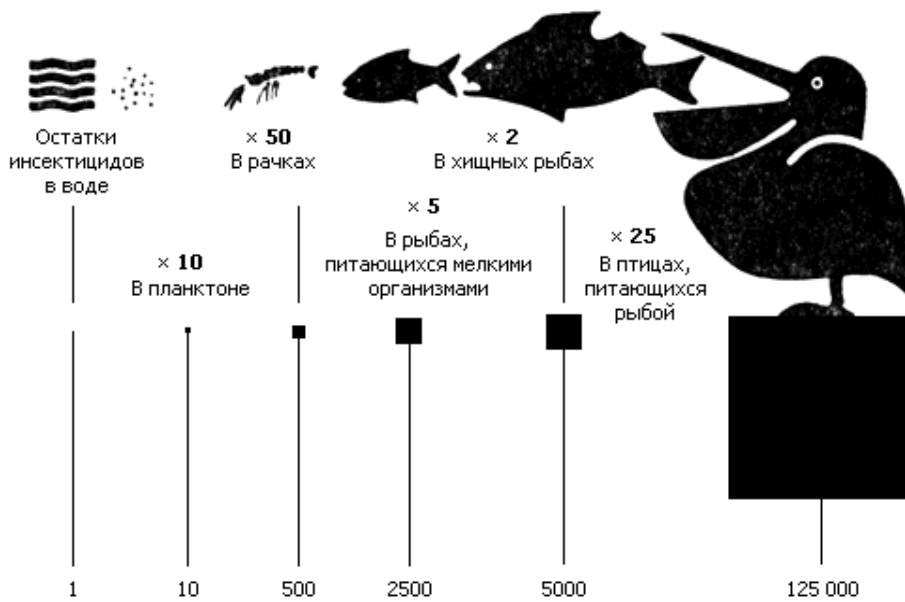


Рис. 14. Схема накопления токсиканта ДДТ в водной пищевой цепи (цифрами обозначены значения концентраций токсиканта, в относительных единицах, (внизу рисунка) и его коэффициенты накопления на каждом трофическом уровне (вверху рисунка) [13]

Содержание вещества на каждом трофическом уровне можно оценить по формуле:

$$C_n = C_{n-1} \cdot k_n, \quad (7)$$

где  $C_n$  и  $k_n$  - концентрация токсичного вещества и коэффициент его накопления на рассматриваемом уровне трофической цепи;

$C_{n-1}$  - концентрация токсичного вещества на предыдущем уровне трофической цепи.

$$C_1 = C_0 \cdot k_1, \quad (8)$$

где  $C_0$  - концентрация токсичного вещества в субстрате (почве, воде).

Если коэффициент накопления на каждом уровне трофической цепи величина постоянная, содержание токсичного вещества в конкретном звене трофической цепи рассчитывается по формуле:

$$C = C_0 \cdot k^n, \quad (9)$$

где  $n$  - число звеньев трофической цепи.

## ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ

Количественные характеристики (показатели) популяций можно разделить на статические и динамические.

**Статические показатели** характеризуют состояние популяции на данный момент времени. Основные из них: численность, плотность, а также показатели структуры.

**Численность** – число особей в популяции. Численность популяции может значительно изменяться во времени. Она зависит от биотического потенциала вида и внешних условий.

**Плотность** – число особей или биомасса популяций, приходящаяся на единицу массы или объема.

Популяция характеризуется определенной **структурной организацией** – соотношением групп особей по полу, возрасту, размеру, генотипу, распределением особей по территории и т.д. В связи с этим выделяют различные структуры популяций: половую, возрастную, размерную, генетическую, пространственно-этологическую и др. Структура популяций формируется, с одной стороны, на основе общих биологических свойств вида, а с другой стороны, под влиянием факторов среды (т.е. имеет приспособительный характер).

**Половая структура** – соотношение особей мужского и женского пола в популяции. Половая структура свойственна только популяциям раздельнополых организмов. Теоретически соотношение полов должно быть одинаковым: 50% от общей численности должны составлять мужские особи, а 50% - женские особи. Фактическое соотношение полов зависит от действия различных факторов среды, генетических и физиологических особенностей вида.

Различают первичное, вторичное и третичное соотношения. **Первичное соотношение** – соотношение, наблюдаемое при формировании клеток. Обычно оно равно 1:1. Такое соотношение обусловлено генетическим механизмом определения пола. **Вторичное соотношение** - соотношение, наблюдаемое при рождении. **Третичное соотношение** – соотношение, наблюдаемое у взрослых половозрелых особей.

Например, у человека во вторичном соотношении несколько преобладают мальчики, в третичном – женщины: на 100 девочек рождается 106 мальчиков; к 16 – 18 годам, из-за повышенной мужской смертности, эти соотношения выравниваются, а к 50 годам это соотношение составляет – 85 мужчин на 100 женщин и к 80 годам – 50 мужчин на 100 женщин.

**Возрастная структура** – соотношение в популяции особей разных возрастных групп. **Абсолютный возрастной состав** выражает численность определенных возрастных групп в определенный момент времени. **Относительный возрастной состав** выражает долю или процент особей данной возрастной группы по отношению к общей численности популяции.



Возрастной состав определяется рядом свойств и особенностей вида: время достижения половой зрелости, продолжительность жизни, длительность периода размножения, смертность. Возрастную структуру популяции выражают при помощи *возрастных пирамид* (рис.15, 16).

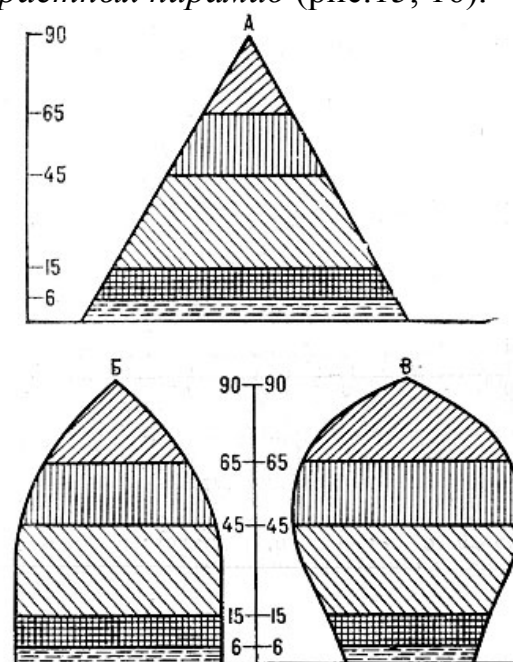


Рис. 15. Типы возрастных структур (по Ф. Бургдёрферу): А - молодое (растущее) население; Б - постаревшее (стационарное) население; В - очень старое (убывающее) население

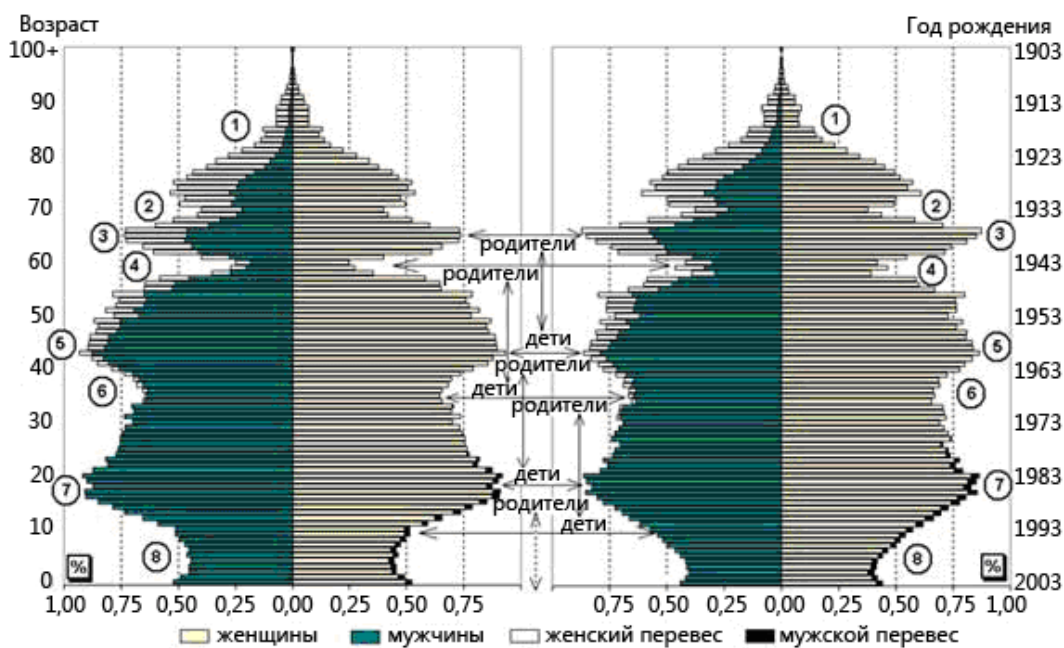


Рис. 16. Возрастные пирамиды и система межпоколенных связей населения России (слева) и Украины (справа) на начало 2004 года (условные обозначения в тексте)

**Пространственно-этологическая структура** – характер распределения особей в пределах ареала. Она зависит от особенностей окружающей среды и *этологии* (особенностей поведения) вида.

Различают три основных типа распределения особей в пространстве:

*Равномерное распределение* – характеризуется равным удалением каждой особи от всех соседей. Свойственно популяциям, существующим в условиях равномерного распределения факторов среды или состоящее из особей, проявляющих друг к другу антагонизм.

*Неравномерное распределение* – проявляется в образовании группировок особей между которыми остаются большие незаселенные территории. Характерно для популяций, обитающих в условиях неравномерного распределения факторов среды или состоящее из особей, ведущих групповой (стадный) образ жизни.

*Случайное распределение* - выражается в неодинаковом расстоянии между особями. Является результатом вероятностных процессов, неоднородности среды и слабых социальных связей между особями.

По типу использования пространства все подвижные животные распределяются на *оседлых и кочевых*.

По форме совместного существования животных выделяют одиночный образ жизни, семейный, колониями, стаями и стадами. *Одиночный образ жизни* проявляется в том, что особи в популяциях независимы и обособлены друг от друга (ежи, щуки и др.) Однако он характерен только для определенных жизненных стадий жизненного цикла. Полностью одиночного существования организмов в природе не встречается, так как при этом было бы невозможно размножение.

*Семейный образ жизни* наблюдается в популяциях с усилением связи у родителей с потомством (львы, медведи и др.) *Колонии* – групповые поселения оседлых животных, как длительно существующих, так и возникающие лишь на период размножения (гагары, пчелы, муравьи и др.). *Стаи* – временные объединения животных, облегчающих выполнение какой-либо функции: защиты от врагов, добывание пищи, миграции (волки, сельдь и др.).

*Стада* – более длительные, чем стаи, или постоянные объединения животных, в которых, как правило, выполняются все жизненные функции вида: защита от врагов, добывание пищи, миграции, размножения, воспитание молодняка и др. (олени, зебры и др.).

**Генетическая структура** – соотношение в популяции различных генотипов и аллелей. Совокупность генов всех особей популяции называется *генофондом*.

На популяции всегда действуют внешние и внутренние факторы, нарушающие генетическое равновесие. Длительное и направленное изменение генотипического состава популяции, ее генофонда получило название *элементарного эволюционного явления*. Без изменения генофонда популяции невозможен эволюционный процесс.

Факторы, изменяющие генетику популяции:

- 1) мутации – источник возникновения новых аллелей;
- 2) неравная жизнеспособность особей (особи подвергаются действию отбора);
- 3) неслучайное скрещивание (например, при самооплодотворении);
- 4) дрейф генов – изменение частоты аллелей случайные и независимые от действия отбора (например, вспышки заболеваний);

Аллели — различные формы одного и того же гена, расположенные в одинаковых участках гомологичных хромосом и определяющие альтернативные варианты развития одного и того же признака.

- 5) миграции – отток имеющихся генов и (или) приток новых.

**Динамические показатели популяции: рождаемость, смертность, скорость роста популяций**

**Динамические показатели популяции** отражают процессы, протекающие в популяции за определенный промежуток времени. Основные из них: *рождаемость, смертность, скорость роста популяций.*

Для характеристики динамических показателей популяций используют следующие обозначения:

- $N$  – число организмов;
- $t$  – время;
- $\Delta N/\Delta t$  – средняя абсолютная (общая) скорость изменения числа организмов за определенный период времени;
- $\Delta N/(N\Delta t)$  – средняя удельная скорость изменения числа организмов в расчете на 1 особь за определенный промежуток времени.

При математическом моделировании в экологии часто необходимо знать не только среднюю скорость, но и мгновенную скорость изменения числа организмов в тот или иной момент времени (за бесконечно малый промежуток времени). Когда  $\Delta t$  стремится к нулю ( $\Delta t \rightarrow 0$ ) символ  $\Delta$  заменяют на  $d$ . Тогда:

- $dN/dt$  – мгновенная абсолютная (общая) скорость изменения числа организмов за единицу времени в некоторый момент;
- $dN/(Ndt)$  – мгновенная удельная скорость изменения числа организмов в расчете на 1 особь за единицу времени в некоторый момент.

Таким образом, скорость рождаемости, скорость смертности и скорость роста популяций могут быть средними и мгновенными. Далее (по тексту) **подразумевается мгновенная скорость. Рождаемость (скорость рождаемости)** – число новых особей, появившихся в популяции в единицу времени в результате размножения.

Различают максимальную и фактическую рождаемость. *Максимальная рождаемость* – максимальная реализация возможности рождения при отсутствии лимитирующих факторов среды. *Фактическая рождаемость* – реальная реализация возможности рождения.

Различают абсолютную и удельную рождаемость. *Абсолютная (общая) рождаемость*, или скорость рождаемости, выражают отношением:

$$dN_n/dt, \quad (10)$$

где  $dN_n$  - число особей (яиц, семян и др.), родившихся (отложенных, продуцированных и др.) за некоторый промежуток времени  $dt$ .

*Удельная рождаемость (b)* – отношение скорости рождаемости к исходной численности ( $N$ ):

$$b = dN_n/(Ndt). \quad (11)$$

Эта величина зависит от интенсивности размножения особей: для бактерий – час, для фитопланктона – сутки, для насекомых – неделя или месяц, для крупных млекопитающих – год.

*Смертность (скорость смертности)* – число особей, погибших в популяции за единицу времени (от хищников, болезней, старости и других причин). Смертность – величина обратная рождаемости.

Различают минимальную и фактическую смертность. *Минимальная смертность* – минимально возможная величина смертности. *Фактическая смертность* – реальная величина смертности.

Различают абсолютную и удельную смертность. *Абсолютная (общая) смертность*, или скорость смертности, выражают отношением:

$$dN_m/dt, \quad (12)$$

где  $dN_m$  – число особей, погибших за промежуток времени  $dt$ .

*Удельная смертность (d)* – отношение скорости смертности к исходной численности ( $N$ ):

$$d = dN_m/(Ndt). \quad (13)$$

*Скорость роста популяции* – изменение численности популяции в единицу времени. Скорость роста популяции может быть положительной, нулевой и отрицательной. Она зависит от показателей рождаемости, смертности и миграции (вселения – иммиграция и выселения – эмиграция). Увеличение (прибыль) численности происходит в результате рождаемости и иммиграции особей, а уменьшение (убыль) численности – в результате смертности и эмиграции особей.

Различают абсолютную и удельную скорость роста популяции.

*Абсолютная (общая) скорость роста* выражается отношением:

$$dN/dt, \quad (14)$$

где  $dN$  – изменение числа численности популяции за промежуток времени  $dt$ .

*Удельная скорость роста* – отношение скорости роста к исходной численности ( $N$ ):  $dN/(Ndt)$ .

При отсутствии лимитирующих факторов среды удельная скорость роста равна величине  $r$ , которая характеризует свойства самой популяции и называется *удельной (врожденной) скоростью роста популяции* или *биотическим потенциалом вида*:

$$r = dN/(Ndt) \text{ или } dN/dt = rN. \quad (15)$$

Величина биотического потенциала очень различается у разных видов. Например, самка косули способна произвести за жизнь 10-15 козлят, трихина отложить 1,8 тыс. личинок, самка медоносной пчелы – 50 тыс. яиц, рыба-луна – до 3 млрд икринок.

Однако в природе, в связи с действием лимитирующих факторов, биотический потенциал популяции никогда не реализуется полностью. Его величина обычно складывается как разность между рождаемостью и смертностью в популяции:

$$r = b - d, \quad (16)$$

где  $b$  – число родившихся,  $d$  – число погибших особей за один и тот же период времени.

Когда  $b = d$ ,  $r = 0$  популяция находится в стационарном состоянии. Когда  $b > d$ ,  $r > 0$ , численность популяции увеличивается. Когда  $b < d$ ,  $r < 0$ , численность популяции сокращается. Формула:

$$d = b - r \quad (17)$$

позволяет определить смертность, которую трудно измерить непосредственно, а определить  $r$  достаточно просто непосредственными наблюдениями.

Скорость роста может быть выражена в виде кривой роста популяции (рис. 17). Существует две основные модели роста популяции: J-образная и S-образная.

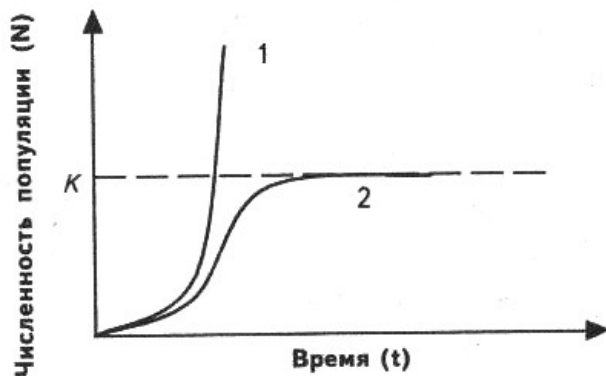


Рис. 17. Кривые роста численности популяции: 1 - J-образная кривая; 2 - S-образная (логистическая) кривая; K – емкость среды

*J-образная кривая* отражает неограниченный экспоненциальный рост численности популяции, не зависящий от плотности популяции. Такой тип реализуется пока биотический потенциал ( $r$ ) реализуется полностью. Это продолжается пока низка конкуренция за ресурсы. Например, рост популяции бактерий после посева их на свежую культурную среду. В этой новой и благоприятной среде условия для роста популяции оптимальны и наблюдается экспоненциальный рост.

Однако после превышения емкости среды (*предельной плотности насыщения, предельной численности*) ( $K$ ) может произойти резкое снижение численности, например, из-за уменьшения пищевых ресурсов и накопления токсичных отходов метаболизма, и экспоненциальный рост становится невозможным. Он начинает замедляться так, что кривая роста приобретает сигмоидную, логистическую ( $S$ -образную) форму – рисунок..... Такой тип роста называют зависимым от плотности, так как скорость роста популяции постепенно снижается до нуля при достижении предельной численности и кривая выходит на плато. При нулевом росте популяция - стабильна, т.е. ее размеры не меняются. (Нулевая скорость роста популяции означает лишь то, что скорость размножения, если оно происходит, уравновешена смертностью). Такая сигмоидная кривая роста получена для клеток водорослей в культурной среде, для фитопланктона озер и океанов весной, мучных хрущаков, интродуцированных в новое местообитания с обильными запасами (чего?), где нет хищников.

Неограниченный рост ведет к популяционной нестабильности. После достижения некоторого уровня  $K$  (поддерживающей емкости среды или предельной нагрузки на среду), после экспоненциального роста («бума») может наступить резкий спад численности – «крах» популяции» (модель «бума и краха» - рис. 18):



Рис. 18. Модель «бума и краха»

Сравнительная характеристика  $J$ -образной и  $S$ -образной (логистической) кривых роста представлена в табл. 4.

## Сравнительная характеристика J-образной и S-образной (логистической) кривых роста

J-образная кривая (рост, не зависящий от плотности)	S-образная (логистическая) кривая (рост, зависящий от плотности)
$dN/dt = rN$	$dN/dt = rN(K-N)/K$
где $N$ – численность популяции; $t$ - время; $r$ – удельная (врожденная) скорость роста популяции; $K$ – максимальное число организмов, которое может поддерживаться в данных условиях среды	
<p>Если <math>r</math> положительно, численность популяции увеличивается экспоненциально.</p> <p>Если <math>r</math> отрицательно, численность популяции уменьшается экспоненциально.</p> <p>Отсюда быстрое увеличение и падение численности популяции.</p> <p>Скорость роста каждого организма не зависит от плотности популяции.</p> <p>Размеры популяции не стабилизируются.</p>	<p>Если <math>N &gt; K</math>, скорость роста отрицательна.</p> <p>Если <math>K &gt; N</math>, скорость роста положительна, то величина популяции стремится к <math>K=N</math>, т.е. приводится соответствие с поддерживающей емкостью среды.</p> <p>Когда <math>K=N</math>, скорость роста популяции равна нулю.</p> <p>Размеры популяции остаются постоянными.</p>

Рассматривая вопрос об оптимальных размерах популяции в конкретной среде, важно учитывать *поддерживающую емкость*, или «кормовую продуктивность» этой среды. Чем выше поддерживающая емкость, тем больше максимальный размер популяции, который может существовать в данном местообитании неопределенно долгое время. Дальнейшему росту популяции будет препятствовать один или несколько факторов. Это зависит от доступности ресурсов для данного вида.

### ***Продолжительность жизни и выживаемость***

Длительность существования особи называется *продолжительностью жизни*. Она зависит от генотипических и фенотипических факторов. Различают *физиологическую, максимальную и среднюю продолжительность жизни*.

**Физиологическая продолжительность жизни (ФПЖ)** – это продолжительность жизни, которая могла бы быть у особи данного вида, если бы в период всей жизни на нее не оказывали влияние лимитирующие факторы. Она зависит только от физиологических (генетических) возможностей организма и возможна только теоретически.

**Максимальная продолжительность жизни (МПЖ)** – это продолжительность жизни, до которой может дожить лишь малая доля особей в

реальных условиях среды. Она варьируется в широких пределах: от нескольких минут у бактерий до нескольких тысячелетий у древних растений (секвойя). Обычно, чем крупнее растение или животное, тем больше их продолжительность жизни, хотя бывают и исключения (летучие мыши доживают до 30 лет, это дольше, например, жизни медведя).

**Средняя продолжительность жизни (СПЖ)** – это среднее арифметическое продолжительности жизни всех особей популяции. Она значительно колеблется в зависимости от внешних условий, поэтому для сравнения продолжительности жизни разных видов чаще используют генетически детерминированную **МПЖ**.

**Выживаемость** – абсолютное число особей (или процент от исходного числа особей), сохранившихся в популяции за определенный промежуток времени

$$Z = (n/N) \cdot 100\%, \quad (18)$$

где  $Z$  – выживаемость, %;

$n$  – число выживших;

$N$  – исходная численность популяции.

Выживаемость зависит от ряда причин: возрастного и полового состава популяций, действия тех или иных факторов среды и др.

### Кривые выживания

Различают три основных типа кривых выживания (рис. 19).

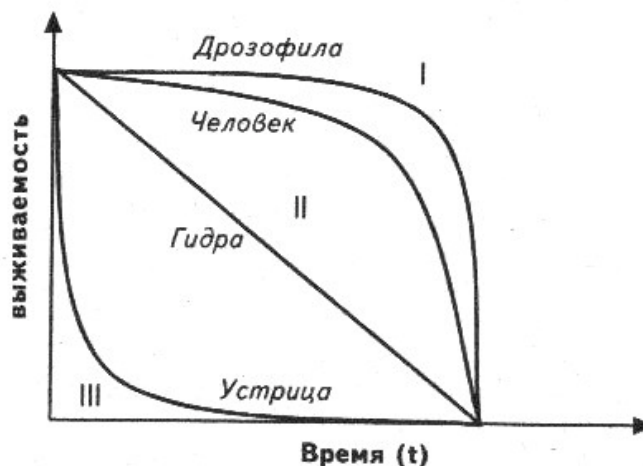


Рис. 19. Кривые выживания (по Ф. Дрё, 1976 г.):

I - кривая дрозофилы; II - кривая гидры; III - кривая устрицы

**Кривая I типа** – свойственна организмам, смертность которых на протяжении всей жизни мала, но резко возрастает в ее конце. Например, это: насекомые, погибающие после кладки яиц, в частности, плодовые мушки дрозофилы; некоторые крупные млекопитающие; люди, проживающие в



развитых странах с высоким уровнем медицинского обслуживания и рациональным питанием, где большинство людей доживает до старости. Кривая, сходная с кривой *I*, свойственна также однолетним культурным растениям, например пшенице, когда все растения на данном поле стареют одновременно.

**Кривая *II* типа** – плавная кривая типа *II* может быть получена, если смертность постоянна в течение всей жизни организмов (50% за определенный промежуток времени). Это может быть тогда, когда главным фактором, определяющим смертность, становится случай, причем особи гибнут до начала заметного старения. Очень сходная кривая характерна для популяций некоторых животных, птиц и пресмыкающихся, которые не подвергаются опасности в раннем возрасте, например, гидры (гидра- животное типа кишечнополостных).

**Кривая *III* типа** – отражает массовую гибель особей в начальный период жизни. Кривая *III* типа характерна для горных овец или для популяции человека в стране, где широко распространены голод и болезни, она типична также для многих рыб, беспозвоночных (например, устриц), растений и других организмов, не заботящихся о потомстве, и выживающих за счет огромного количества икринок, личинок, семян и т.п.

Встречаются кривые, сочетающие черты основных типов (например, у людей, живущих в отсталых странах и некоторых крупных животных кривая *I* вначале имеет резкое падение в связи с большой смертностью сразу после рождения).

Вычерчивая кривые выживания для различных видов, можно определять смертность для особей разного возраста и таким образом выяснять, в каком возрасте данный вид наиболее уязвим. Установив причины смерти, можно понять, как регулируется величина популяции.

### ***Экологическая стратегия выживания. Сравнительная характеристика r- и K- стратегий***

**Экологическая стратегия выживания (ЭСВ)** – это комплекс свойств популяции, направленных на повышение вероятности выживания и оставления потомства. ЭСВ – является общей характеристикой роста и размножения. Сюда входят темпы роста особей, время достижения половозрелости, плодовитость, периодичность размножения и др.

Среди растений выделяют три основных типа стратегий выживания:

**Виоленты (силовики)** – подавляют всех конкурентов, например, деревья, образующие коренные леса.

**Пациенты** – виды, способные выжить в неблагоприятных условиях («тенелюбивые», «солелюбивые» и т.п.).

**Эксплеренты** (наполняющие) – виды, способные быстро появляться там, где нарушены коренные сообщества, - на вырубках и гарях (осины), на отмелях и т.д.

Экологические стратегии популяций отличаются большим разнообразием. Но при этом все их многообразие заключено между двумя типами эволюционного отбора, которые обозначаются константами логистического уравнения: **r**- стратегия и **K**-стратегия.

**r-стратегии (r- виды, r- популяции)** – популяции из быстро размножающихся, но менее конкурентно-способных особей. Имеют J-образную кривую роста численности, не зависящую от плотности популяции. Такие популяции быстро расселяются, но они мало устойчивы. К ним относятся бактерии, тли, однолетние растения.

**K-стратегии (K-виды, K-популяции)** – популяции из медленно размножающихся, но более конкурентно способных особей. Имеют S-образную кривую роста численности, зависящую от плотности популяции. Такие популяции населяют стабильные местообитания. К ним относится человек, кондор, деревья и др.

Следует отметить, что одну и ту же среду обитания разные популяции могут использовать по-разному, поэтому в одном и том же местообитании могут сосуществовать виды с **r**- и **K**-стратегиями. Между этими крайними стратегиями существуют переходы. Ни один из видов не подвержен только **r**- или только **K**-отбору.

### **Регуляция численности (плотности) популяции**

**Гомеостаз популяции** – поддержание определенной численности (плотности). Изменение численности зависит от целого ряда факторов среды – абиотических, биотических и антропогенных. Однако всегда можно выделить **ключевой фактор**, наиболее сильно влияющий на рождаемость, смертность, миграцию особей и т.д.

Факторы, регулирующие плотность популяции, делятся на зависимые и независимые от плотности. **Зависимые от плотности факторы** изменяются вместе с изменением плотности. К ним относятся биотические факторы. **Независимые от плотности факторы** остаются постоянными с изменением плотности. Это абиотические факторы.

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

- 1) при возрастании плотности повышается частота контактов между особями, что вызывает у них **стрессовое состояние**, уменьшающее рождаемость и повышающее смертность;
- 2) при возрастании плотности усиливается **эмиграция** в новые местообитания, краевые зоны, где условия менее благоприятны и смертность увеличивается;

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

Понимание механизмов регуляции численности популяций чрезвычайно важно для возможности управления этими процессами. Деятельность человека часто сопровождается сокращением численности популяций многих видов. Причины этого в чрезмерном истреблении особей, ухудшении условий жизни вследствие загрязнения окружающей среды, беспокойства животных, особенно в период размножения, сокращения ареала и т.д. В природе нет, и не может быть «хороших» или «плохих» видов, все они необходимы для ее нормального развития. В настоящее время стоит остро вопрос сохранения биологического разнообразия. Сокращение генофонда живой природы может привести к трагическим последствиям. Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП) издает «Красную книгу», где регистрируются следующие виды: исчезающие, редкие, сокращающиеся и «черный список» безвозвратно исчезнувших видов.

В целях сохранения видов человечество использует различные методы регулирования численности популяций: правильное ведение охотничьего хозяйства и промыслов, регулирования вырубki леса и др.

## КРУГОВОРОТЫ ВЕЩЕСТВ В БИОСФЕРЕ

Земля – это конечное физическое тело, следовательно, запас любых химических элементов и их соединений – конечны. За огромный промежуток времени существования биосферы (2 - 3 млрд лет) они, казалось бы, должны быть исчерпаны, т.е. полностью связаны в органическом веществе. Выдающийся советский почвовед-агроном, академик АН СССР Василий Робертович Вильямс писал, что единственный способ придать чему-то конечному свойства бесконечного – это заставить конечное вращаться по замкнутой кривой, т.е. вовлечь его в круговорот. И действительно, все вещества на планете находятся в процессе биогеохимического круговорота. **Можно выделить два круговорота:**

- *большой (геологический);*
- *малый (биотический).*

**Большой круговорот** – длительный, он протекает сотни тысяч или миллионы лет и состоит из следующих этапов.

*На первом этапе* - горные породы подвергаются разрушению и выветриванию.

*На втором этапе* происходит перенос продуктов разрушения и выветривания, в том числе и растворимых в воде питательных веществ, потоками воды в Мировой океан. Там они образуют пласты солей и осадков.

*Третий этап.* В результате медленных геотектонических процессов опускания материков и поднятия морского дна, перемещения морей и океанов эти напластования осадков и солей вновь возвращаются на сушу, процесс большого круговорота замыкается и все начинается сначала.

**Малый круговорот**, являясь частью большого, происходит на уровне экосистемы (биогеоценоза) и заключается в том, что питательные вещества почвы, вода, углерод аккумулируются в веществе растений, расходуются на построение тела и жизненные процессы как их самих, так и организмов-консументов. После отмирания продукты их распада редуцентами разлагаются до минеральных компонентов, доступных автотрофам, а через них и гетеротрофам, и вновь вовлекаются ими в поток вещества.

Геологический и биологический круговороты связаны – они существуют как единый процесс, рождая циркуляцию веществ, так называемые биогеохимические циклы.

*Круговорот химических соединений из неорганической среды через растительные и живые организмы и обратно в неорганическую среду посредством солнечной энергии называется биогеохимическим циклом (БГХЦ).* Этот круговорот элементов обусловлен синтезом и распадом органических веществ в экосистеме (рис. 20).

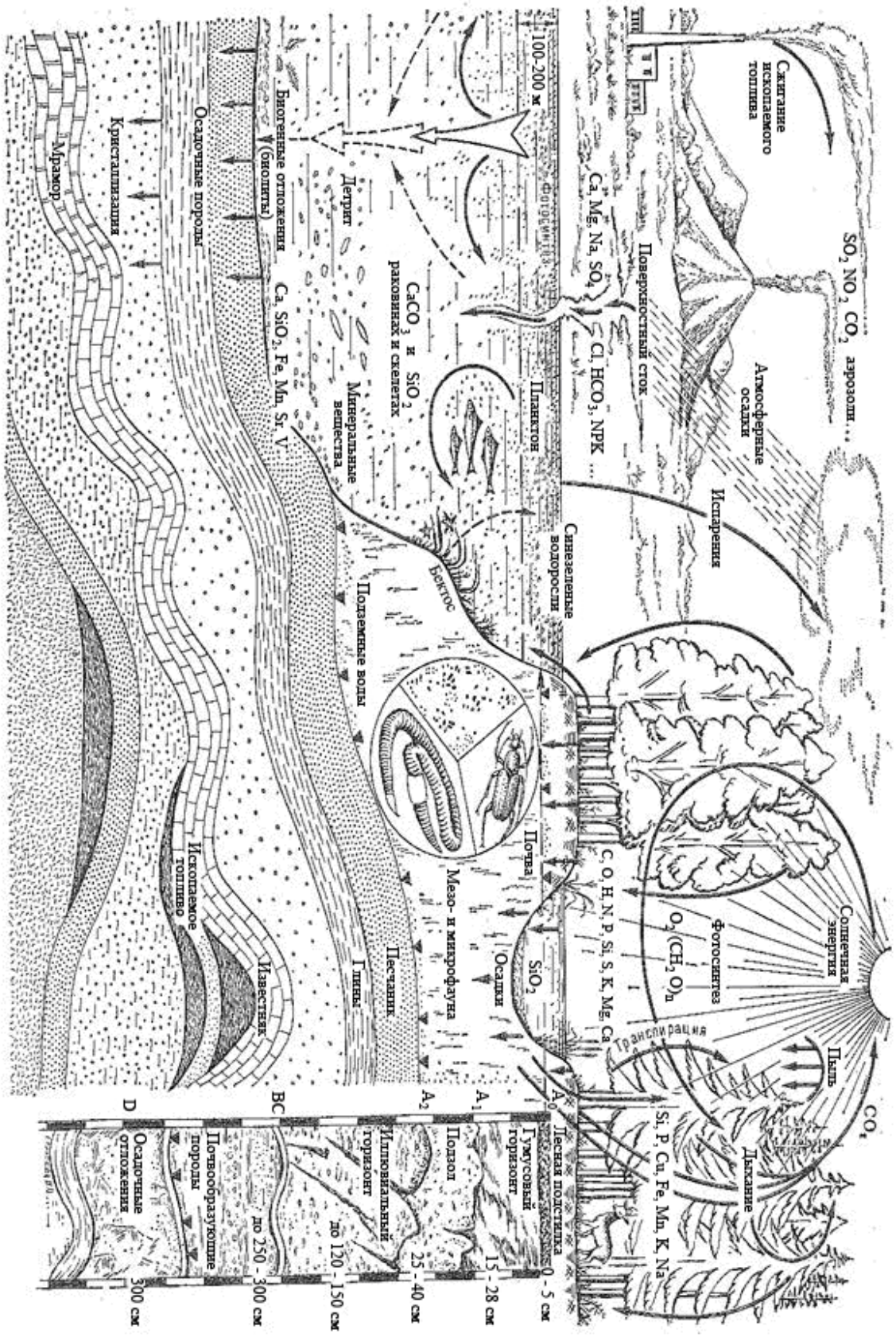


Рис. 20. Биогеохимический цикл



В БГХЦ задействованы не все элементы биосферы, а только биогенные. Из них состоят живые организмы, эти элементы вступают в многочисленные реакции и участвуют в процессах, протекающих в живых организмах. В процентном соотношении совокупная масса живого вещества биосферы состоит из следующих основных биогенных элементов: кислорода – 70%, углерода – 18%, водорода – 10,5%, кальция – 0,5%, калия – 0,3%, азота – 0,3% (кислород, водород, азот, углерод присутствуют во всех ландшафтах и являются основой живых организмов – 98%).

На рис.21 приводится схема биогеохимического круговорота на фоне потока энергии (по Ю. Одуму, 1975). При этом, если вещества вовлечены в процесс круговорота, то энергия движется из экосистемы в одну сторону.

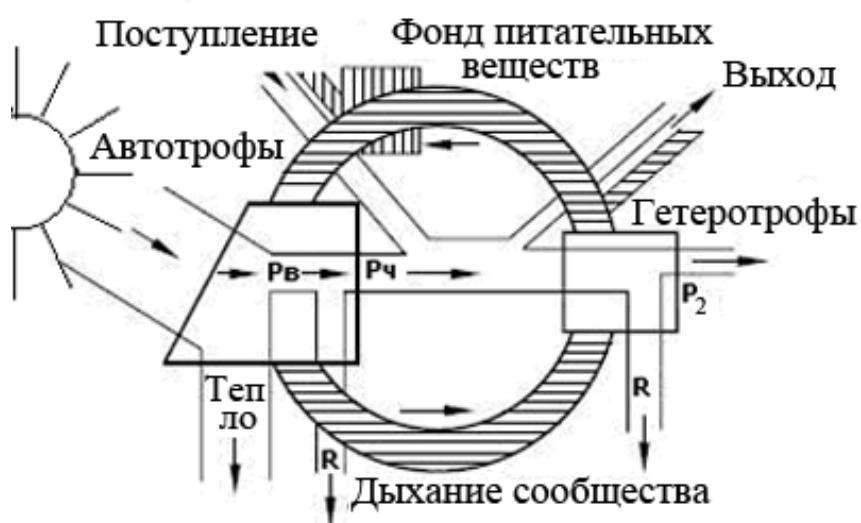


Рис. 21. Схема биогеохимического круговорота на фоне потока энергии:  $P_v$  – валовая продукция;  $P_{ч}$  – чистая первичная продукция;  $P_2$  – вторичная продукция;  $R$  – траты энергии на обмен веществ (траты на дыхание); заштрихованная часть рисунка – круговорот вещества

### ***Сущность биогенной миграции химических элементов***

Таким образом, в биосфере имеют место биогенный круговорот веществ (т.е. круговорот, вызванный жизнедеятельностью организмов) и однонаправленный поток энергии. Биогенная миграция химических элементов определяется в основном двумя противоположными процессами:

- 1) образование живого вещества из элементов окружающей среды за счет солнечной энергии;
  - 2) разрушение органических веществ, сопровождающееся выделением энергии.
- При этом элементы минеральных веществ многократно попадают в живые организмы, входя тем самым в состав сложных органических соединений,

форм, а затем при разрушении последних снова приобретают минеральную форму.

Существуют также элементы, входящие в состав живых организмов, но не относящиеся к биогенным. Такие элементы классифицируются по их весовой доле в организмах:

*макроэлементы* – составляющие не менее  $10^{-2}$  % массы;

*микроэлементы* – составляющие от  $9 \cdot 10^{-3}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$  % массы;

*ультрамикроэлементы* – менее  $9 \cdot 10^{-6}$  % массы.

Чтобы определить место биогенных элементов среди других химических элементов биосферы, рассмотрим принятую в экологии классификацию. По проявляемой активности в процессах, протекающих в биосфере, все химические элементы делят на 6 групп:

*Благородные газы* – гелий, неон, аргон, криптон, ксенон. Инертные газы в состав живых организмов не входят.

*Благородные металлы* – рутений, радий, палладий, осмий, иридий, платина, золото. Эти металлы почти не создают соединений в земной коре.

*Рассеянные элементы*, характеризующиеся преобладанием свободных атомов. Они вступают в химические реакции, но их соединения редко встречаются в земной коре. Разделяются на две подгруппы. Первая – рубидий, цезий, ниобий, тантал – создают соединения в глубинах земной коры, а на поверхности их минералы разрушаются. Вторая – йод, бром – вступают в реакции лишь на поверхности.

*Радиоактивные элементы* – полоний, радон, радий, уран, нептуний, плутоний.

*Редкоземельные элементы* – иттрий, самарий, европий, тулий т.д.

*Циклические или биогенные элементы* (их ещё называют миграционными).

**На эту группу биогенных элементов в земной коре приходится 99,7% всей массы, а на остальные 5 групп – 0,3%. Таким образом, основная масса элементов – это мигранты, которые осуществляют кругооборот в географической оболочке, а часть инертных элементов очень мала.**

Круглогодично биохимические циклы приводят в движение около 480 млрд тонн вещества. Большой частью миграция химических элементов на Земле осуществляется за счёт жизни.

Вернадский по этому поводу писал: "Жизнь – живая материя – воистину есть одной из сверхмогущественных геохимических сил нашей планеты, а та биогенная миграция атомов, которая обусловлена ею, есть формой организованности первостепенного значения в структуре биосферы".

Им было сформулировано три биогеохимических принципа, которые объясняют сущность биогенной миграции химических элементов:

- 1) биогенная миграция химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению;
- 2) эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию устойчивых форм жизни, идёт в направлении, усиливающем биогенную миграцию атомов;

3) живое вещество находится в непрерывном химическом обмене с окружающей его средой, что является фактором, воссоздающим и поддерживающим биосферу.

## Круговороты биогенных элементов

### Круговорот углерода

Углерод - основной биогенный элемент. Он играет важнейшую роль в образовании живого вещества биосферы. Углерод является основным «строительным материалом» молекул углеводов, жиров, белков, нуклеиновых кислот (таких, как ДНК и РНК) и других важных для жизни органических соединений.

Основное изменение содержания углерода может происходить только в четырех средах: атмосфере, наземной части биосферы, ископаемом топливе и океане в виде карбонатных отложений. Общее его содержание в выше перечисленных средах соответственно составляет: 771 Гт, 3100 Гт, 12000 Гт, 39000 Гт (1Гт =  $10^{12}$  т).

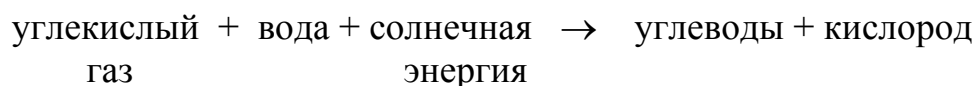
Можно выделить следующие *звенья круговорота углерода* (рис.22):



Рис. 22. Круговорот углерода в природе

1. Продуценты (наземные и водные растения) осуществляют фотосинтез, в процессе которого углерод углекислого газа преобразуется в углерод сложных органических соединений углеводов:





из которых образуется углеродный скелет всех прочих органических молекул.

Затем в клетках кислородопотребляющих растений, животных и редуцентов происходит процесс клеточного дыхания (постепенное сгорание органических соединений, находящихся в клетках живых организмов), при котором сложные органические соединения расщепляются и преобразуют углерод обратно в углекислый газ для повторного использования продуцентами:



Такая связь между фотосинтезом и аэробным дыханием заставляет углерод циркулировать между атмосферой и наземной частью биосферы, в количестве 6 Гт/год, что составляет важнейшее звено круговорота углерода.

2. Некоторая часть планетарного углерода на длительные периоды «связывается» в форме ископаемых видов топлива (каменного и бурого угля, нефти, торфа, битуминозных песков и сланцев), процесс образования которых в литосфере длится миллионы лет. В таком виде углерод остаётся «связанным» до тех пор, пока не будет снова введён в атмосферу в форме углекислого газа, в количестве ~ 10 Гт в год, что происходит при добыче и сжигании минерального топлива (6 Гт) и за счет землепользования и эрозии почв – 4 Гт. Из этого количества 5 Гт накапливаются в атмосфере, а оставшиеся 5 Гт могут поглощаться океаном или биотой части континентов, не охваченных хозяйственной деятельностью.

3. В водных экосистемах углерод и кислород, соединяясь с кальцием, образуют нерастворимый карбонат кальция, из которого состоят раковины моллюсков и минералы. Когда моллюски умирают, они опускаются на дно, и их раковины погружаются в слой донных осадков. Возврат углерода из осадочных отложений в активный круговорот происходит чрезвычайно медленно, на протяжении миллионов лет, путём растворения этих отложений в океанической воде и образования растворённого углекислого газа, который впоследствии может попасть в атмосферу.

Циркуляция углерода между атмосферой и гидросферой оценивается в 100 Гт/год.

4. Расплавление горных пород в ходе длительных геологических процессов и при вулканических извержениях также приводит к выбросу углекислого газа в воздух и в воду. Кроме того, вертикальные движения земной коры могут поднимать блоки осадочных пород выше уровня моря, что приводит к образованию островов и целых материков, а также подвергает обнажившиеся карбонатные породы активным химическим реакциям с выделением углекислого газа.

За счет геологических процессов в круговорот вовлечено ~ 0,1 Гт углерода в год.

5. Другой важной частью круговорота углерода является анаэробное дыхание, происходящее без доступа кислорода. В ходе этого процесса различные виды анаэробных бактерий преобразуют органические соединения в газообразный метан (CH<sub>4</sub>) и другие вещества. Такой тип дыхания встречается в основном в болотных экосистемах. Он может также наблюдаться на свалках, где происходит захоронение промышленных и бытовых отходов.

***Вмешательство человека в круговорот углерода*** резко возрастает из-за быстрого роста населения и использования ресурсов. В доиндустриальную эпоху потоки углерода между атмосферой и литосферой были сбалансированы. За последние 100 – 150 лет концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере непрерывно растет из-за основных следующих антропогенных поступлений.

1. Леса являются важными накопителями углерода. В биомассе лесов содержится в 1,5 раза, а в лесном гумусе в 4 раза больше углерода, чем в атмосфере. Сведение лесов и другой растительности без достаточных лесовосстановительных работ, во-первых, уменьшает общее количество растительности, способной поглощать CO<sub>2</sub>, а, во-вторых, дополнительные количества углекислого газа поступают в атмосферу при разложении порубочных остатков на лесосеках и при взаимодействии атмосферного кислорода с корнями и гумусом из нарушенного почвенного покрова.

2. Вклад сельского хозяйства в увеличение содержания CO<sub>2</sub> за счет фиксации его культурными растениями не компенсирует количества CO<sub>2</sub>, высвобождающегося из почвы при глубокой и частой вспашке.

3. Сжигание углеродсодержащих ископаемых видов топлива и древесины, а также участвовавшие лесные пожары, причиной которых зачастую становятся люди, с каждым годом увеличивают количество углекислого газа, попадающего в атмосферу. Учёные предсказывают, что этот углекислый газ вместе с другими летучими техногенными выбросами может в ближайшие десятилетия вызвать заметное потепление земной атмосферы, и как следствие, дальнейший подъем уровня Мирового океана и подтопление материков.

Устойчивость окружающей среды обеспечивается принципом Ле Шателье, функционирующим в невозмущенной биоте: ***«все случайные геофизические и космические возмущения окружающей среды компенсируются соответствующими изменениями функционирования естественной биоты».***

Данный принцип действует только в устойчивых системах. Нарушение этого принципа означает потерю устойчивости системой.

Вмешательство человека в круговорот углерода в последнее столетие привело к нарушению принципа Ле Шателье на континентах. Хозяйственная деятельность на освоенных площадях приводит к таким выбросам углерода в

атмосферу и в таких количествах, что биота малоосвоенных территорий суши уже не способна компенсировать выбросы углерода с освоенных площадей.

В биосфере, в целом, принцип Ле Шателье продолжает видимо действовать, так как океаническая биота почти полностью поглощает выбросы углерода, связанные с хозяйственной деятельностью человека, так как верхний предел возможного биологического поглощения углерода определяется пропускной способностью поверхности раздела *океана - атмосферы* и составляет величину порядка 20 Гт углерода в год.

### ***Круговорот кислорода***

Кислород является наиболее распространенным элементом на Земле. В атмосферном воздухе содержится 23,15 мас. % (20,93 об. % ) кислорода или  $1,2 \cdot 10^{15}$  т  $O_2$ , в морской воде - 85,82 мас. %, в земной коре - 47,2 мас. %. В атмосфере кислород содержится в виде  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_3$ , в воде – в растворенном виде как газ и в соединении с водородом –  $H_2O$ , в литосфере - в форме различных оксидов ( $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $K_2O$  и т.д.) и солей ( $CaCO_3$  и др.). Самый большой фонд кислорода находится у поверхности Земли в виде углекислого кальция осадочных пород, но за исключением небольшого количества, освобождаемого в результате вулканической деятельности, он недоступен в этом виде живым организмам.

Кислород и его соединения незаменимы для поддержания жизни. Они играют важнейшую роль в процессах обмена веществ и дыхания. Кислород входит в состав белков, жиров, углеводов, из которых «построены» организмы (в человеческом организме, например, содержится около 65% кислорода). Большинство организмов получают энергию, необходимую для выполнения их жизненных функций, за счет окисления тех или иных веществ с помощью кислорода.

Круговорот кислорода в биосфере необычайно сложен, так как с ним в реакцию вступает большое количество органических и неорганических веществ. В результате возникает множество эпициклов, происходящих между литосферой и атмосферой или между гидросферой и двумя этими средами. Круговорот кислорода в некотором отношении напоминает обратный круговорот углекислого газа. Движение одного происходит в направлении, противоположном движению другого. Можно выделить следующие *звенья круговорота кислорода* (рис.23):

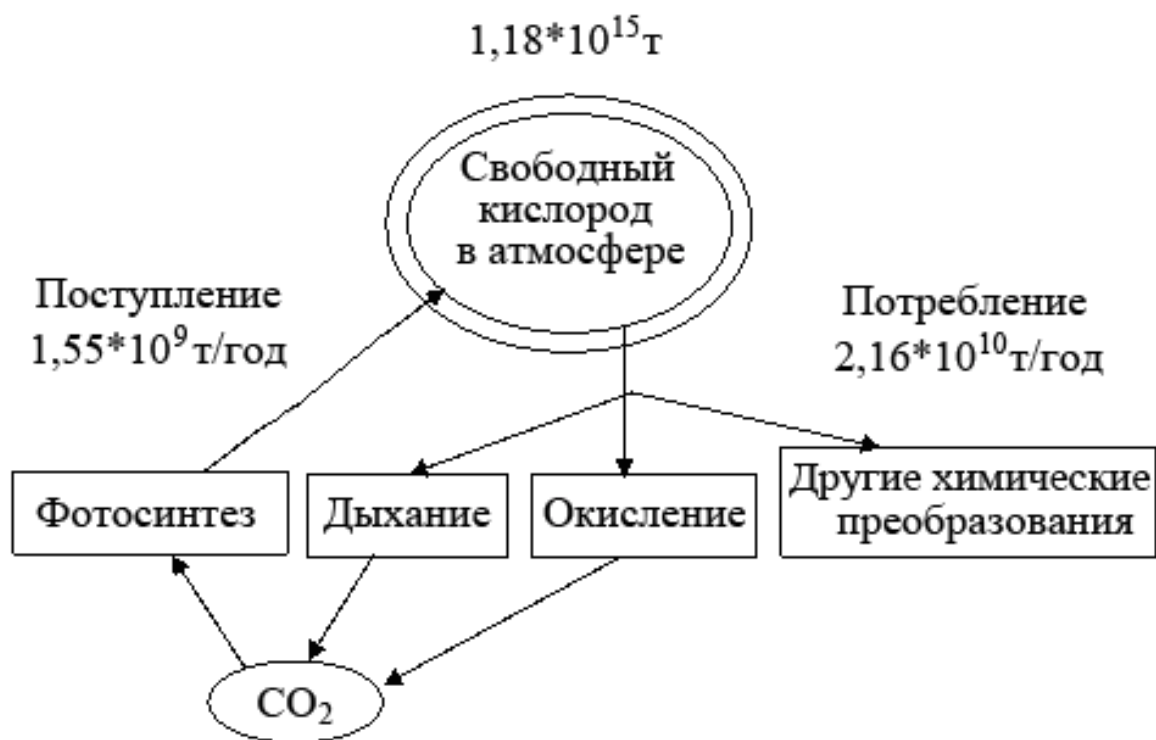
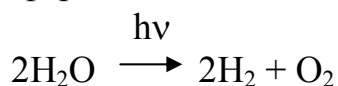


Рис. 23. Круговорот кислорода в природе

1. *Выделение кислорода* наземными и водными растениями в процессе фотосинтеза. За счет этого процесса выделяется ежегодно  $2,5 \cdot 10^{11}$  т  $O_2$ .

При фотохимическом разложении водяного пара в верхних слоях атмосферы под действием ультрафиолетовых лучей Солнца:



образуется  $2 \cdot 10^6$  т  $O_2$ , что пренебрежимо мало по сравнению с фотосинтезом.

2. *Убыль кислорода* в результате процессов: дыхания живых организмов; разложения органического вещества; горения; при окислении неорганических веществ. Незначительное количество атмосферного кислорода участвует в цикле образования и разрушения озона.

Кроме описанного выше круговорота кислорода в несвязанном виде, этот элемент совершает еще и важнейший круговорот, входя в состав воды.

### ***Вмешательство человека в круговорот кислорода***

Вырубка лесов, эрозия почв, различные горные выработки на поверхности, сжигание органического топлива приводят к снижению содержания свободного кислорода в атмосфере. Наметившаяся тенденция этого процесса в перспективе опасна. Человечество начнёт задыхаться, когда концентрация кислорода станет примерно равной 17,5 об. %. Если антропогенное воздействие на атмосферу не уменьшится, это может произойти через несколько сотен лет (по данным оценочных расчётов).

## Круговорот воды

Вода является необходимым условием существования всех живых организмов на Земле. Она – строительный материал клеток, растворитель, поставляющий нужные питательные вещества организмам и выводящий отходы жизнедеятельности из организмов. Для многих видов растений, животных, грибов и микроорганизмов вода является непосредственной средой их обитания. Вода выступает в качестве одного из важнейших факторов, видоизменяющих лик земной поверхности, она служит регулятором климатических процессов глобального масштаба.

Источником движения воды на Земле является энергия Солнца. Благодаря солнечной энергии и земному притяжению происходит непрерывное перемещение воды между Мировым океаном, атмосферой, сушей и живыми организмами. Можно выделить следующие **звенья круговорота воды** (рис.24):

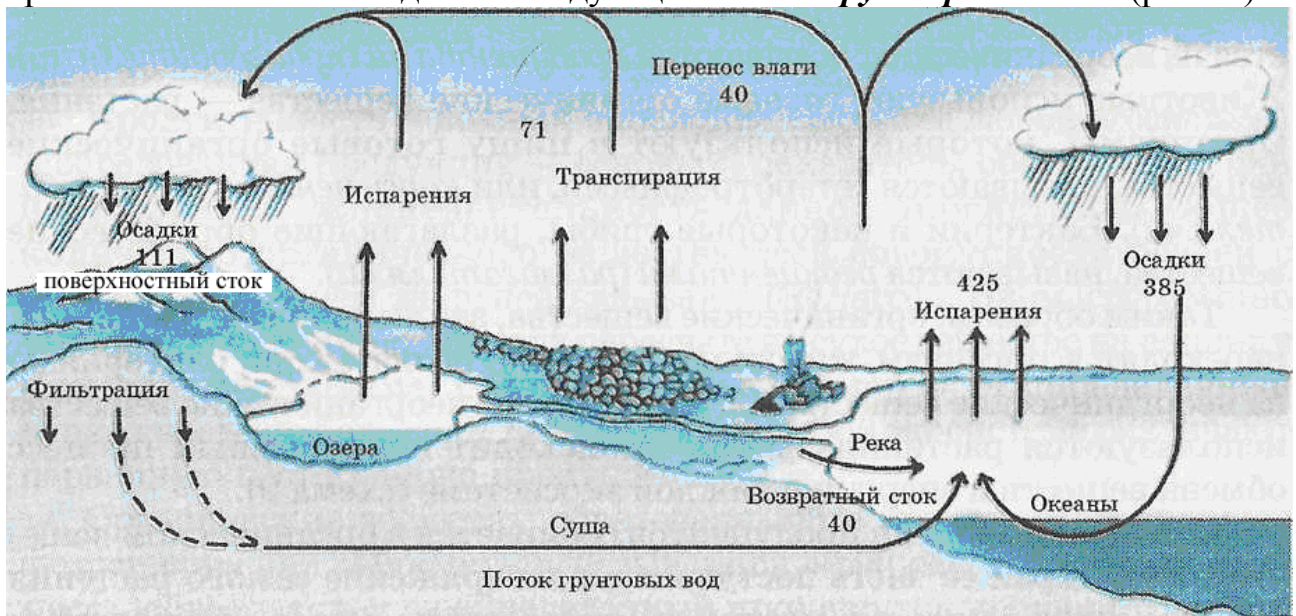


Рис. 24. Круговорот воды в природе (цифры даны в тыс. км<sup>3</sup> в год)

1. Под воздействием поступающей солнечной энергии вода *испаряется* с поверхности океанов, рек, озёр, почв и растений и поступает в атмосферу.

2. Ветры и воздушные массы переносят водяной пар в различные районы Земли. Понижение температуры в отдельных частях атмосферы приводит к *конденсации* водяного пара и образованию массы мельчайших капелек воды в виде облаков или тумана.

3. Капли воды сливаются вместе и становятся настолько тяжёлыми, что выпадают на поверхность суши или водоёма в виде *атмосферных осадков*. В среднем молекула воды находится в воздухе около 10 дней, прежде чем попадает с осадками на землю. Примерно половина всех осадков на планете выпадает в зоне тропических лесов.

4. Часть пресной воды, возвращающейся на поверхность земли в виде осадков, замерзает в ледниках. Однако в основном она заполняет понижения и ложбины и *стекает* в ближайшие озёра, ручьи и реки, которые несут её назад в океан, тем самым замыкая кольцо круговорота.

Значительная часть возвращающейся на сушу воды просачивается глубоко в грунт, Там происходит накопление грунтовых вод в водоносных горизонтах – подземных резервуарах, расположенных как внутри, так и между различными формациями горных пород. Подземные источники и водотоки в итоге возвращают воду на поверхность суши и в реки, озёра, ручьи, откуда она вновь испаряется или стекает в океан. Пресная вода просачивается сквозь почву и пополняет водоносные горизонты. Однако циркуляция подземных вод происходит несравнимо медленнее, чем циркуляция поверхностных и атмосферных вод.

В процессе круговорота воды происходит накопление, очистка и перераспределение планетарного запаса воды.

Отметим три основных аспекта круговорота воды:

1. Океан теряет из-за испарения больше, чем получает с осадками. На суше ситуация противоположная. Следовательно, часть осадков, поддерживающих экосистемы суши, включая агроэкосистемы, состоит из воды, испаренной с поверхности океана.

2. По оценкам, в реках и пресных озерах содержится около  $0,25 \cdot 10^{14}$  т воды, а годовой сток составляет  $0,2 \cdot 10^{14}$  т. Разность между количеством осадков, выпадающих на сушу ( $10^{14}$  т) за год и стоком воды ( $0,2 \cdot 10^{14}$  т) составляет  $0,8 \cdot 10^{14}$  т. Это и есть годовое поступление воды в подпочвенные водоносные горизонты.

3. Около одной трети от всей поступающей на Землю солнечной энергии затрачивается на приведение в движение кругооборота воды. Площадь испаряющей воду поверхности на суше оказывается весьма значительной, так как в процессе испарения влаги участвует растительность. Она характеризуется скоростью транспирации и листовым индексом, т.е. отношением площади поверхности листьев растения к площади поверхности кроны на Земле.

Листовой индекс экосистем суши:

- для леса и болот – 8;
- пашни – 4;
- травостоя и тундры – 0,7;

В среднем листовый индекс равен 4.

Подсчеты показывают, что испаряющаяся поверхность на суше почти в два раза больше поверхности Мирового океана. Следовательно, большая часть водного режима материков формируется биотой и регулируется биологически. Об этом свидетельствует и мощность транспирации ( $10^{12}$  Вт), которая превосходит ветровую мощность на Земле ( $0,3 \cdot 10^{12}$  Вт). Ветровая мощность отражает движение циклонов и антициклонов, которым полностью приписывается формирование водного режима на суше.

В естественных лесах до 90% солнечной радиации, поглощаемой листвой, расходуется на транспирацию. В преобразованных же человеком агроэкосистемах на транспирацию затрачивается только 40%.

За последние 10000 лет, т.е. время существования цивилизации, площадь лесов уменьшилась более чем в два раза, расширяется площадь пустынь со скоростью 20 – 40 Га /мин, практически с такой же скоростью, как и вырубаются леса. Таким образом, воздействие человека на круговорот воды ведет не только к опустыниванию, но к увеличению числа аномалий, связанных с влагооборотом (засух, наводнений, ураганов), так как регулирующая роль биоты на суше уменьшается и возрастает роль океанической составляющей, имеющей чаще всего случайный характер.

***Влияние хозяйственной деятельности человека на круговорот воды проявляется в следующем:***

1) заборе огромного количества поверхностных и грунтовых вод в густонаселённых и интенсивно орошаемых с\х районах. Это приводит к истощению запасов грунтовых вод, а из-за сброса в водоемы загрязненных сточных вод - к изменению качества воды;

2) сведении лесов, изменении скорости транспирации. Изменение поверхностной структуры литосферы (автотрассы, водонепроницаемые покрытия в городах) приводит к уменьшению просачивания поверхностных вод под землю, что в свою очередь вызывают сокращение запасов грунтовых вод;

3) усилении эрозии почв и увеличении риска наводнений;

4) опускании суши и просадке грунта из-за чрезмерного забора грунтовых вод;

5) подтоке соленых вод в приморских районах.

### ***Круговорот азота***

Организмы нуждаются в различных химических формах азота для образования белков и генетически важных нуклеиновых кислот типа ДНК. Большинству зелёных растений требуется азот в форме нитрат - ионов ( $\text{NO}_3^-$ ) и ионов аммония ( $\text{NH}_4^+$ ). Однако газообразный азот ( $\text{N}_2$ ), составляющий 78% объёма земной атмосферы, ни растениями, ни людьми, ни большинством других организмов не может быть использован непосредственно. Он может преобразовываться в растворимые в воде соединения, содержащие нитрат-ионы и ионы аммония, усваиваемые корнями растений в процессе круговорота (рис. 25).

#### ***Звенья круговорота азота***

1. *Фиксация азота*, т.е. преобразование атмосферного газообразного азота в усваиваемые растениями химические формы. Фиксация атмосферного азота в природе происходит по двум основным направлениям — абиогенному и биогенному. Первый путь включает главным образом реакции азота с

кислородом при повышенных температурах ( $T=25000\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более). Эти условия достигаются при разрядах молний. При этом происходит образование различных оксидов азота ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  и др.). Эти газы, взаимодействуя с водяным паром, преобразуются в нитрат-ионы, которые попадают на земную поверхность в форме азотной кислоты, растворённой в атмосферных осадках, и в форме частиц нитратных солей.

Биогенная фиксация азота осуществляется в основном сине-зелёными водорослями и определёнными видами бактерий в почве и воде, которые превращают молекулярный азот в соединения аммония, которые окисляются до нитратов и нитритов (процесс нитрификации).

2. Неорганические нитрат-ионы и ионы аммония поглощаются растениями из почвенной влаги и преобразуются ими в белки, ДНК и другие необходимые им азотсодержащие органические соединения. Животные покрывают большую часть своих потребностей в азотных питательных веществах, поедая растения или других растительноядных животных.

3. Особые бактерии-редуценты превращают азотсодержащие органические соединения биологических отходов, т.е. экскрементов и мёртвых организмов, в неорганические вещества, такие как газообразный аммиак ( $\text{NH}_3$ ) и растворимые в воде соли, содержащие ионы аммония (процесс аммонификации). Другие специальные группы бактерий затем преобразуют эти неорганические формы азота в нитрат-ионы в почве и в газообразный азот, который, попадая в атмосферу, замыкает цикл.

#### ***Вмешательство человека в круговорот азота состоит в следующем:***

1. Сжигание древесины или ископаемого топлива, при котором в атмосферу выбрасывается большое количество оксида азота ( $\text{NO}$ ). Оксид азота затем соединяется в атмосфере с кислородом и образует диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ), который при взаимодействии с водяным паром может образовывать азотную кислоту ( $\text{HNO}_3$ ). Эта кислота становится компонентом кислотных осадков, наносящих вред наземным и водным экосистемам.

2. Воздействие некоторых бактерий на удобрения и отходы животноводства приводит к выделению в атмосферу «парникового» газа – закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

3. Добыча полезных ископаемых, содержащих нитрат-ионы и ионы аммония, для производства минеральных удобрений.

4. Вынос из почвы нитрат-ионов и ионов аммония при сборе урожая сельскохозяйственных культур с высоким содержанием азота.

5. Увеличение количества нитрат-ионов и ионов аммония в водных экосистемах при попадании в них загрязнённых стоков с животноводческих ферм, смытых с полей азотных удобрений, а также очищенных и неочищенных коммунально-бытовых канализационных стоков. Создаваемый таким образом избыток питательных веществ способствует быстрому росту водорослей и других водных растений. Для разложения омертвевших водорослей аэробными



редуцентами расходуется растворённый в воде кислород, что приводит к массовым заморам рыб.

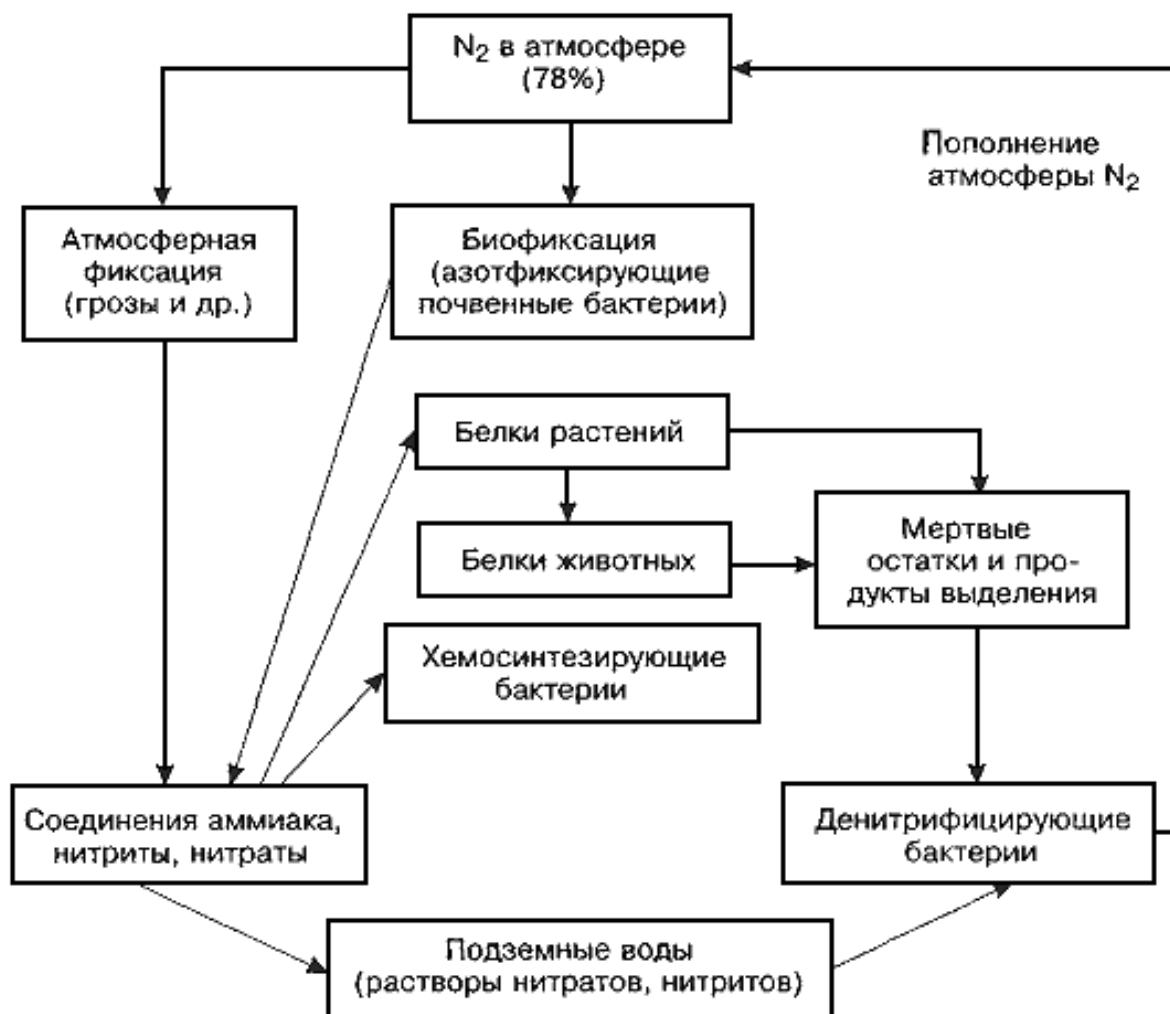


Рис. 25. Круговорот азота в природе

### ***Круговорот фосфора***

Фосфор главным образом в виде фосфат- и гидрофосфат-ионов ( $\text{PO}_4^{3-}$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) является важным питательным элементом как для растений, так и для животных. Он входит в состав молекул ДНК, несущих генетическую информацию, молекул АТФ и АДФ, в которых запасается необходимая для организма химическая энергия, используемая при клеточном дыхании, молекул жиров, образующих клеточные мембраны в растительных и животных клетках; а также веществ, входящих в состав костей и зубов.

Круговорот фосфора в отличие от круговорота углерода, кислорода и азота ограничивается лишь био-, гидро- и литосферой и не захватывает атмосферы. В этом круговороте (рис. 26) фосфор медленно перемещается из фосфатных месторождений на суше и мелководных океанических осадков к

живым организмам и затем обратно. Бактерии здесь играют менее важную роль, чем в круговороте азота.

### ***Звенья круговорота фосфора***

1. Фосфор, высвобождаемый при медленном разрушении (или выветривании) фосфатных руд, растворяется почвенной влагой и поглощается корнями растений.

Однако в большинстве почв содержатся очень незначительные количества фосфора, так как фосфатные соединения очень плохо растворяются в воде и встречаются лишь в определённых типах горных пород. Таким образом, во многих почвах и водных экосистемах содержание фосфора является лимитирующим фактором роста растений.

2. Животные получают необходимый им фосфор, поедая растения или других растительноядных животных.

3. Значительная часть фосфора в виде экскрементов животных и продуктов разложения мёртвых животных и растений возвращается в почву, в реки и, в конце концов, на дно океана в виде нерастворимых фосфатных осадочных пород.

4. Вследствие длящихся миллионы лет геологических процессов могут подниматься и осушаться участки океанического дна, образуя острова или материи. Последующее выветривание обнажившихся горных пород приводит к высвобождению новых количеств фосфора и продолжению круговорота.

Часть фосфора возвращается на поверхность суши в виде гуано – обогащённой фосфором органической массы экскрементов питающихся рыбой птиц (пеликанов, олуш, бакланов и т.п.).

***Вмешательство человека в круговорот фосфора*** сводится в основном к двум вариантам:

1. Добыча больших количеств фосфатных руд для производства минеральных удобрений и моющих средств.

2. Увеличение избытка фосфат-ионов в водных экосистемах, при попадании в них загрязнённых стоков с животноводческих ферм, смытых с полей фосфатных удобрений, а также очищенных и неочищенных коммунально-бытовых стоков. Как и в случае с нитрат-ионами и ионами аммония, избыток этих питательных элементов способствует «взрывному» росту сине-зелёных водорослей и других водных растений, что нарушает жизненное равновесие в водных экосистемах.

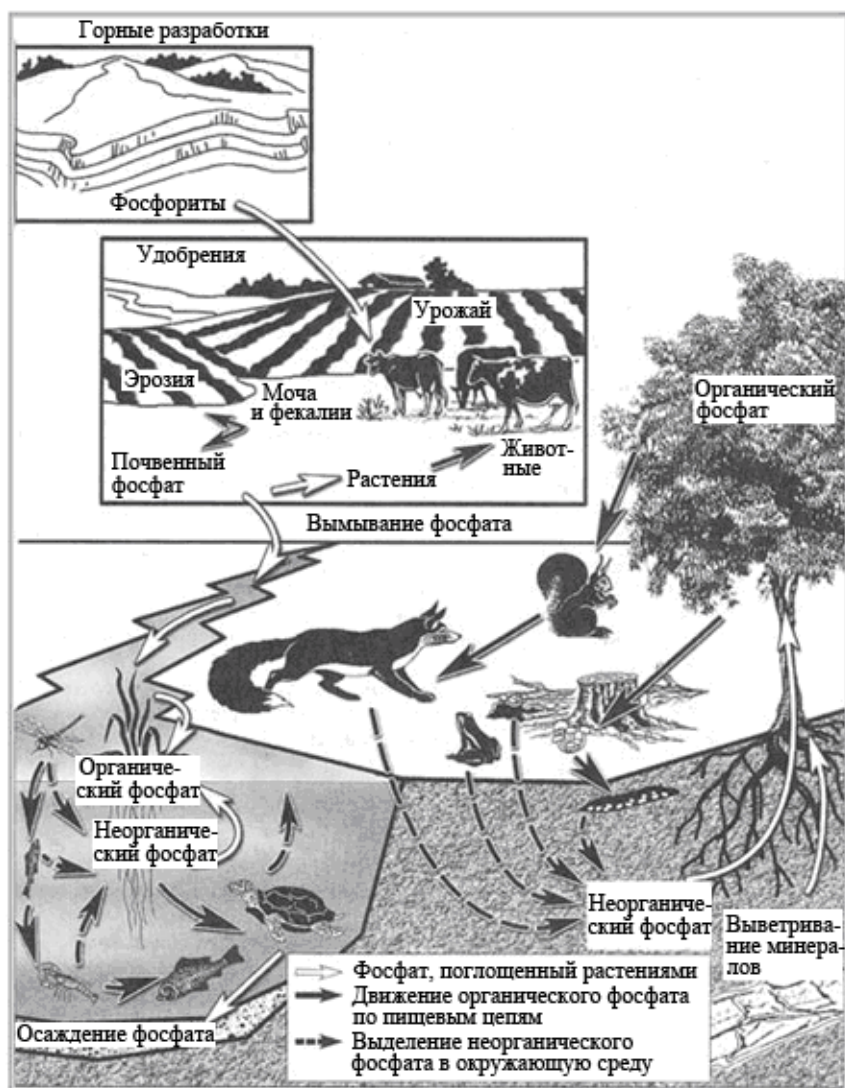


Рис. 26. Круговорот фосфора в природе

### ***Круговорот серы***

Сера является важным составным элементом живого вещества. В организмах она входит в состав аминокислот и белков, а у растений, кроме того, — в состав эфирных масел. Сера является составной частью некоторых биологически активных веществ: витаминов, а также ряда веществ, выступающих в качестве катализаторов окислительно-восстановительных процессов в организме и активизирующих некоторые ферменты. В природе этот элемент образует свыше 420 минералов.

***Звенья круговорота серы*** (рис. 27).

1. Сера в виде двуокиси ( $\text{SO}_2$ ) поступает в атмосферу при извержении вулканов; в виде сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) и элементарной серы выбрасывается в атмосферу при извержении вулканов и из гидротермов; в виде  $\text{H}_2\text{S}$  при разложении органических веществ в болотах и затопливаемых приливами

низинах. В большом количестве в природе сера содержится в форме сульфидов металлов: железа, свинца, цинка и др. (FeS, ZnS, PbS и др.).

2. Двуокись серы окисляется в воздухе до серного ангидрида (SO<sub>3</sub>). Последний, соединяясь с парами воды, образует серную кислоту. Серная кислота с дождями попадает на сушу и в водные объекты.

Сульфидная сера окисляется в биосфере микроорганизмами до сульфатной серы (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) почв и водоёмов.

3. В виде сульфатов сера усваивается высшими растениями, многими водорослями и грибами. При этом сера переходит в двухвалентное состояние (S<sup>2-</sup>) и встраивается в белковые молекулы. Животные усваивают серу в составе органических соединений, поедая растения или других растительноядных животных.

4. Образование сероводорода:

- при минерализации органических серосодержащих соединений (продукты метаболизма живых существ, отмершие растительные и животные остатки) с участием сапрофитных микроорганизмов;

- при восстановлении сульфата в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий. Деятельность сульфатредуцирующих бактерий особенно заметна в иле на дне прудов и ручьев, в болотах и вдоль побережья моря. Так как концентрация сульфата в морской воде относительно высока, восстановление сульфата - важный фактор минерализации органического вещества на морских отмелях;

- при восстановлении элементарной серы термофильными микроорганизмами, обитающими в гидротермах (гидротермы - гидротермальные источники на дне океана).

5. Вынос сероводорода к поверхности океана, а затем вынос его части в атмосферу. В атмосфере сероводород быстро окисляется до сернистого газа, что ведёт к возобновлению круговорота.

Окисление сероводорода до сульфатов, которые вновь усваиваются растениями.

Сероводород может образовывать «вторичные» сульфиды, а сульфатная сера - залежи гипса. В свою очередь сульфиды и гипс вновь подвергаются разрушению, а сера возобновляет свою миграцию.

### ***Вмешательство человека в круговорот серы***

Около трети всех соединений серы и 99% диоксида серы, попадающих в атмосферу, имеют антропогенное происхождение. Сероводород и летучие органические сульфиды выделяются в атмосферу в результате деятельности металлургических и целлюлозно-бумажных предприятий, а также при разложении муниципальных и сельскохозяйственных стоков. При сжигании органического топлива, выплавке металлов из серосодержащих медных, свинцовых и цинковых руд, при получении элементарной серы из сероводорода горючих газов в атмосферу в виде оксидов попадает ежегодно около 10 млн т

серы. Оксиды серы в атмосфере являются причиной образования кислотных дождей, выпадение которых приводит к нарушению жизнедеятельности наземных и водных экосистем.



Рис. 27. Круговорот серы в природе

Таким образом, от того, насколько регулярно осуществляется круговорот любого элемента, зависит продуктивность биогеоценоза, что имеет особое значение для сельскохозяйственного производства и выращивания лесов. Так, в кислых средах, характерных для торфяных почв, фосфор связывается в комплексы с алюминием, железом, марганцем и становится недоступным для растений. В этом состоит причина низкой продуктивности торфяных почв. Вмешательство человека, так или иначе, нарушает процессы круговорота. Например, вырубка лесов или повреждение ассимиляционного аппарата растений промышленными выбросами приводит к снижению интенсивности усвоения углерода. Избыток органических элементов в воде вследствие поступления в неё промышленных стоков приводит к эвтрофикации водоёмов и перерасходу растворенного в воде кислорода, что исключает возможность существования здесь аэробных организмов. Сжигая ископаемое топливо, фиксируя атмосферный азот в продуктах производства, связывая фосфор в детергентах, человек как бы замыкает на себя круговорот элементов, что нередко вынуждает его полностью управлять химией окружающей среды.

Человечество резко ускорило круговорот некоторых веществ. Месторождения железа, меди, цинка, свинца и многих других элементов,

которые природа копила в течение миллионов лет, быстро вычерпываются. С другой стороны осуществляется концентрация элементов в таких пропорциях, которых не было в природе (на промышленном производстве).

Человек очень быстрыми темпами использует солнечную энергию, накопленную в угле, нефти, природном газе за счет прошлого биосферы. Все это ведет к увеличению неупорядоченности в биосфере. Человек не только ускоряет биологический круговорот, но и привлекает в него те элементы, которые были из него давно исключены.

В целом в биосфере под влиянием деятельности человека все быстрее снижается энтропия за счет увеличения энтропии земной коры (сжигание горючих полезных ископаемых, рассеивание металлических полезных ископаемых и т.п.). Поэтому мы должны как можно меньше изменять природные процессы, в частности, внедрять безотходные производства или качественно новые производственные циклы, но и в идеальном случае не удастся избавиться, скажем, от отходов тепла, так как это противоречит законам термодинамики.

### **Обратная связь в экосистемах. Понятие стресса**

Все компоненты экосистемы находятся в постоянном взаимодействии между собой, образуя круговорот. *Обмен между компонентами экосистемы и с ОС можно рассматривать как процесс передачи энергетической, химической, генетической информации.*

Устойчивость экосистем и сбалансированность биологического круговорота веществ обеспечивается механизмами обратной связи [14].

**Обратная информационная связь** – это получение сигнала, вызывающего определенные изменения в системе для сохранения равновесного состояния.

Существует два типа обратной информационной связи: отрицательная и положительная.

**Отрицательная обратная связь («ООС»)** – это поток информации в систему, противодействующий изменениям внешних условий. Так, отрицательная обратная связь поддерживает температуру тела человека около 37<sup>0</sup>С. Человек и все живые существа, являющиеся саморегулирующимися гомеостатичными системами, живут главным образом благодаря негативной обратной связи.

Имеются также системы, в которых обратная связь является положительной. **Положительная обратная связь («ПОС»)**, известная также как «саморазгоняющаяся» обратная связь, наблюдается в тех случаях, когда однонаправленные изменения в системе сопровождаются усиливающей эти изменения информацией.

Рассмотрим действие положительной и отрицательной обратных связей на примере насекомых, питающихся листьями. Пока биомасса листьев в

избытке, могут размножаться и насекомые (положительная связь). Но резкое нарастание численности насекомых приведет к снижению биомассы листьев и вызовет ослабление самих насекомых из-за нехватки пищи и их массовую гибель (отрицательная обратная связь).

Обычно отрицательная обратная связь служит для поддержания системы в относительно постоянном или равновесном состоянии; в то же время положительная обратная связь служит для разрушения стабильности системы – по принципу: чем сильнее действие, тем сильнее и ответ.

Другой пример. Рассмотрим участок трофической цепи:

*Консумент 1 порядка (заяц) → консумент 2 порядка (волк)*

**А.** Если численность жертвы по каким-либо причинам возрастает, то хищник также имеет возможность увеличения численности. В этом проявляется свойство положительной обратной связи, которая стремится вывести систему из состояния равновесия.

**Б.** Так как хищник ест жертву, то естественно снижается плотность ее популяции. Это аналогично действию обратной отрицательной связи, которая компенсирует отклонение и возвращает систему в равновесное состояние.

«ПОС»      **Рост популяции хищника**      «ООС»  
                 **Рост популяции жертвы**

В общем случае, в каналах передачи информации и в каналах обратной связи могут возникать помехи. Роль этих помех могут играть как биотические, так и абиотические факторы, но чаще всего такими помехами являются антропогенные факторы.

Если на определенном уровне помех (он называется стрессовым) информационная обеспеченность экосистемы за счет действия отрицательной обратной связи («ООС») не сможет компенсировать отклонения, вызванные положительной обратной связью («ПОС»), тогда данная экосистема гибнет.

***Стресс*** - это напряженное состояние экосистемы, испытывающей возмущающее воздействие необычных природных или антропогенных факторов. Он проявляется в изменении энергетических процессов, круговорота веществ и структуры экосистемы.

Ту область, в пределах которой механизмы «ООС» способны, несмотря на стрессовое воздействие, сохранять устойчивость экосистемы, хотя и в измененном виде, называют **гомеостатическое плато** (рис.28).

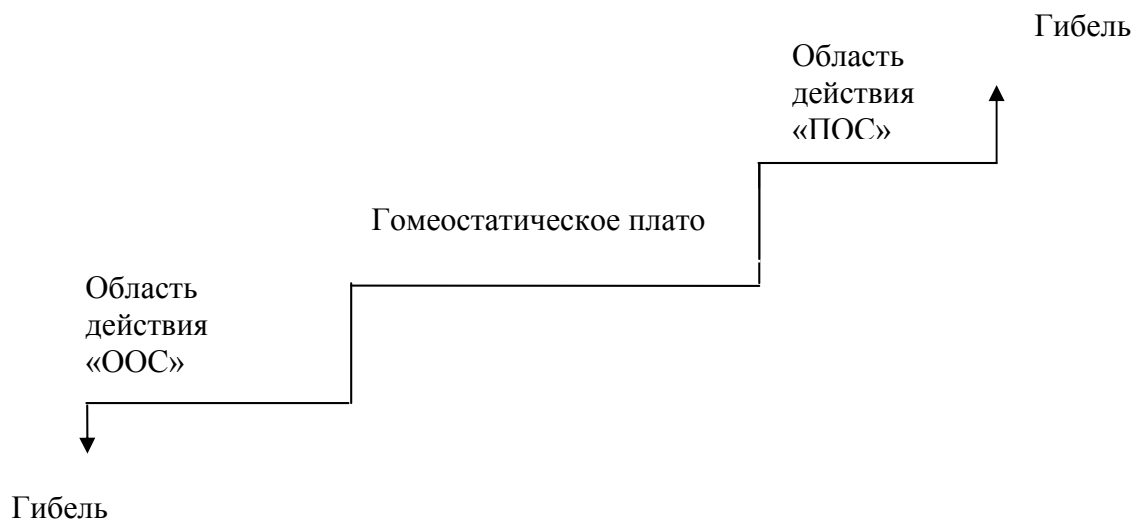


Рис. 28. Механизмы действия обратной информационной связи

Например, сточные воды после очистки поступают в водоем. Даже при высокой степени очистки в воде остается некоторое допустимое количество химических веществ. Кислород, содержащийся в водоеме, начинает расходоваться на окисление этих веществ, следовательно, его будет недоставать организмам, входящим в трофические цепи водоема. Экосистема начинает изменяться, т.е. происходит сдвиг гомеостатического плато, что через некоторое время скажется на всей экосистеме, например, в исчезновении некоторых видов организмов и возрастании плотности планктона.

## ЗАКОНЫ ЭКОЛОГИИ

Кроме рассмотренных выше основных законов экологии (закона толерантности Шелфорда, закона пирамиды энергий Линдмана и др.), ниже приводятся законы, которым также подчиняются процессы, протекающие в биосфере.

### **Закон исторической необратимости**

Развитие биосферы и человечества как целого не может происходить от более поздних фаз к начальным, общий процесс развития однонаправленный. Повторяются лишь отдельные элементы социальных отношений (рабство) или типы хозяйничанья.

### **Закон генетического разнообразия**

Все живое генетическое разное и имеет тенденцию к увеличению биологической разнородности. Закон имеет важное значение в природопользовании, в особенности в сфере биотехнологии (генная инженерия,



биопрепараты), если не всегда можно предусмотреть результат нововведений во время выращивания новых микрокультур через возникающие мутации или распространение действия новых биопрепаратов не на те виды организмов, на которые они рассчитывались.

### **Закон корреляции** (сформулированный Ж. Кювье)

В организме как целостной системе все его части отвечают одна другой как за строением, так и за функциями. Изменение одной части неминуемо вызовет изменения в других.

### **Закон максимизации энергии** (сформулированный Г. и Ю. Одумами и дополненный М. Рэймерсом)

В конкуренции с другими системами сохраняется та из них, которая оказывает наибольшее содействие поступлению энергии и информации и использует максимальное их количество наиболее эффективно. Для этого такая система, большей частью, образует накопители (хранилища) высококачественной энергии, часть которой тратит на обеспечение поступления новой энергии, обеспечивает нормальный кругооборот веществ и создает механизмы регулирования, поддержки, стойкости системы, ее способности приспосабливаться к изменениям, налаживает обмен с другими системами. Максимизация — это повышение шансов на выживание.

### **Закон максимума биогенной энергии** (закон Вернадского—Бауэра)

Любая биологическая и «бионесовершенная» система с биотой, которая находится в состоянии «стойкого неравновесия» (динамично подвижного равновесия с окружающей средой), увеличивает, развиваясь, свое влияние на среду.

В процессе эволюции видов, утверждает Вернадский, выживают те, которые увеличивают биогенную геохимическую энергию. По мнению Бауэра, живые системы никогда не находятся в состоянии равновесия и выполняют за счет своей свободной энергии полезную работу против равновесия, которого требуют законы физики и химии от существующих внешних условий. Вместе с другими фундаментальными положениями закон максимума биогенной энергии служит основой разработки стратегии природопользования.

### **Закон однонаправленности потока энергии**

Энергия, которую получает экосистема и которая усваивается продуцентами, рассеивается или вместе с их биомассой необратимо передается консументам первого, второго, третьего и других порядков, а потом редуцентам, что сопровождается потерей определенного количества энергии на каждом трофическом уровне в результате процессов, которые сопровождают дыхание. Поскольку в обратный поток (от редуцентов к продуцентам) попадает

очень мало начальной энергии (не большее 0,25%), термин «кругооборот энергии» является довольно условным.

### **Закон уменьшения энергоотдачи в природопользовании**

В процессе получения из естественных систем полезной продукции с течением времени (в историческом аспекте) на ее изготовление в среднем расходуется все больше энергии (возрастают энергетические затраты на одного человека). Так, ныне затраты энергии на одного человека за сутки почти в 60 раз больше, чем во времена наших далеких предков (несколько тысяч лет назад). Увеличение энергетических затрат не может происходить бесконечно, его можно и следует рассчитывать, планируя свои отношения с природой с целью их гармонизации.

### **Закон оптимальности**

Никакая система не может суживаться или расширяться к бесконечности. Никакой целостный организм не может превысить определенные критические размеры, которые обеспечивают поддержку его энергетике. Эти размеры зависят от условий питания и факторов существования.

В природопользовании закон оптимальности помогает найти оптимальные с точки зрения производительности размеры для участков полей, выращиваемых животных, растений. Игнорирование закона - создание огромных площадей монокультур, выравнивание ландшафта массовыми застройками и т.п. привело к неприродной однообразности на больших территориях и вызвало нарушение в функционировании экосистем, экологические кризисы.

### **Закон ограниченности естественных ресурсов**

Все естественные ресурсы в условиях Земли исчерпаемые. Планета является естественно ограниченным телом, и на ней не могут существовать бесконечные составные части.

### **Закон равнозначности условий жизни**

Все естественные условия среды, необходимые для жизни, играют равнозначные роли. Из него вытекает другой закон совокупного действия экологических факторов. Этот закон часто игнорируется, хотя имеет большое значение.

### **Закон совокупного действия естественных факторов (закон Митчерлиха-Тинемана-Бауле)**

Объем урожая зависит не от отдельного, пусть даже лимитирующего фактора, а от всей совокупности экологических факторов одновременно. Частицу каждого фактора в совокупном действии ныне можно подсчитать. Закон имеет силу при определенных условиях — если влияние монотонное и

максимально обнаруживается каждый фактор при неизменности других в той совокупности, которая рассматривается.

### **Закон экологической корреляции**

В экосистеме, как и в любой другой системе, все виды живого вещества и абиотические экологические компоненты функционально отвечают один другому. Выпадение одной части системы (вида) неминуемо приводит к выключению связанных с ней других частей экосистемы и функциональных изменений.

### **Законы экологии Барри Коммонера**

#### ***1. «Все связано во всем».***

Если меняется состав среды обитания, то меняются все остальные экологические компоненты экосистемы и ее динамические качества.

#### ***2. «Все куда-то движется и все должно куда-то деваться».***

##### Следствия:

- абсолютно безотходное производство невозможно;
- любая более высокоорганизованная экосистема, используя и видоизменяя природу, представляет потенциальную угрозу для низкоорганизованных систем.

#### ***3. «Природа знает лучше».***

Человек вредит природе, не зная ее законов.

#### ***4. «Ничто не дается даром, за все нужно платить».***

Биосфера – это единое целое и ничто не должно быть потеряно, т.к. восстановить в прежнем виде практически ничего не возможно.

Как отмечает М. Реймерс, первый закон Б. Коммонера близок по смыслу к закону внутреннего динамического равновесия, второй - к этому же закону и закону развития естественной системы за счет окружающей среды, третий предостерегает нас от самоуверенности, четвертый снова затрагивает проблемы, которые обобщают закон внутреннего динамического равновесия, законы константности и развития естественной системы. По четвертому закону Б. Коммонера мы должны возвращать природе то, что берем у нее, иначе катастрофа с течением времени неминуема.

## ЗАДАЧИ

### 1. Закон толерантности Шелфорда

**1.1.** Основное физиологическое значение фтора для человека заключается в его участии в костеобразовании, формировании твердых тканей зубов и зубной эмали. Недостаток фтора в организме может вызвать кариес зубов. Избыток - может способствовать возникновению флюороза (*истощение, анемия, нарушение состава костей и их хрупкости, появление пятен на зубах и костных тканях*). Фтор поступает в организм человека в основном с питьевой водой.

1. Оцените, через какое время в организме человека, использующего для питья воду с концентрацией фтора 0,5 мг/л, данный элемент накопится в таком количестве, что это может способствовать возникновению флюороза.

2. Сделайте вывод, может ли человек ежедневно пить эту воду, не опасаясь за свое здоровье.

3. Постройте кривую толерантности.

В оценках принять:

- в сутки человек употребляет  $2,5 \div 3$  л воды;
- ежедневно в организме накапливается 10% от поступающего с водой фтора;
- оптимальное содержание фтора в организме –  $2 \div 3$  мг;
- критическое максимальное содержание фтора в организме – 50 мг/кг массы тела человека;
- критическое минимальное содержание фтора – 0,5 мг/кг;
- вес человека – 70 кг.

**1.2.** Цинк – необходимый для нормальной жизнедеятельности элемент. Его недостаток в организме приводит к замедлению роста и полового созревания, а его избыток – вызывает поражение почек.

1. Оцените степень опасности отравления цинком человека, употребляющего 0,5 литра козьего молока ежедневно, если известно, что коза пасется около свалки, где в почве содержится до 100 мг цинка на килограмм почвы.

2. Постройте кривую толерантности.

В оценках принять:

- глубина слоя почвы 40 см; плотность  $1,4 \text{ г/см}^3$ ;
- 15 % цинка переходит из почвы в траву;
- урожай травы - 100 ц/га;
- коза ежедневно съедает  $3 \div 5$  кг травы;
- вес козы – 45 кг;
- плотность молока –  $1030 \text{ г/дм}^3$ ;
- дефицит цинка в организме человека наступает при его ежедневном поступлении в дозе менее, чем 0,07 мг/кг веса человека;

- физиологическая суточная норма –  $0,3 \div 0,6$  мг/кг;
- токсическое действие –  $2,6 \div 8,6$  мг/кг;
- летальный исход – 86 мг/кг;
- вес человека – 70 кг.

**1.3.** Предполагаемой причиной возникновения у людей урвской болезни (*проявляется множественным поражением суставов конечностей и позвоночника; сопровождается развитием деформирующего артроза*) является нарушение поступления в организм минеральных веществ (в частности, избыток стронция, недостаток кальция).

1. Оцените степень опасности использования в пищу укропа и петрушки, выращенных на почве, содержащей 600 мг стронция на 1 кг почвы.

2. Постройте кривую толерантности.

В оценках принять:

- в 1 кг растений переходит 30 % стронция, содержащегося в килограмме почвы;
- суточное потребление зелени составляет 100 г;
- суточная физиологическая норма содержания стронция для современного поколения людей –  $0,2 \div 0,4$  мг/кг веса человека;
- острое отравление стронцием наступает при концентрации 1000 мг/кг;
- вес человека – 70 кг.

**1.4.** Считается, что присутствие селена в организме оказывает антиоксидантное действие, замедляя процесс старения, способствует предупреждению роста аномальных клеток, укрепляет иммунную систему. Его недостаток в организме, менее 10 мкг/кг веса человека в день, вызывает заболевание сердечно-сосудистой системы и способствует возникновению онкологических заболеваний. Избыток селена, более 100 мг/кг в день, вызывает гиперселеновый синдром (*болезнь суставов, выпадение волос, ломкость ногтей и т.д.*).

1. Определите, сколько требуется человеку употреблять в пищу чеснока (*чеснок - король селеносодержащих растений*), чтобы восполнить суточную норму содержания селена в организме - 100 мкг/кг веса человека (1 г = 1000000 мкг).

2. Постройте кривую толерантности.

В расчетах принять:

- в 1 кг чеснока содержится 140 мг селена;
- одна головка чеснока в среднем весит  $50 \div 60$  г;
- вес человека – 70 кг.

**1.5.** Суточное восполнение содержания железа в крови человека в среднем составляет 1,8 мг. Железо накапливается в поджелудочной железе, мышцах и почках. При недостатке железа в организме у человека развивается анемия (*симптомы: слабость, повышенная утомляемость, раздражительность,*

головокружение, головные боли, шелушение кожи, ломкость волос, ломкость и расслаивание ногтей, кариес и др.). Избыток железа может изменять состав крови, вызывать аллергические реакции.

1. Определите количество говяжьей печени (или другого продукта по заданию преподавателя), которое необходимо съесть человеку каждый день для поддержания суточной нормы восполнения железа в крови. Реально ли это количество?

2. Найдите максимальное безопасное потребление человеком говяжьей печени (др. продукта).

3. Составьте сбалансированное меню, которое смогло бы обеспечить суточное восполнение содержания железа в крови человека.

В расчетах принять:

- при термической обработке продукта теряется 2 % железа;
- из мясной пищи, рыбы, молокопродуктов человеческий организм может усвоить 25 % содержащегося там железа; из круп, овощей, фруктов, соков, орехов – не более 10 %, а из шоколада – 50%.
- критическое максимальное содержание Fe в организме 160 мг/кг;
- ЛД<sub>50</sub> для железа - 200 мг/кг;
- вес человека – 70 кг.

Таблица. Содержание железа в продуктах, мг/100 г продукта.

Продукт	Fe	Продукт	Fe	Продукт	Fe
Печень говяжья	12	Хлеб пшеничн.	1,5	Орехи лесные	25
Почки говяжьи	5,95	Овсяные хлопья	4,5	Орехи грецкие	2,3
Язык говяжий	5	Крупа рисовая	1,02	Яблоки	0,3
Сердце	4,6	Крупа гречневая	6,65	Чернослив	3,9
Говядина	2,9	Крупа пшеничная	2,7	Изюм	3,3
Свинина	2,3	Крупа перловая	1,81	Малина	0,9
Баранина	2,09	Горох	6,8	Смородина	0,9
Мясо кролика	3,3	Соя	12	Виноград	0,8
Мясо курицы	3	Макароны, в.с.	1,58	Груши	0,3
Мясо индейки	4	Картофель	0,9	Сушеные груши	5,4
Колбаса п/копч.	2,7	Морковь	0,7	Персики	0,8
Колбаса варен.	2,1	Свекла	1,4	Бананы	0,6
Скумбрия	2,3	Капуста	20	Черника	0,6
Ставрида	1,1	Петрушка	5	Финики сушен.	2,1
Треска	0,65	Тыква	0,46	Апельсины	0,3
Яйцо цельное	2,7	Шпинат	3,0	Абрикосы	0,7
Желток яичный	7,2	Помидоры	0,6	Арбуз	1
Творог	0,46	Зел. горошек	1,9	Сок яблочный	0,3
Молоко коровье	0,2	Лук зеленый	1	Сок томатный	0,7
Сыры твердые	1,2	Укроп	12	Шоколад	12

**1.6.** Норма содержания гемоглобина у мужчин составляет 130÷160 г на 1 л крови; у женщин - 120÷140 г/л. Снижение гемоглобина, вызванного дефицитом железа, приводит к развитию анемии различных степеней тяжести:

- легкая степень: уровень гемоглобина ниже нормы, но выше 90 г/л;
- средняя степень: гемоглобин в пределах 90-70 г/л;
- тяжелая степень: уровень гемоглобина менее 70 г/л.

Минимальное содержание гемоглобина в крови, при котором еще продолжается жизнь человека, составляет 10 г/л.

Постройте кривые толерантности в системе координат: жизнеспособность организма мужчины (женщины) =  $f$  (содержание железа в организме, мг). Для этого используйте следующие данные:

- суточная физиологическая норма поступления железа в организм мужчины с массой тела 70 кг составляет 3,5 мг; в организм женщины с массой тела 60 кг – 2,1 мг;
- критическое максимальное содержание Fe в организме 160 мг/кг;
- ЛД<sub>50</sub> (летальная доза) для железа - 200 мг/кг;
- содержание железа в гемоглобине составляет 60÷65 % от его общего количества в организме;
- объем крови в организме взрослого человека составляет ~ 70 ÷ 75 мл на 1 кг массы тела.

**1.7.** Недостаток йода в организме человека вызывает заболевание щитовидной железы, избыток - приводит к раздражительности, усилению обмена веществ и сердцебиения. Суточная физиологическая доза йода для человека составляет 3 мкг на кг его веса, доза меньше 0,5 мкг/кг (дефицит) может привести к образованию узлов на щитовидной железе, а при дозе йода более 600 мкг/кг наблюдается острое отравление.

1. К какому результату может привести употребление филе морской рыбы в количестве 175 г только один раз в неделю, если известно, что в 100 г морской рыбы содержится 120 мкг йода?

2. Какое количество филе морской рыбы необходимо употреблять в пищу человеку каждый день для восполнения суточной дозы йода в организме?

3. Однократное потребление какого количества рыбы может привести к острому отравлению? Реальна ли эта величина?

4. Постройте кривую толерантности.

В расчетах принять, что вес человека – 70 кг.

**1.8.** По информационным данным 20 % населения России имеют заболевание щитовидной железы, что связано с недостатком йода в организме (менее 25 мкг). Правительством РФ принят программный документ решения данной проблемы, основным направлением которого является использование в пищу йодированной соли. Известно, что йодированная соль содержит 10 г йодата калия на 1 т поваренной соли. Соль сохраняет свою полезность только в

холодном состоянии. При тепловой обработке теряется 20 % йода. В то же время избыток йода приводит к раздражительности, усилению обмена веществ и сердцебиения. Такие симптомы начинают появляться при дозе 17 мкг/кг.

1. Какое количество соли должен съесть человек за сутки, если суточная потребность организма в йоде составляет 2,14 мкг/кг?
2. Ежедневный прием какого количества соли может привести:
  - а) к усилению обмена веществ и учащению сердцебиения;
  - б) заболеванию щитовидной железы?
3. Постройте кривую толерантности.

**1.9.** Недостаток ежедневного поступления кальция в организм человека, менее 0,5 мг/кг, приводит к хрупкости костей, разрушению зубов, рахиту. При дозе кальция более 100 мг/кг в сутки развиваются мочекаменная и желчекаменная болезни. Из-за регулярного вымывания кальция из организма необходимо его суточное восполнение в количестве 150 мг на 10 кг веса человека. В одном литре коровьего молока содержится около 1,2 г кальция.

1. Определите, какое количество молока необходимо потреблять человеку ежедневно для суточного оптимального восполнения кальция в организме.
2. Ежедневное употребление какого количества молока может привести:
  - а) к хрупкости костей;
  - б) мочекаменной болезни.
3. Постройте кривую толерантности.

**1.10.** Бор - необходимый микроэлемент для здоровья человека. Он регулирует активность многих ферментов, поддерживает в норме уровень мужских и женских половых гормонов, участвует в формировании костной ткани, предохраняет от такого серьезного заболевания, как остеопороз (*заболевание, связанное с повреждением (истончением) костной ткани, ведущее к переломам и деформации костей*). Но, при избытке бора организм обезвоживается, появляются тяжёлые симптомы: рвота, анемия, спутанность сознания, отсутствие аппетита, выпадение волос и дряблость кожи. В рыбе, молоке и мясе бора очень мало. Источником бора является питьевая вода, и это вызывает очень интересные последствия. Например, в Израиле, где вода богата бором, только 10% населения знает, что такое болезни суставов. А в странах, где бора мало - и в воде, и в продуктах, артритами и артрозами болеют до 70% людей. Источниками бора для человека являются, в основном, продукты растительного происхождения.

Оцените степень опасности употребления в пищу моркови, выращенной на почве, содержащей 100 мг бора на 1 кг почвы.

В оценках принять:

- за время вегетации (июнь-октябрь) в морковь за счет корневого питания переходит 1% бора, содержащегося в почве;
- глубина пахотного слоя 40 см, а его плотность 1,5 г/см<sup>3</sup>;



- урожай моркови 300 ц/га;
- пороговая минимальная доза бора в моркови - менее 10 мг/кг; норма 18 ÷ 30 мг/кг; порог токсического действия - более 190 мг/кг.

Постройте кривую толерантности с указанием всех необходимых значений.

**1.11.** Большое значение в питании растений, формировании урожая и улучшении качества овощей имеет бор. У картофеля, как от недостатка, так и избытка бора замедляется рост, клубни мельчают, часто трескаются. Урожайность растения снижается.

Постройте кривую толерантности в системе координат: активность растения = f (содержание бора в клубне картофеля, мг). Для этого используйте следующие данные:

- пороговая минимальная доза бора в картофеле - менее 10 мг/кг;
- физиологическая норма - 18 ÷ 30 мг/кг;
- порог токсического действия - более 190 мг/кг;
- масса одного клубня картофеля – 100 г.

**1.12.** На звероферме для улучшения качества шкурки норки в воду ежедневно добавляют витамин В<sub>6</sub> в количестве 0,1 мг/л. При недостатке этого витамина, менее 0,1 мг/кг веса животного, зверек становится вялым, шкурка теряет красивый вид и уже не подлежит выделке и продаже, а при его избытке, более 10 мг/кг, у зверька начинается расстройство функций пищеварительной системы и он гибнет.

1. Определите время, в течение которого в организме животного может накопиться критическое минимальное и максимальное содержание витамина.

2. Постройте кривую толерантности.

В расчетах принять:

- количество потребляемой воды зверьком - 0,2 л в сутки;
- усвояемость витамина составляет 50% от поступившего количества;
- физиологическая суточная норма содержания витамина В<sub>6</sub> в организме – 2,5 мг;
- вес норки – 4 кг.

**1.13.** Перед витамином С в организме стоят две главные задачи: обеспечение иммунной защиты и стабилизации психики. Витамин С - злейший враг всех болезней. При недостатке витамина С в организме человека, менее 40 мг/кг веса, появляются симптомы авитаминоза: ослабление иммунитета, кровотечение десен, плохое заживление ран. При избытке витамина С, более 2 г/кг, могут проявиться признаки гипervитаминоза — понос, увеличение мочеотделения, камни в почках, сыпь на коже.

Сушеные плоды шиповника служат прекрасным источником витамина С, особенно зимой и весной. Для приготовления отвара рекомендуют брать 15 г шиповника на 0,5 л воды. Приготовленный таким образом витамин С усваивается организмом на 30%.

1. Через какое время после регулярного приема отвара могут исчезнуть симптомы авитаминоза?
2. Насколько опасно продолжать дальше регулярно использовать этот отвар? Через какой промежуток времени у человека могут проявиться симптомы гипervитаминоза (избытка витамина С)?
3. Постройте кривую толерантности.

В расчетах принять:

- в 100 г плодов шиповника содержится 1500 мг витамина С;
- физиологическая суточная норма содержания витамина С в организме – 4500 мг;
- вес человека – 70 кг.

**1.14.** Общее содержание железа в организме человека составляет около 4,2 граммов, причем 75% от этого количества входит в состав эритроцитов. Ежедневное питание продуктами, бедными железом и богатыми оксалатами и фосфатами, например шпинатом и щавелем, может привести к дефициту железа в организме, который может развиваться при ежедневном поступлении микроэлемента в количестве менее чем 0,1% от его общего содержания. Это состояние человека сопровождается анемией, кровопотерями и нарушениями иммунной системы. Избыток железа в организме может привести к изменению состава крови, вызывать аллергические реакции. Суточное поступление железа в количестве 0,9 % от его общего содержания в организме может вызвать острое отравление со смертельным исходом.

1. Оцените, на сколько восполнит дефицит железа у человека ежедневное употребление следующих продуктов:

- а) 300 г гречневой каши, сваренной из 120 граммов крупы;
- б) 200 г говядины;
- в) 50 г шоколада?

2. Рассчитайте, ежедневное употребление какого продукта и в каком количестве может быстрее ликвидировать дефицит железа у человека или вызвать острое отравление:

В оценках принять:

- норма суточного восполнения железа должна составлять 0,167% от его общего содержания в организме;
- содержание железа в продуктах (мг/100 г продукта): крупа гречневая - 6,65; мясо (говядина) – 2,9; шоколад – 12;
- из мясной пищи человеческий организм может усвоить 25 % содержащегося там железа; из овощей и круп – не более 10 %, а из шоколада – 50%.

**1.15.** Общее количество калия в организме человека составляет  $160 \div 200$  г. Из-за отсутствия способности к депонированию значительные колебания его содержания при нерациональном питании: дефиците овощей и фруктов; лечебном голодании и длительном приеме мочегонных средств, в организме человека может появиться дефицит калия, приводящий к мышечной слабости, апатии, снижению артериального давления и аритмии. В качестве лечения врачи рекомендуют увеличить содержание калия в рационе, главным образом, за счет овощей и фруктов, а также орехов и сухофруктов. Суточная потребность взрослого человека в калии, при необходимом минимуме около 0,4 %, составляет  $0,9 \div 2$  % в сутки от общего содержания калия в организме человека.

Составьте минимальный и оптимальный ежедневный рацион питания для ликвидации дефицита калия в организме человека, с учетом содержания калия в продуктах, наиболее богатых этим элементом.

Таблица. Содержание калия (К) в продуктах, мг/100 г продукта.

Продукт	К	Продукт	К	Продукт	К
Молочные продукты	180	Хлеб	280	Крупы (овсяная, гречневая)	380
Персики	363	Капуста	375	Белые грибы	468
Картофель в мундире	630	Семена подсолнечника	710	Кедровые орехи	780
Изюм	1020	Отруби пшеничные	1160	Бананы	400
Курага	1880	Форель жареная	410	Чай	2480

**1.16.** Кобальт оказывает существенное влияние на процессы кроветворения, он активизирует ряд ферментов, усиливает синтез белков, участвует в образовании инсулина и в выработке витамина В<sub>12</sub>. При дефиците кобальта, менее 0,0003 мг/сутки для человека массой 70 кг, развивается злокачественная анемия. Токсичное действие наблюдается при дозе 7,2 мг/кг массы человека за сутки. Больше всего кобальта содержится в кальмаре – 95 мкг в 100 г продукта; затем в треске – 30,0 мкг/100 г; в крупе рисовой – 1 мкг/100 г.

1. Оцените, насколько опасен ежедневный обедненный рацион питания, состоящий, в основном, из отварного риса в количестве  $500 \div 700$  г.
2. Сколько нужно в день употреблять всех вышеперечисленных продуктов или витамина В<sub>12</sub> для восполнения суточной потребности организма в этом элементе?
3. Какое количество витамина В<sub>12</sub> при однократном приеме может привести к отравлению?

#### 4. Постройте кривую толерантности.

В оценках принять:

- суточная физиологическая норма потребления кобальта составляет 8 мкг, а в виде витамина В<sub>12</sub> – 2,86 мкг/кг;
- из 100 г риса-крупы получается после приготовления около 300 г отварного риса.

**1.17.** Марганец - необходимый для нормальной жизнедеятельности микроэлемент. Он участвует в образовании костей, в кроветворении и тканевом дыхании, поддерживает репродуктивные функции, при его участии выделяется инсулин – гормон поджелудочной железы. Марганец также является антиоксидантом. Необходимое суточное поступление марганца в организм человека весом 70 кг составляет  $2,0 \div 5,0$  мг.

При недостатке марганца замедляется сращивание костей при переломах, нарушается репродуктивная функция. Дефицит марганца в организме человека весом 70 кг может наступить при его суточном содержании в пище менее 0,5 мг.

При повышенном содержании марганца в организме человека возможно развитие анемии, нарушение функционального состояния организма. Токсическое действие при суточном приеме с пищей, более 0,2 мг/кг веса человека, может проявиться марганцевый Паркинсонизм.

Большее количество этого важного микроэлемента содержится в продуктах растительного происхождения. Например, в грецких орехах – 3,4 мг/100 г продукта; зерновых – 3 мг/100 г; капусте – 1,07 мг/100 г; в клюкве и бруснике до 40 мг/кг.

1. Оцените, достаточно ли употребления 200 г хлеба, 100 г капусты и 50 г грецких орехов для удовлетворения суточной физиологической нормы марганца подростку весом 45 кг.
2. При необходимости откорректируйте дневной рацион подростка.
3. Постройте кривую толерантности.

При расчетах необходимо учесть, что усвоение марганца из пищи не превышает 15% от его поступившего количества.

**1.18.** Медь является очень важным микроэлементом в организме человека. Она участвует в синтезе красных кровяных телец, в процессах роста и размножения, способствует усвоению железа. Суточная физиологическая норма поступления Cu в организм человека составляет  $1,5 \div 2,5\%$  от ее общего содержания.

При недостатке меди в организме наблюдается анемия, дерматозы, атрофия сердечной мышцы и заболевание «vitiligo» (*нарушение пигментации, выражающееся в исчезновении пигмента меланина на отдельных участках кожи*). Избыток меди может привести к нарушению психики и параличу

некоторых органов (болезнь Вильсона), поражению слизистых оболочек почек и печени и возникновению наследственных заболеваний.

1. Оцените степень опасности употребления 50 г варенья, сваренного в медной посуде и содержащего 224 мг Cu /100 г продукта.
2. Сколько нужно съесть варенья, чтобы удовлетворить дефицит и суточную потребность организма в этом элементе?
3. Постройте кривую толерантности.

В оценках принять:

- общее содержание меди в организме человека весом 70 кг составляет  $100 \div 150$  мг;
- к дефициту Cu в организме может привести ее суточное поступление с пищей в количестве менее 0,0043 мг/кг массы тела человека, а к летальному исходу –  $2,5 \div 3,6$  мг/кг.

**1.19.** Роль молибдена в биологической жизни – двоякая. Он считается необходимым микроэлементом, который способствует метаболизму углеводов и жиров, является важной частью фермента, отвечающего за утилизацию железа, в результате чего помогает предупредить анемию.

При дефиците молибдена в организме человека идет замедление клеточного роста и проявляется склонность к кариесу. Дефицит молибдена в организме встречается довольно редко и наступает при поступлении Mo в количестве менее 12 мкг/сутки.

Избыток молибдена в организме может привести к нарушению пуринового обмена: в результате распада пуринов (*азотсодержащих соединений*) образуется мочевая кислота, и если этой кислоты образуется много, то почки не успевают выводить ее из организма, тогда в суставах скапливаются растворенные в этой кислоте соли, суставы начинают болеть и начинается подагра.

В районах, где находятся запасы молибденовых руд, содержание Mo в питьевой воде достигает 1,3 мг/л.

1. Оцените, насколько опасно ежедневное употребление этой воды для питья, а также насколько опасно приготовление блюд из фасоли, печени и яиц, содержащих, соответственно, в 100 г продукта – 115; 165 и 84 мкг Mo?
2. Удовлетворит ли потребности организма в молибдене ежедневное использование питьевой воды с концентрацией 1 мкг/л и того же самого рациона питания? При необходимости выберите оптимальный рацион питания.
3. Постройте кривую толерантности.

В оценках принять:

- физиологическая суточная норма поступления молибдена в организм составляет  $0,075 \div 0,250$  мг;
- нарушение пуринового обмена наблюдается при суточном поступлении Mo в количестве 0,023 мг/кг веса человека, а летальный исход - при 3,14 мг/кг в сутки;

- общее суточное количество потребляемой воды – 2,5 л;
- суточное потребление фасоли – 50 г; печени – 75 г; яиц – 50 г;
- вес человека – 70 кг.

**1.20.** Магний является необходимой составной частью всех клеток и тканей, участвуя вместе с ионами других элементов в сохранении ионного равновесия жидких сред организма; входит в состав ферментов, связанных с обменом фосфора и углеводов; участвует в процессе нервно-мышечной возбудимости. В организме взрослого человека содержится около 20 г магния. Суточная физиологическая норма поступления магния в организм составляет 1,5 – 2,5% от общего содержания Mg в организме человека.

Одной из причин недостатка магния в организме может быть длительный прием мочегонных препаратов, который приводит к его дефициту – менее 5 мг/кг веса человека. Недостаток магния у человека может проявиться в склонности к судорогам и сердечным аритмиям. Поэтому врачи прописывают больному лечебную диету, состоящую в увеличении употребления продуктов растительного происхождения с повышенным содержанием магния до 80 %.

Используя данные, приведенные в таблице, составьте реальный суточный лечебный рацион, позволяющий удовлетворить потребности организма в этом элементе для человека весом 70 кг. Общее количество потребляемой пищи за сутки – 1500 г.

**Таблица.** Содержание магния в основных продуктах (мг/100 г продукта).

Продукт	Магний	Продукт	Магний	Продукт	Магний
Крупа гречневая	200	Какао-порошок	191	Фундук	172
Хлеб пшеничный	74	Хлеб ржаной	47	Сыр	50
Крупа рисовая	48	Треска	30	Картофель	23
Говядина	22	Творог	23	Молоко	14

**1.21.** Олово - один из необходимых для живых организмов микроэлементов. В микродозах Sn усиливает процессы роста и правильного развития скелета, также входит в состав желудочного фермента – гастриина. В теле человека содержится около  $1,5 \cdot 10^{-4}$  мас. % Sn. Суточная физиологическая норма поступления олова в организм составляет 10 % от его общего количества.

Повышенное содержание олова в продуктах может привести к отравлениям. Источником избыточного олова являются консервы, упакованные в жестяные банки. Обычно хранить консервы рекомендуют при температуре не выше 8 градусов Цельсия. Установлено, что хранение консервов при повышении температуры на  $1^{\circ}$  C приводит к увеличению содержания олова в них за месяц на 2 мг/кг.

1. Оцените, сколько времени хранили консервированные персики при нарушении температурного режима, а именно при температуре  $20^{\circ}$  C, если их

употребление в количестве 300 г, содержащих 670 мг олова/кг продукта, вызвало острое отравление.

2. Рассчитайте дозу острого отравления соединениями олова в пересчете на Sn.

3. Сколько можно было бы съесть этих консервированных персиков, чтобы они удовлетворили суточное физиологическое поступление данного микроэлемента.

4. Постройте кривую толерантности.

В оценках принять:

- дефицит олова может развиваться при недостаточном поступлении этого элемента - 1 мг/сутки и менее;
- вес человека составляет 70 кг.

**1.22.** Кальций входит в состав костей и участвует во всех жизненных процессах организма. При недостатке кальция в организме человека происходит размягчение и искривление костей и увеличивается риск их переломов, а его избыток приводит к язвенной болезни, гастритам и колитам.

Общее содержание кальция в организме человека составляет 1,9 % от веса человека. Суточная физиологическая норма поступления Ca в организм составляет 0,08 % от общего содержания этого элемента в организме человека.

1. Оцените, достаточно ли употребление одного яйца в день, содержащего около 50 мг Ca, чтобы восполнить суточную потребность организма человека в кальции.

2. Оцените риск развития тех или иных заболеваний, если человек употребляет только:

а) растительную пищу, в среднем с содержанием 20 мг Ca на 100 г продукта; суммарный суточный рацион человека – 1 кг растительной пищи, из которого усваивается не более 25% этого элемента;

б) молочную пищу: 200 граммов сыра (содержание Ca 1000 мг Ca/100 г продукта), 1 литр молока (120 мг Ca/100 г продукта) и 150 граммов творога (150 мг Ca/100 г продукта).

3. Сколько нужно съесть и каких продуктов, чтобы удовлетворить суточную потребность организма в этом макроэлементе?

4. Постройте кривую толерантности.

В оценках принять:

- дефицит кальция в организме может развиваться при недостаточном поступлении этого элемента – 0,5 мг/кг в сутки;
- избыток кальция - при поступлении более 100 мг/кг в сутки;
- вес человека – 70 кг.

**1.23.** Серебро является постоянной составляющей в организмах высших существ. Однако физиологическая роль Ag на данный момент изучена пока недостаточно.

Содержание серебра в организме человека составляет 1,0 мкг/кг, причем наибольшее его количество сосредоточено в легких, печени, мозге, эритроцитах, радужной оболочке глаза и гипофизе. Обычно потребность организма человека в этом микроэлементе полностью покрывается его поступлением с пищей.

Избыток серебра может откладываться в печени и приводить к заболеванию – аргирия (*аргирия – бурая или черно-серая пигментация кожи и слизистых оболочек глаз, вызванная отложением в них серебра*).

Недавно в США была запрещена безрецептная продажа препаратов серебра. Дело в том, что очень широкий перечень заболеваний, от которых якобы излечивают эти препараты (СПИД, рак, герпес, туберкулез и т.д.) привел к их неразборчивому употреблению, которое в некоторых случаях вызвало у людей аргирию.

1. Оцените промежуток времени, через который содержание серебра в организме человека достигнет такой величины, что может вызвать аргирию, а затем и смертельный исход, если человек ежедневно принимает препарат, содержащий 3 мг серебра, из которого 8 % накапливается в организме.

2. Постройте кривую толерантности.

В оценках принять:

- критическое максимальное содержание серебра в организме – 35 мг/кг массы тела;
- критическое минимальное содержание – 0,3 мг/кг;
- доза в 10 граммов нитрата серебра (6,35 г в пересчете на серебро) – оценивается как летальная.

**1.24.** Марганец – это микроэлемент, который способствует усвоению витаминов и минеральных веществ, участвует в регуляции углеводного и жирового обмена, при его участии выделяется инсулин – гормон поджелудочной железы. Суточное физиологически необходимое поступление марганца в организм человека весом 70 кг составляет 5 мг. При поступлении Mn в количестве менее 0,03 мг/кг веса человека наступает дефицит этого микроэлемента, а более 0,2 мг/кг - проявляется токсическое действие, сопровождающееся анемией и нарушением функционального состояния нервной системы.

Представляет ли опасность для здоровья людей употребление в пищу огурцов, выращенных на почве, содержащей 100 мг/кг марганца?

В расчетах принять:

- глубина пахотного слоя почвы 30 см;
- плотность почвы 1,45 г/см<sup>3</sup>;
- с 1 м<sup>2</sup> собирают до 10 кг огурцов;
- поступление марганца из почвы в растение за счет корневого питания составляет 10%;



- средняя масса огурцов по отношению к зеленой массе – 60%;
- человек в разгар появления огурцов (июль-август) может ежедневно съесть по 0,5 кг плодов данного растения;
- вес человека – 70 кг.

**1.25.** Насколько опасно ежедневное употребление сгущенного молока в количестве 200 г и, особенно, из банок, которые хранились более 2-х лет, по сравнению с молоком, расфасованным в стеклянные бутылки?

В оценках принять:

- концентрация олова в молоке:
  - а) из стеклянных бутылок – 0,0078 мг/л;
  - б) из жестяных нелакированных банок – 16 мг/л;
  - в) лакированных банок – 5 мг/л;
- после хранения в течение 2-х лет содержание олова в сгущенном молоке, расфасованном в жестяные нелакированные банки, увеличивается до 160 мг/л.
- суточная норма олова в рационе человека – 0,24 мг/кг веса человека;
- доза олова, равная 2,8 мг/кг веса человека, приводит к острому отравлению;
- период полувыведения олова из организма составляет 100 суток.

## **2. Закон Линдемана и экологические пирамиды**

**2.1.** По некоторым оценкам для того, чтобы вырастить ребенка до 14-летнего возраста необходимо вырастить 20 бычков, на рост которых будет израсходовано 500 т зеленой массы. Пользуясь приведенными величинами, выполните следующий анализ и оценки.

1. Составьте трофическую цепь и экологические пирамиды по условиям задачи.
2. Подчиняется ли данная трофическая цепь закону Линдемана?
3. Пользуясь приведенными в задаче соотношениями, оцените:
  - а) сколько мяса необходимо для пропитания жителей Ивановской области в течение года?
  - б) какое количество зеленой массы необходимо вырастить, чтобы обеспечить всех жителей региона требуемым количеством мяса?
4. Соотнесите полученные значения с реальными возможностями Ивановской области.
5. Во сколько раз должна быть расширена площадь пахотных земель в Ивановской области, чтобы можно было увеличить поголовье крупного рогатого скота до уровня, необходимого для полного удовлетворения всех жителей региона в мясе? Реально ли это сделать?

В оценках принять:

- энергетический эквивалент зеленой массы - 20 ккал/100 г травы;
- энергетический эквивалент мышечной ткани теплокровных – 171 ккал/100 г;
- мышечная масса бычка, в среднем - 125 кг;

- вес мальчика - 50 кг;
- площадь с/х угодий Ивановской области – 869 тыс. га, из которых 69% - пашня;
- средняя урожайность однолетних бобовых культур (гороха, вики, клевера, донника и др.) в Нечерноземье -125 ц/га;
- вес одного растения, в среднем - 100 г;
- число жителей Ивановской области – 1,07 млн человек;
- по данным ООН в год для пропитания человеку требуется 95 кг мяса.

**2.2.** Жгутиковые простейшие *Leptomonas* паразитируют на мелких насекомых, причём на одной блохе их может быть найдено до нескольких тысяч. По приведенной ниже пищевой цепи:

*почва* → *трава* → *травоядные млекопитающие* → *блохи* → *Leptomonas*

- 1) постройте пирамиду численности и пирамиду биомассы;
- 2) сделайте соответствующие выводы.

**2.3.** Для приведенной трофической цепи: *почва* → *трава* → *овцы* → *люди* рассчитайте:

- 1) привес мышечной ткани у овец, которые целый сезон паслись на лугах площадью 1000 га, если урожайность зеленой массы этих лугов составляет 90 центнеров с га;
- 2) сколько человек можно накормить мясом этих овец за сутки?

В расчетах принять:

- энергетическая ценность 100 г зеленой массы трав составляет 20 ккал;
- энергетическая ценность 100 г баранины - 300 ккал;
- суточная потребность взрослого человека в мясе - 150 г;

3) по полученным данным постройте экологические пирамиды биомассы и энергии для участка пищевой цепи *почва* → *трава* → *овцы*.

**2.4.** Мужчины одной из деревень, расположенной далеко от крупных населенных пунктов, занимаются охотой на мелких животных, преимущественно зайцев, обитающих в большом количестве в соседнем лесу. Пользуясь приведенными ниже сведениями, дайте ответы на следующие вопросы:

1. Какова популяция зайцев в лесу?
2. Полностью ли удовлетворяют охотники потребность своих семей в мясе только путем отстрела зайцев? Если нет, то, что им необходимо предпринять?
3. По полученным расчетным данным постройте экологические пирамиды биомассы и энергии для участка пищевой цепи *почва* → *продуценты* → *консументы первого порядка*.

В расчетах принять:

- популяция зайцев, обитающих в лесу, затрачивает на рост и поддержание нормальной жизнедеятельности 100 тонн зеленой массы в год;
- средний вес зайца – 3,5 кг;
- энергетическая ценность мяса зайцев – 205 ккал/100 г;
- энергетическая ценность продуцентов – 100 ккал/1 кг;
- численность населения деревни – 100 человек;
- одному человеку для удовлетворения своих биологических потребностей необходимо 120 г мяса в день.

**2.5.** Для поддержания нормальной жизнедеятельности волку необходимо в среднем 2500 ккал энергии в сутки. Для приведенной трофической цепи: *почва → трава → травоядные животные → волк*:

- 1) постройте пирамиду энергии в расчете на год;
- 2) оцените, сколько мяса травоядных животных в год должен съесть волк, чтобы восполнить требующуюся ему энергию;
- 3) какое количество травы необходимо для питания травоядных животных?

В расчетах принять:

- калорийность 100 г мяса теплокровных животных составляет 700-800 кДж (1 ккал = 4,1868 Дж);
- энергетический эквивалент травы - 25 ккал/100 г.

**2.6.** Оцените, какой площади поле необходимо засеять кормовыми травами со средней урожайностью трав 120 центнеров с 1 га, чтобы удовлетворить годовую потребность человека в животных белках. Для ответа на поставленный вопрос постройте пирамиду энергии для участка трофической цепи: *почва → кормовые травы → коровы*.

В расчетах принять, что:

- удовлетворение годовой потребности человека в животных белках происходит путем употребления в пищу мяса коров, пасущихся на данном поле;
- суточная потребность человека в белках составляет 100 г, причем из них на долю животных белков приходится 50%;
- в 100 г говядины содержится 20 г белков;
- энергетическая ценность говядины - 172 ккал/100 г;
- энергетический эквивалент кормовых трав - 30 ккал/100 г.

**2.7.** Для трофической цепи: *почва → трава → овцы → люди* с учетом приведенных ниже данных:

- 1) постройте пирамиду энергии для участка *почва → трава → овцы*;
- 2) рассчитайте, какого привеса мышечной ткани можно ожидать у овец, которые целый сезон паслись на высокогорных лугах площадью 2000 га, если урожайность зеленой массы этих лугов составляет 90 центнеров с га;

3) сколько человек можно накормить мясом этих овец за сутки и за год?

В расчетах принять:

- энергетическая ценность зеленой массы - 20 ккал/100 г;
- энергетическая ценность баранины - 300 ккал/100 г;
- в 100 г баранины содержится около 20 г белков;
- суточная потребность человека в животных белках - 50 г.

**2.8.** В лесу на определенной территории обитали  $N$  зайцев и 10 волков. Из-за засухи погибло до 40% травы. Насколько при этом уменьшилось поголовье зайцев и волков?

В расчетах принять:

- при движении по пищевой цепи на уровне *почва* → *трава* → *заяц* теряется до 94% энергии, а на уровне *заяц* → *волк* - 96 %;
- средний вес зайца - 3,5 кг; волка - 40 кг;
- энергетический эквивалент 1 кг травы - 200 ккал; 1 кг зайчатины - 2000 ккал; 1 кг мяса волка - 2500 ккал.

Для рассматриваемой в задаче трофической цепи постройте пирамиды энергии до и после засухи.

**2.9.** Чтобы обеспечить себя животными белками в течение года, семья, состоящая из 5 человек, решила разводить свиней.

1. Определите, какое количество животных необходимо выкормить для удовлетворения годовой потребности всех членов семьи в животных белках.

2. Постройте пирамиду энергии для участка трофической цепи *почва* → *картофель* → *свиньи*.

3. Оцените размеры земельного участка, на котором нужно вырастить картофель для прокорма требуемого количества свиней.

В расчетах принять:

- суточная потребность человека в животных белках - 50 г;
- в 100 г свинины - 15 г белков;
- энергетическая ценность свинины - 406 ккал/100 г;
- средняя мышечная масса 1 поросенка - 150 кг;
- энергетическая ценность картофеля - 200 ккал/100 г;
- средняя урожайность картофеля - 8 кг/м<sup>2</sup>.

**2.10.** По данным ООН для сбалансированного питания человеку в год необходимо 250 литров молока.

1. Рассчитайте, какое количество крупного рогатого скота (КРС) необходимо завести в животноводческих хозяйствах Ивановской области для обеспечения всех ее жителей необходимым количеством молока.

2. Оцените, какую площадь пахотных земель нужно засеять с/х культурами, чтобы получить нужное количество фуража для пропитания этого поголовья КРС.

3. Соотнесите полученные значения с реальными возможностями Ивановской области.

4. Постройте экологические пирамиды.

В расчетах принять:

- в среднем за 1 год от коровы можно получить 3000 л молока;
- вес коровы 450 – 500 кг;
- энергетический эквивалент мышечной ткани коров – 171 ккал/100 г;
- энергетический эквивалент фуража – 400 ккал/кг;
- число жителей Ивановской области – около 1 млн человек;
- размеры пахотных земель области - около 600 тысяч гектар;
- урожайность кормовых культур - 120 ц/га.

**2.11.** Чтобы получить 2,5 м<sup>2</sup> ценного меха песца, нужно кормить его в течение года свежим мясом кроликов. Для шитья шубы требуется не менее 10 шкурок песца.

1. Оцените, сколько кроликов необходимо вырастить для прокорма 10 песцов.

2. Сколько тонн зеленой массы потребуется для того, чтобы обеспечить питанием консументов первого порядка?

3. Постройте экологические пирамиды.

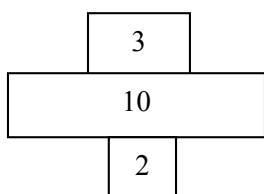
В расчетах принять:

- вес песца – (7÷8) кг; вес кролика – 3 кг; вес одного растения – 100 г;
- энергетическая ценность мяса кроликов – 200 ккал/100 г; мяса песца – 250 ккал/100 г; зеленой массы – 25 ккал/100 г.

**2.12.** На рисунке приведены две пирамиды биомасс (цифры – это продукция, выраженная в граммах сухой массы, приходящаяся на 1 м<sup>3</sup> воды), характерные для озерной экосистемы зимой (А) и летом (Б).

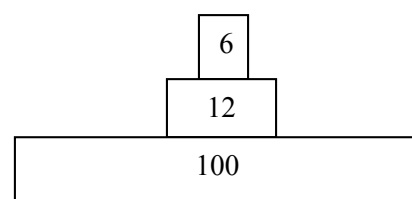
1. Объясните наблюдаемые различия в обеих пирамидах.

2. Дайте основные характеристики наземных и водных экосистем и поясните, в чем заключаются главные отличия этих экосистем.



А) зимнее озеро

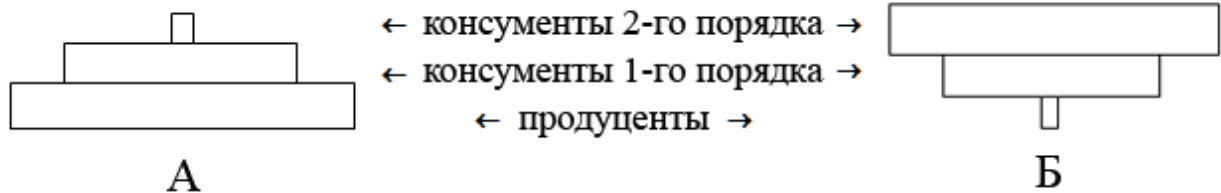
← вторичные консументы →  
← первичные консументы →  
← продуценты →



Б) летнее озеро

2.13. На рисунке приведены две пирамиды численности (А) и (Б).

1. Объясните различия между этими пирамидами.
2. Назовите причины, приводящие к возникновению таких пирамид.
3. Приведите примеры реализации в природе того и другого типа этих пирамид и нарисуйте для обоих случаев пирамиды энергии.



2.14. Для поддержания нормальной жизнедеятельности белому медведю в день необходимо съесть 20 рыб. Для трофической цепи: *вода* → *планктон* → *рыба* → *медведь*

- 1) постройте пирамиду энергии;
- 2) определите площадь акватории обитания популяции белых медведей численностью 80 особей, если в 1 м<sup>3</sup> воды находится 0,5 кг планктона;
- 3) оцените средний вес рыбы.

В расчетах принять:

- энергетический эквивалент рыбы – 120 ккал/100 г; мяса медведя – 350 ккал/100 г; планктона – 30 ккал/100 г;
- вес медведя 500 кг;
- планктон находится в слое морской воды толщиной один метр;
- рассматриваемый промежуток времени – 1 год.

2.15. На лугу растет клевер, энергетический эквивалент которого равен 1 млрд кДж.

1. Какое максимально возможное количество привеса мышечной ткани (в энергетических и массовых единицах) можно ожидать у людей, которые употребляли в пищу мясо телят, выращенных на этом лугу?
2. Рассчитайте количество телят весом 150 кг, которые паслись на этом лугу.

В расчетах принять:

- энергетический эквивалент мышечной ткани теплокровных – 170 ккал/100 г (1 кал = 4,1868 Дж);
- вес мышечной ткани теленка составляет 82 % от общей массы тела животного.

2.16. Для поддерживающей терапии при черепно-мозговых травмах врачи назначают 20-дневный курс лечения препаратом актовегин. Для изготовления 1-й ампулы актовегина требуется 80 мг сухой массы крови телят. Сколько

людей можно вылечить препаратом, полученным из крови телят, выращенных на лугу площадью 100 га, если:

- средняя урожайностью травы - 120 ц/га;
- энергетический эквивалент зеленой массы кормовых трав - 30 ккал/100 г;
- энергетическая ценность 100 г говядины 172 ккал;
- средний вес годовалого бычка – 150 кг;
- объем крови у теленка – 9 л;
- из 1 л крови можно приготовить 200 мг сухой массы крови;
- дозировка лекарства – 1 ампула в день.

**2.17.** По результатам изучения влияния усиления дозы УФ излучения на фитопланктон было установлено, что в районе озоновой дыры у берегов Антарктиды общая продуктивность автотрофов за время наблюдения снизилась на 6 – 12%, что может впоследствии нарушить биологическое равновесие и разорвать пищевую цепь: *вода → фитопланктон → криль → рыба → пингвины*. Как это может сказаться на численности колонии пингвинов, если она первоначально насчитывала 100000 особей?

При оценках принять:

- энергетический эквивалент фитопланктона - 250 ккал/кг;
- энергетический эквивалент мяса птиц – 3000 ккал/кг;
- средний вес пингвина – 10 кг;
- перенос энергии с первого трофического уровня на второй – 2,5%; со второго на третий – 4%; с 3-го на 4-й – 7,5%.

По полученным данным постройте пирамиды энергии до и после негативного воздействия УФ излучения на продуцентов.

**2.18.** Картофельное поле площадью 15 га заражено колорадскими жуками. В соответствии с законом Линдемана, оцените, какое максимальное количество колорадских жуков может населять данное поле.

При оценках принять:

- биомасса растений картофеля, произрастающих на 1 га, составляет 130 ц;
- энергетический эквивалент 1 кг растений картофеля - 350 ккал;
- биомасса 1 жука – 4 г;
- энергетический эквивалент веса 10 граммов насекомых - 15 ккал.

**2.19.** Для экосистем северных морей характерна следующая пищевая цепь: *вода → планктон → рыба → тюлень → белый медведь*.

1. Какой может быть максимальная суммарная масса всех тюленей, которые пошли на питание белых медведей и количество этих тюленей, чтобы белый медведь достиг веса 800 кг?

2. Суммарная масса каких организмов данной трофической цепи должна быть наибольшей и почему?

При оценках принять:

- энергетический эквивалент мяса тюленя - 500 ккал/100 г; мяса медведя - 450 ккал/100 г;
- средний вес тюленя – 150 кг.

**2.20.** Используя правило пирамиды энергий, определите площадь (га) акватории озера, которая может прокормить одну щуку массой 3 кг в цепи питания: *вода* → *водоросли* → *рачки* → *плотва* → *щука*.

При оценках принять:

- продуктивность фитопланктона – 300 г/м<sup>2</sup>;
- энергетический эквивалент фитопланктона - 25 ккал/100г;
- энергетический эквивалент 100 г рыбы составляет 90 ккал.

**2.21.** Продуктивность наземных растений составляет 245 г/м<sup>2</sup>, их калорийность – 59 ккал/100 г. Какая площадь луга (га) необходима для того, чтобы прокормить орла весом 6 кг, который находится на последнем уровне в цепи питания: *почва* → *растения* → *кузнечики* → *лягушки* → *ужы* → *орел*?

В расчетах принять, что энергетический эквивалент 100 граммов мяса птицы составляет 235 ккал.

**2.22.** В трофической цепи леса: *почва* → *растения* → *зайцы* → *лисица* суммарная биомасса травянистых растений составляет 110 т. Определите возможную максимальную численность популяции лисиц в этом лесу.

В расчетах принять:

- энергетический эквивалент травы – 23 ккал/100 г;
- энергетический эквивалент биомассы лисы – 167 ккал/ на 100 г;
- биомасса одной лисицы – 10 кг.

**2.23.** Если в лесу на площади 1 га взвесить отдельно все растения, всех насекомых и всех вместе взятых позвоночных (земноводных, пресмыкающихся, птиц, млекопитающих), то представители какой группы суммарно будут весить больше всего? Меньше всего? Ответ обоснуйте.

**2.24.** Ежедневно курица склевывает по 200 ÷ 250 граммов зерна и один раз в два дня сносит одно яйцо.

1. Рассчитайте, какую площадь необходимо засеять пшеницей, чтобы удовлетворить годовую потребность жителей города численностью 250 000 человек в яичном белке.

2. Постройте экологические пирамиды (численности, биомассы и энергии).

3. Подчиняется ли данная трофическая цепь закону Линдемана?

В расчетах принять:



- одному человеку для удовлетворения биологических потребностей в яичном белке необходимо съесть 2 яйца в неделю;
- урожайность пшеницы – 20 ц с га;
- масса 1000 зерен от 35 до 50 г;
- вес курицы – 2 кг;
- энергетический эквивалент зерновых - 350 ккал/100 г;
- энергетический эквивалент мяса курицы – 240 ккал/100 г.

**2.25.** В лесу обитают 1250 кроликов и 10 волков. Из-за неблагоприятных погодных условий засохло около 40% травы. Постройте экологические пирамиды и оцените, насколько уменьшилось поголовье зайцев и волков в этом лесу, если:

- вес кролика – 4 кг; вес волка – 38 кг;
- энергетический эквивалент мяса кроликов - 200 ккал/100 г;
- энергетический эквивалент мяса волков – 245 ккал/100 г;
- энергетический эквивалент зеленой массы травы – 25 ккал/100 г;
- перенос энергии с 1-го трофического уровня на второй составляет не более 7%, а со второго – на третий – 9,5%.

### **3. Концентрирование токсичных соединений при движении по трофической цепи**

**3.1.** Суммарная концентрация нефти и нефтепродуктов в реке, протекающей вблизи нефтеперерабатывающего завода, составляет 2 мг/л. Нефтепродукты включаются в пищевую цепь водной экосистемы, подавляют фотосинтез у растений и вызывают нарушения репродуктивных и пищевых функций у живых организмов. При движении нефтепродуктов по трофической цепи:

*вода → фитопланктон → зоопланктон → мелкая рыба → крупная рыба*  
 происходит трехкратное концентрирование токсикантов и их метаболитов на каждой ступени. Оцените:

- 1) опасность разового потребления рыбы из этой реки;
- 2) через какое время у человека может возникнуть отравление нефтепродуктами при ежедневном потреблении рыбы?

В расчетах принять:

- безопасная ежедневная доза поступления нефтепродуктов в организм человека составляет 1 мг на 1 кг веса человека;
- разовая доза, вызывающая острое отравление - 20 мг/кг;
- вес человека – 70 кг;
- коэффициент выведения нефтепродуктов из организма человека - 0,35;
- ежедневное потребление рыбы – 0,3 кг.

**3.2.** Для биологической борьбы с вредителями посевы зерновых ежегодно обрабатывались хлорорганическим пестицидом гексахлораном. Часть распыленного над посевами токсиканта проникала в почву, откуда вместе с поверхностными стоками попадала в водоем, расположенный на территории агропромышленного комплекса. При движении по трофической цепи:

*вода → водная растительность → рыба (мальки) → птица (утка)*

концентрация пестицида в водной растительности водоема составила 0,1 мг/кг.

1. Оцените содержание токсиканта в субстрате и в мелкой рыбе, при условии, что коэффициент его аккумуляции равен 10.
2. Какое количество пестицида ежедневно поступает в организм утки, если за день она съедает около 0,5 кг рыбы?
3. Через какое время у птицы весом 3 кг может накопиться опасное содержание гексахлорана?
4. Какова перспектива сохранения популяции уток на данной территории, если известно, что гексахлоран вызывает отклонения в развитии эмбрионов?

В расчетах принять:

- летальная доза гексахлорана - 200 мг/кг.

Выведением гексахлорана из организмов пренебречь.

**3.3.** При сбросе сточной воды в море от предприятий вблизи Стокгольма концентрация ртути в воде составила 0,002 мг/л. На основании приведенной пищевой цепи:

*вода → фитопланктон → зоопланктон → мелкая рыба → крупная рыба*

оцените:

- 1) насколько опасна эта концентрация ртути для хищных рыб, обитающих в данном месте;
- 2) сколько рыбы должен съесть человек, чтобы получить летальную дозу ртути?

В расчетах принять:

- смертельная доза ртути для теплокровных и холоднокровных организмов – 10 мг/кг;
- коэффициент аккумуляции токсиканта в водной экосистеме равен 5;
- вес человека – 70 кг;
- вес рыбы – 2 кг.

Выведением ртути из организма человека пренебречь.

**3.4.** В 20 веке для борьбы с вредными насекомыми во многих странах широко использовался инсектицид дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ). Данный инсектицид отличается высокой устойчивостью к разложению и он концентрируется из окружающей среды живыми организмами, оказывая подавляющее действие на жизненно важные функции.

На основании приведенной трофической цепи: *вода* → *планктон* → *мелкая рыба* → *судак* рассчитайте количество ДДТ в организме человека, который съест 300 граммов судака, выловленного из реки, в водах которой его концентрация составляет 0,005 мг/л. Определите, через какой промежуток времени в организме человека накопится:

1) токсическая доза ДДТ, приводящая к поражению печени и почек;

2) смертельная доза ДДТ

при регулярном употреблении 0,3 кг рыбы из этой реки 2 раза в неделю.

В расчетах принять:

- коэффициент аккумуляции ДДТ на каждом звене пищевой цепи водной экосистемы равен 10;
- токсическая доза для людей при поступлении через желудочно-кишечный тракт -  $10 \div 15$  мг/кг;
- летальная доза -  $70 \div 85$  мг/кг;
- вес человека – 70 кг.

Выведением токсиканта из организма человека пренебречь.

**3.5.** При использовании соединений ртути в качестве фунгицидов для протравливания семян происходит концентрирование ртути при движении по трофической цепи: *зерно* → *зерноядные птицы (голуби)* → *хищные птицы (ястреб)* → *крупные хищные птицы (беркут)*. Коэффициент аккумуляции ртути в перечисленных выше организмах составляет в среднем 5 единиц.

Определите содержание ртути в теле беркута и перспективу жизни птицы, если содержание ртути в зерне, выращенном из протравленных семян, в четыре раза превышает ПДК ртути для зерновых продуктов (0,01 мг/кг).

Из справочных данных известно, что время жизни испытываемых животных, при накоплении Hg в их организмах в дозах 20 мг/кг, составляло два месяца.

**3.6.** Среднее содержание свинца в траве, скошенной вблизи оживленной автотрассы, составляет 0,062 мг/кг. В сене из высушенной травы содержание свинца повышается в 10 раз. Коэффициент аккумуляции свинца крупным рогатым скотом (КРС) равен 3, причем в мышечной ткани свинца содержится 75% от общего содержания в организме КРС.

Найдите, через какое время у человека, съедающего по 200 граммов мяса в день, накопится смертельная доза свинца, равная 5 мг/кг.

В расчетах принять, что в организме человека накапливается 10% от поступающего с пищей свинца. Вес человека 70 кг.

**3.7.** Крушение судна с ядохимикатом привело к тому, что концентрация вещества в водах Северного Ледовитого океана в месте катастрофы

установилась на уровне 0,05 мг/л. При движении токсиканта по трофической цепи:

*вода* → *планктон* → *мелкая рыба* → *хищная рыба* → *тюлень* → *белый медведь*  
происходит накопление ядохимиката в организмах.

Рассчитайте коэффициенты аккумуляции ядохимиката и его содержание на каждом уровне трофической цепи, если медведь отравился после съедения восьми тюленей.

В расчетах принять:

- смертельная доза ядохимиката для теплокровных животных составляет 24 мг/кг;
- масса медведя - 400 кг;
- масса тюленя - 120 кг;
- средняя плотность воды на поверхности Северного Ледовитого океана оценивается в 1,025 кг/л;
- коэффициент аккумуляции токсиканта на первом, втором, третьем и четвертом трофических уровнях - величина постоянная.

**3.8.** В США по непонятным причинам погибло несколько телят, как потом выяснилось, от свинцового отравления. Они питались молоком коров, которые паслись около автотрасс с интенсивным движением. Содержание свинца в почве около дорог доходило до 10 мг/кг, а в траву переходило до 20 % от этого количества. Коэффициент аккумуляции свинца на втором уровне пищевой цепи составляет 8 единиц.

Какая доза свинца оказалась смертельной для телят, если до смерти они выпивали по 15 литров молока за 1 день.

В расчетах принять, что:

- концентрация Pb в молоке равна его концентрации в мясе коровы;
- плотность коровьего молока составляет 1,027 – 1,032 кг/л;
- гибель телят наступила через полтора месяца после их рождения;
- вес теленка - 40 кг.

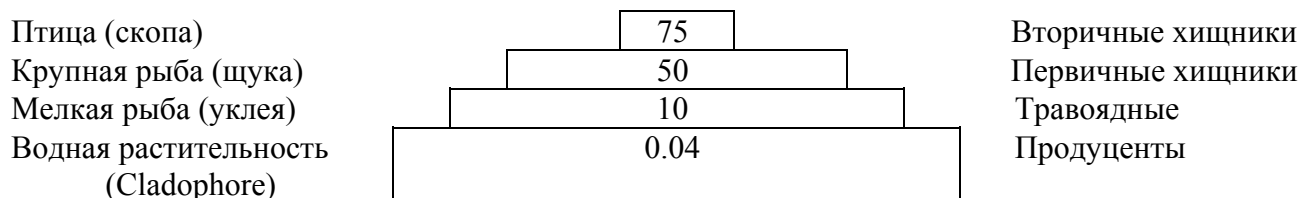
**3.9.** На приведенной ниже трофической цепи показано накопление ДДТ на разных трофических уровнях (цифры – количество весовых единиц ДДТ, приходящееся на 1 млн весовых частей биомассы данного трофического уровня).

1. Оцените, во сколько раз возрастает содержание ДДТ при переходе:

- а) в первичные продуценты;
- б) мелкие рыбы;
- в) крупные рыбы;

г) тела хищных птиц, завершающих трофическую цепь, если концентрация ДДТ в воде, окружающей водную растительность, составляет  $0,02 \text{ ч} \cdot \text{млн}^{-1}$ .

2. Какие выводы можно сделать на основании полученных ответов на вопрос 1.
3. На каком трофическом уровне ДДТ скорее всего оказывает наибольшее влияние на живые организмы?
4. На каком трофическом уровне его легче всего обнаружить?
5. На каком уровне находятся насекомые-вредители урожаев, являющиеся обычной «мишенью» ДДТ?
6. Какими путями ДДТ и его метаболиты попадают в печень пингвинов?



7. Какими свойствами должны обладать, по вашему мнению с экологической точки зрения, вновь создаваемые пестициды?

**3.10.** Известно, что некоторые виды устриц накапливают ДДТ в количествах, превышающих его содержание в воде в 70 000 раз. Оцените:

1. Коэффициент аккумуляции токсиканта в пищевой цепи: *вода* → *фитопланктон* → *зоопланктон* → *устрицы*.
2. Сколько можно съесть этих устриц, чтобы не получить отравления?

В расчетах принять, что:

- концентрация ДДТ в морской воде на отмелях, где обитают устрицы, держится на уровне ПДК<sub>в</sub>, равной 0,1 мг/л;
- величина летальной дозы ДДТ для человека при введении в желудок находится в пределах 15 ÷ 150 мг/кг;
- вес человека - 70 кг;
- вес устрицы - 50 г.

**3.11.** Исследования, проведенные в Женевском озере, позволили установить следующую последовательность содержания полихлорированных бифенилов (ПХБ используются, в частности, как присадки к пестицидам) в перечисленных ниже звеньях трофической цепи:

- взвешенные частички в воде озера – 0,02 ppm;
- фитопланктон – 0,054 ppm;
- зоопланктон – 0,39 ppm;
- моллюски – 0,6 ppm;
- рыбы – 4 ppm.

1. Рассчитайте коэффициенты биоаккумуляции ПХБ на каждом трофическом уровне.
2. Оцените, какое количество рыбы должен съесть человек, чтобы в жировых фракциях его тела накопилось ПХБ в количестве 10 ppm.

В расчетах принять:

- вес рыбы - 1,5 кг;
- вес человека - 70 кг.

Выведением ПХБ из организма человека пренебречь.

**3.12.** В некотором населенном пункте, спустя несколько лет после захоронения радиоактивных отходов, образовавшихся в результате аварии на Чернобыльской АЭС, было обнаружено, что в картофеле содержится цезий-137 в количестве 0,01 г/кг, а в мясе свиней, которых кормили этим картофелем - 0,045 г/кг.

1. Оцените содержание цезия в почве, приняв, что коэффициент накопления радионуклида на всех трофических уровнях величина постоянная.
2. Рассчитайте, сколько свинины может съесть человек, чтобы не получить отравление.
3. Через какой промежуток времени человек может получить смертельную дозу  $^{137}\text{Cs}$  при регулярном употреблении блюд, приготовленных из зараженной свинины?

В расчетах принять:

- пороговая допустимая доза  $^{137}\text{Cs}$  - 0,03 г/кг;
- летальная доза  $^{137}\text{Cs}$  – 2 г/кг;
- вес человека - 70 кг;
- ежедневное употребление мяса - 250 гр;

Выведением радионуклида из организма пренебречь.

**3.13.** В середине 20 века в Японии разразился скандал, связанный с заражением более сотни тысяч жителей префектур Кумамото и Кагосима ртутью (*это равносильно тому, что произошло заражение всех жителей города Магадан*). Расследование показало, что всему виной ртутные отходы, сбрасываемые в залив Минамата предприятиями химической промышленности. Это привело к накоплению ртути в моллюсках и промысловой рыбе, которые составляли основу пищевого рациона жителей прибрежных рыбацких деревень.

Экспертами ВОЗ установлено, что предел допустимого суточного поглощения человеком общей ртути составляет примерно 0,04 мг. При накоплении ртути в организме в количестве 50 мг/кг начинают проявляться отчетливые признаки заболевания «Минамата»: отмирание мышц рук и ног, поражение головного мозга, потеря речи. Больные напоминают «дышащих деревянных кукол». Накопление ртути в количестве 300 мг/кг представляет опасность для жизни. Рассчитайте:

1. Суточное накопление ртути в организмах пострадавших жителей. Во сколько раз это количество превышало максимально допустимую величину?

2. Промежуток времени, через который в организмах людей содержание ртути достигало количества, приводящего: а) к прогрессированию заболевания «Минамата»; б) к смерти.

В расчётах принять:

- в период массовых заболеваний содержание ртути в морепродуктах достигало 11 мг/кг;
- суточное потребление морепродуктов в среднем составляло 250 г/чел;
- масса тела человека - 70 кг.

Выведением ртути из организма пренебречь.

**3.14.** В 50-е годы 20 века в японской префектуре Тояма была зафиксирована эпидемия болезни «итай-итай» (яп. «итай-итай» – «ох-ох, как больно»), в результате которой погибли сотни человек. Болезнь сопровождалась поражением почек, сильными болями, а также остеомалацией, вызывающей ломкость костей и деформацию скелета. Это заболевание было вызвано тяжелым хроническим отравлением людей кадмием, который поступал к ним с загрязненной пищей – рисом и морепродуктами. Причиной загрязнения пищи была добыча полезных ископаемых открытым способом, при которой токсикант в течение длительного времени поступал в воды бассейна реки Дзиндзу, используемые для орошения рисовых полей. По условию задачи:

- 1) оцените, какое количество кадмия поступало в организмы людей с рисом и с морепродуктами;
- 2) рассчитайте, во сколько раз ежедневная доза поступления кадмия в организм превышала максимально допустимую величину;
- 3) через какой промежуток времени прогрессирование заболевания привело к летальному исходу;
- 4) оцените коэффициент накопления Cd в цепи: *почва* → *рис* → *человек* на момент гибели людей.

В расчетах принять:

- общее суточное поступление кадмия в организм человека -600 мкг;
- содержание токсиканта в рисе на момент массового заражения людей составляло 0,8 мг/кг;
- в сутки каждый житель съедал ~ 300 г риса;
- показатель временного переносимого недельного потребления для кадмия составляет 7мкг/кг массы тела человека;
- количество кадмия, приводящее к гибели человека:  $1,5 \div 9$  г;
- масса тела человека - 70 кг.

Выведением токсиканта из организма пренебречь.

**3.15.** При движении свинца по трофическим цепям:

*вода* → *фитопланктон* → *зоопланктон* → *донные моллюски*



***рыбы-планктонофаги → тунцы***

его содержание в фитопланктоне оказалось в 10 раз выше, чем в окружающей среде (воде), в зоопланктоне – в 300, в донных моллюсках и рыбах-планктонофагах – в 2500 и в хищных рыбах, например, в тунцах, – в 5000 раз.

1. Оцените, на каком трофическом уровне коэффициент биологической аккумуляции будет самый большой.
2. У кого из людей вероятность отравления и смертельного исхода будет выше:
  - а) у человека – любителя моллюсков, потребляющего их в количестве 0,5 кг два раза в неделю;
  - б) у человека, съедающего через день 100 гр тунца.
3. Через какой промежуток времени и у любителей моллюсков и у любителей тунца может накопиться летальная доза тяжелого металла?

В расчетах принять:

- концентрация свинца в воде – 0,1 мг/л;
- летальная доза свинца для человека – 12 мг/кг массы тела.

**3.16.** У побережья Корсики в теле угрей содержание ртути достигает 900 мкг/кг. Развитие болезни «Минамата» возможно, если потребление угрей составит 3 кг в неделю на человека в течение 25 лет. На основании приведенной трофической цепи:

*вода → фитопланктон → зоопланктон → мелкая рыба → угри*

- 1) рассчитайте средний коэффициент биологической аккумуляции ртути в водной экосистеме, если ее концентрация в воде составляет 0,1 мкг/л;
- 2) оцените пороговую концентрацию ртути в организме человека, приводящую к развитию болезни «Минамата».

**3.17.** При исследовании экосистемы в озере Мичиган было установлено, что концентрация ДДТ в воде составила величину 0,01 мг/л, а содержание токсиканта в донном иле озера превысило ее в 14 раз. В результате биоаккумуляции ДДТ в пищевой цепи его содержание в организмах ракообразных, питающихся на дне, достигла 0,41 мг/кг, в различных рыбах — 3÷6 мг/кг, в жировой ткани чаек, питающихся этой рыбой, — свыше 200 мг/кг.

1. По условию задачи составьте трофическую цепь.
2. Рассчитайте коэффициенты биологической аккумуляции инсектицида на каждом звене трофической цепи.
3. В каком звене произошло максимальное накопление ДДТ?

**3.18.** Река Инглиш-Ривер в провинции Онтарио (Канада) была загрязнена ртутью, сбрасываемой заводом по производству хлора и каустической соды. Содержание ртути в теле карпов, выловленных в этой реке, достигало 11000 мкг/кг. На основании приведенной трофической цепи: *вода → фитопланктон → зоопланктон → карпы* рассчитайте:



- 1) концентрацию ртути в воде при условии, что средний коэффициент биологической аккумуляции Hg в рассматриваемой водной экосистеме близок к 10;
- 2) какое количество рыбы в день может съесть человек, не опасаясь за свое здоровье?
- 3) какое количество съеденной рыбы может привести к прогрессированию заболевания «Минамата»?

В расчетах принять:

- предел допустимого суточного поглощения человеком общей ртути составляет 0,04 мг;
- отчетливые признаки заболевания «Минамата» начинают проявляться при накоплении ртути в организме в количестве 50 мг/кг;
- вес человека - 70 кг.

**3.19.** Реакторы Хэнфордского плутониевого завода (США) охлаждались водой из реки Колумбия. Проведенные исследования показали, что удельная активность радионуклида  $^{32}\text{P}$  в воде не превышает максимальной допустимой величины. В то же время установлено, что удельная активность радиоактивного изотопа в планктоне в 2 тысячи раз выше, чем в речной воде, в организмах рыб и водоплавающих птиц, питающихся планктоном, - соответственно в 15 тысяч и 40 тысяч раз выше, чем в воде Колумбии.

1. Рассчитайте удельные активности и коэффициенты биологической аккумуляции  $^{32}\text{P}$  в перечисленных звеньях трофических цепей.
2. Установите, можно ли употреблять в пищу рыбу, выловленную из этой реки, не опасаясь за свое здоровье.

В расчетах принять:

- удельная активность  $^{32}\text{P}$  в воде составляет 703 Бк/кг;
- допустимая удельная активность  $^{32}\text{P}$  в пищевых продуктах - 520 Бк/кг.

*Беккерель (Бк) – единица измерения активности радиоактивного источника в СИ. Один беккерель определяется как активность источника, в котором за одну секунду происходит в среднем один радиоактивный распад.*

**3.20.** После обработки болот инсектицидом ДДТ с целью уничтожения очагов малярийных комаров концентрация токсиканта в реке, берущей начало в этих болотах, составила  $0,00005 \text{ ч}\cdot\text{млн}^{-1}$ . Оцените содержание ДДТ во всех звеньях следующей трофической цепи:

*вода → планктон → мелкая рыба → крупная рыба → птица*, если коэффициенты биологической аккумуляции для каждого звена пищевой цепи соответственно равны:  $k_1 = 800$ ;  $k_2 = 25$ ;  $k_3 = 2$ ;  $k_4 = 14$ . Оцените перспективу жизни для птицы, регулярно питающейся рыбой из этой реки.

В расчетах принять:

- токсическая доза ДДТ при поступлении через желудочно-кишечный тракт - 5 мг/кг;

- летальная доза - 35 мг/кг.

**3.21.** Удельная активность техногенного радионуклида цезия -137 в донных отложениях и почвах поймы реки, протекающей вблизи химического комбината, производящего обогащенный уран для ядерной энергетики, составила 13 Бк/кг. При движении  $^{137}\text{Cs}$  по пищевой цепи:

*донные отложения (почвы) → водная (наземная) растительность → лебедь* происходит его концентрирование с коэффициентами биологической аккумуляции:  $k_1 = 0,7$ ;  $k_2 = 21$ .

1. Рассчитайте удельную активность радионуклида у лебедя-кликун, являющегося вегетарианцем.
2. Оцените перспективу жизни птицы и сохранение популяции лебедей-кликунов на данной территории.

В расчетах принять:

- допустимая удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  составляет 96 Бк/кг;
- удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в желтке яиц водоплавающих птиц в тысячу раз выше, чем в донных отложениях (почве).

**3.22.** Содержание свинца в пыльце и нектаре цветущих растений, произрастающих вблизи оживленной автострады, составляет 0,001 мг/кг. При движении токсиканта по трофической цепи:

*почва → растения (нектар, пыльца) → пчела → паук → лягушка → ворона* происходит его накопление в организмах со средним коэффициентом биологической аккумуляции равным 10.

Оцените перспективу жизни вороны, если известно, что смертельная доза свинца для птиц составляет 40 мг/кг. Выведением свинца из организма вороны пренебречь.

**3.23.** Распространение ДДТ в окружающей среде носит глобальный характер. Попаданию и распространению пестицида в Мировом океане способствует сброс в реки неочищенных стоков с полей. На основании приведенной пищевой цепи: *вода → фитопланктон → зоопланктон → планктоноядные рыбы (сельдь, мойва, сайра) → треска*

- 1) рассчитайте средний коэффициент биологической аккумуляции ДДТ и содержание инсектицида на каждом трофическом уровне;
- 2) оцените, насколько опасно употребление человеком печени североатлантической трески в количестве 100 г в день в течение полутора месяцев, если известно, что содержание ДДТ в печени рыбы составляет 180 мг/кг. Стоит ли человеку в дальнейшем использовать в своем пищевом рационе данный продукт?
- 3) через какой промежуток времени в организме человека накопится летальная доза ДДТ при регулярном употреблении в пищу печени трески?

В расчетах принять:

- концентрация ДДТ в водах северной Атлантики равна ПДК инсектицида для воды, которая составляет 0,1 мг/л;
- токсическая доза ДДТ для людей при поступлении через желудочно-кишечный тракт -  $10 \div 15$  мг/кг;
- летальная доза -  $70 \div 85$  мг/кг;
- вес человека 70 кг;

Выведением токсиканта из организмов пренебречь.

#### **4. Экологические системы, продуктивность и сукцессии**

**4.1.** В экосистемах степей и саванн фитофаги (консументы 1-го порядка) могут потреблять до 30 % энергии, заключенной в биомассе, причем 2/3 ее не усваивается и возвращается в экосистему с отходами. Из ассимилированной фитофагами энергии 65% идет на поддержание собственной структуры, т.е. на дыхание. Зато зоофагами (консументами 2-го порядка) с органическим веществом потребляется до 90% энергии, а ее усвоение достигает 60 %.

Рассчитайте эффективность ассимиляции энергии на каждом из приведенных трофических уровней.

**4.2.** Перенос энергии у гетеротрофов в степном сообществе представлен в таблице. Величины рассчитаны на 100 Дж/м<sup>2</sup> чистой годовой первичной продукции.

1. Определите эффективность ассимиляции, потребления и продуцирования энергии на каждом трофическом уровне.
2. Каким образом может быть израсходована оставшаяся часть энергии ?

Гетеротрофы	Потребление	Ассимиляция	Отходы	Продукция	Дыхание
Травоядные	29,00	14,10	14,90	0,89	13,21
Хищники	0,33	0,265	0,065	0,043	0,222

**4.3.** В водной экосистеме 1/3 продукции фитопланктона потребляется зоопланктоном, рыбы-планктонофаги, в свою очередь, потребляют около 40% продукции зоопланктона, а хищные рыбы – около 70 % продукции рыб-планктонофагов. Степень усвоения (ассимиляции) энергии на уровне зоопланктона и рыб-планктонофагов составляет 50%, а на уровне хищных рыб – 70 %.

1. Рассчитайте, какая часть энергии, от первоначально накопленной в процессе фотосинтеза, доходит до каждого трофического уровня, а также продуктивность каждого уровня.
2. Как может распределяться оставшаяся часть энергии на каждом трофическом уровне?

В расчетах принять:

- энергия, накопленная при фотосинтезе, равна 100%;
- на каждом трофическом уровне расходы на дыхание составляют 50% от ассимилированной энергии.

**4.4.** В экосистеме леса фитофаги потребляют около 4% энергии, заключенной в биомассе растений, а зоофаги – около 10% продукции фитофагов. Степень усвоения (ассимиляции) энергии на уровне фитофагов не превышает 35%, а на уровне зоофагов – 60%.

1. Рассчитайте, какая часть энергии, от первоначально накопленной в процессе фотосинтеза, доходит до уровня редуцентов.
2. Как может распределяться оставшаяся часть энергии на каждом трофическом уровне?

В расчетах принять:

- энергия, накопленная при фотосинтезе, равна 100%;
- расходы на дыхание на уровне фитофагов составляют 85 %; на уровне зоофагов – 83%.

**4.5.** Для экосистем, указанных в таблице:

- 1) рассчитайте чистую первичную продукцию, продуктивность сообщества (эффективность потребления консументами), эффективность ассимиляции и эффективность их образования;
- 2) сравните экосистемы и определите тип сукцессии в каждой экосистеме;
- 3) какие сообщества являются стабильными?

Таблица. Годовая продукция в экосистемах, ккал/м<sup>2</sup> в год.

Показатели потока энергии в экосистемах	Экосистемы						
	болото после мелиорации	поле люцерны	посадки сосны	сосновый лес	большой ручей	дождевой лес	прибрежный пролив
Валовая первичная продукция	9000	24400	12200	11500	20800	45000	5700
Дыхание автотрофов	9100	9200	4700	6500	12000	32000	3200
Дыхание гетеротрофов	200	800	4600	3000	6800	13000	2500

**4.6.** На приведенном ниже рисунке показаны потоки энергии в небольшой части луговой экосистемы (цифры - кДж/(м<sup>2</sup>·год)). Исходя из анализа потоков энергии, дайте ответы на следующие вопросы.

1. Чему равна валовая первичная продукция злаков и разнотравья?
2. Чему равна эффективность фотосинтеза?

3. Чему равна чистая продукция:
  - а) птиц, питающихся семенами; б) паукообразных; в) саранчи?
4. Сколько энергии теряется при дыхании и выделяется с фекалиями у полевых мышей?
5. Какие организмы, из приведенных на рисунке, относятся к продуцентам, первичным консументам, вторичным консументам?
6. Какие из указанных на рисунке организмов относятся к гетеротрофам?
7. Какие еще, кроме указанных, могут быть направления потоков энергии (как минимум три)?

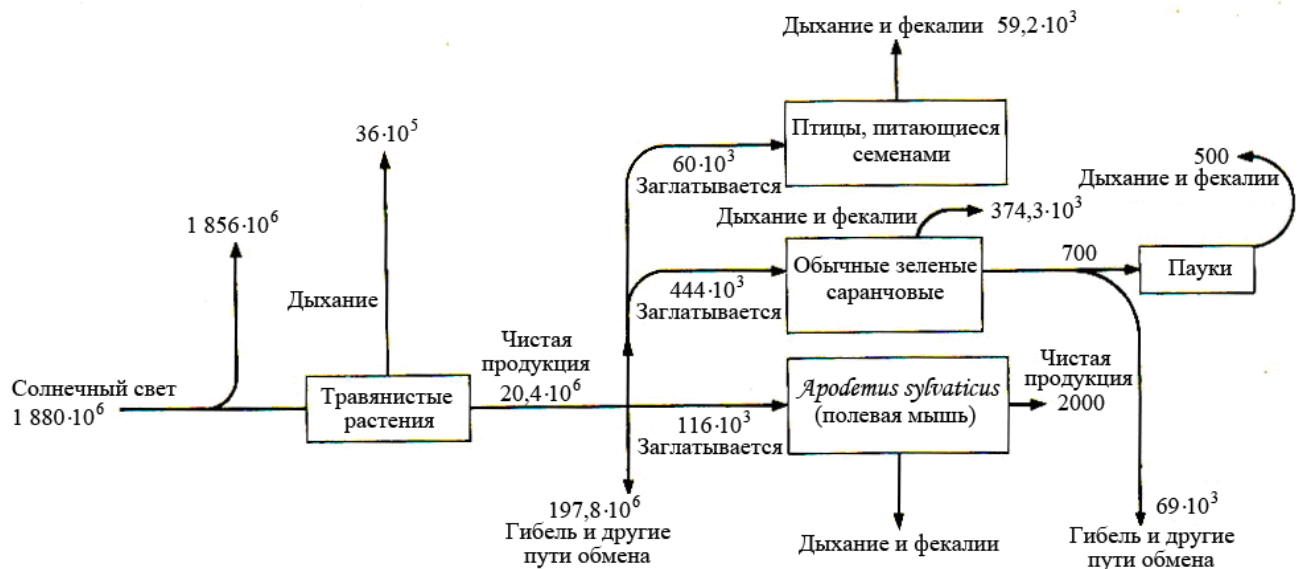


Рис. Поток энергии через часть луговой экосистемы. Размерность цифр в  $\text{кДж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$

4.7. Согласно данным, представленным на рисунке к задаче 4.6:

- 1) постройте экологические пирамиды и рассчитайте эффективности потребления, продуцирования и ассимиляции энергии для различных видов гетеротрофов луговой экосистемы;
- 2) какова эффективность фотосинтеза в луговой экосистеме?
- 3) к какому типу относится сукцессия этой экосистемы?

В расчетах принять:

- из приведенной на схеме суммарной энергии «дыхание и фекалии» на дыхание расходуется: у птиц – 80%, у саранчевых (кузнечиков) – 75%, у паукообразных – 55%, а у полевых мышей – 82%.

4.8. От солнца на поверхность земли поступает  $9 \cdot 10^9$  ккал/га-год солнечной энергии. За один год 1га леса путем фотосинтеза, использующего 1% солнечной энергии и углекислоту, создает 24 т сухого питательного вещества. Из этого количества 5 т составляет древесина, 4 т - листья, 2 т – корни, 1 т - трава. Все остальное расходуется с дыханием растений.

1. Постройте экологические пирамиды биомассы и энергии.
2. Определите тип сукцессии данной экосистемы.
3. Установите эффективность ассимиляции и продуцирования энергии на уровне гетеротрофов.
4. Куда используется оставшаяся часть энергии?

В расчетах принять:

- продуктивность фитофагов этого участка леса составляет 7,8% от продуктивности продуцентов, а продуктивность зоофагов – 9,2% от продуктивности фитофагов;
- расходы на дыхание у травоядных в 7 раз превышают их продуктивность, а у хищников – в пять раз.

**4.9.** В экосистеме елового леса, находящегося в южной подзоне тайги, годовая валовая продуктивность составляет  $13000 \text{ ккал/м}^2$ , а дыхание автотрофов и гетеротрофов, соответственно,  $10500 \text{ ккал/м}^2\text{год}$  и  $2500 \text{ ккал/м}^2\text{год}$ . После пожара в тайге годовая валовая продуктивность экосистемы по сухому веществу снизилась до  $0,1 \text{ кг/м}^2$ , а расходы на поддержание собственной структуры сообществ в экосистеме уменьшились до 0,1% от прежнего уровня.

1. Через какое время валовая продуктивность экосистемы вернется к прежнему уровню, если ежегодный прирост первичной продуктивности и расходов на дыхание по отношению к предыдущему году увеличиваются на 4,5%? Энергетический эквивалент 1 кг сухого вещества составляет 3750 ккал.
2. Определите тип сукцессии экосистемы леса до и после пожара.

**4.10.** Валовая продуктивность экосистемы луга составляла –  $18000 \text{ ккал/м}^2\text{год}$ , а расходы на дыхание автотрофов и гетеротрофов этой экосистемы, соответственно, –  $16000$  и  $2000 \text{ ккал/м}^2\text{год}$ . В результате постоянных наводнений произошло заболачивание луга, что, в свою очередь, вызвало гибель его обитателей.

1. К какому виду относилась сукцессия луга: а) до заболачивания; б) после заболачивания?
2. Рассчитайте время, в течение которого валовая продуктивность луговой экосистемы достигнет критического уровня – 0,0075% от первоначального значения.

При оценках принять, что ежегодное снижение валовой продуктивности составляет 11%, а расходы на дыхание остаются на прежнем уровне.

**4.11.** Суммарная валовая продуктивность биогеоценоза альпийского луга, находящегося в динамическом равновесии (климаксное состояние), равнялась  $7,3 \cdot 10^{10} \text{ кДж/м}^2\text{год}$ . В результате извержения вулкана биота экосистемы была практически уничтожена. Через год после окончания извержения вулкана в результате первичной сукцессии суммарная валовая продуктивность

биогеоценоза составила 0,001% от первоначальной величины, причем на дыхание расходовалось 70% от валовой продуктивности.

1. Оцените вид первичной сукцессии.
2. Определите время возвращения экосистемы альпийского высокогорного луга в климаксное состояние.

В оценках принять:

- ежегодно валовая продуктивность и расход энергии на поддержание собственной структуры экосистемы (дыхание) увеличиваются по отношению к предыдущему году на 5%.

**4.12.** Суммарная валовая продуктивность экосистемы озера, находящегося в состоянии климакса, составляла  $5 \cdot 10^{10}$  кДж/м<sup>2</sup>год. Из-за антропогенного загрязнения озера биогенными элементами (азотом, фосфором и т.д.) начался процесс эвтрофикации за счет быстрого размножения сине-зеленых водорослей и уменьшения концентрации растворенного в воде кислорода. Это, в свою очередь, вызвало гибель обитателей озера.

1. К какому виду будет относиться вид сукцессии с момента загрязнения озера?
2. Рассчитайте время, в течение которого валовая продуктивность озерной экосистемы достигнет критического уровня (0,001% от первоначального значения).

При оценках принять, что ежегодное снижение валовой продуктивности составляет 15%, а расходы на дыхание остаются на уровне климаксной.

**4.13.** Резервный фонд биомассы продуцентов лесного массива по сухому веществу составлял  $10^{10}$  т. После лесного пожара осталось только 10% от резервного фонда. В результате вторичной сукцессии через год валовая продуктивность продуцентов составила 105 т.

1. Определите время, в течение которого произойдет полное восстановление биомассы продуцентов лесного массива.
2. Установите тип сукцессии восстановленной экосистемы.

В расчетах принять, что ежегодный прирост биомассы равен 15%, а расход на дыхание – 90% от ежегодной валовой продуктивности.

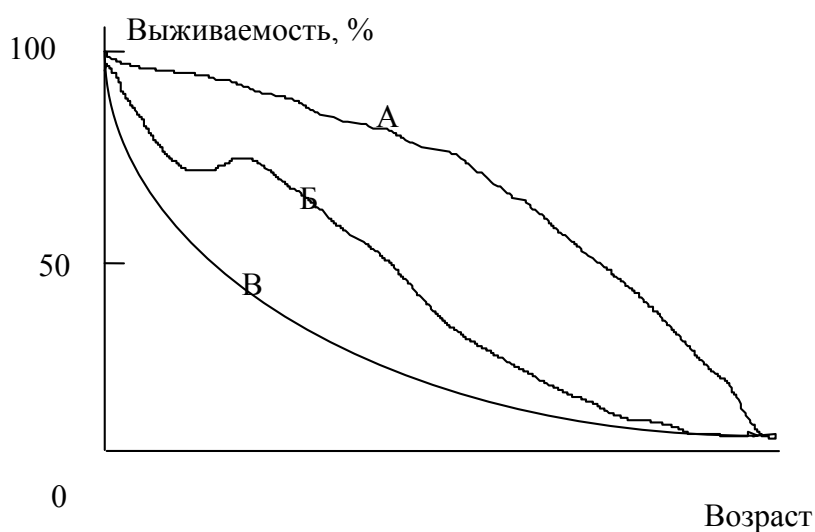
## 5. Динамика популяций

**5.1.** Ниже приведены данные о среднем числе оплодотворенных яиц, производимых в течение всей жизни самками различных животных и человеком.

Вид самки	Число яиц	Вид самки	Число яиц
Устрица	100 млн.	Мышь	50
Треска	9 млн.	Акула	20
Камбала	0,35 млн.	Пингвин	8
Лосось	0,1 млн.	Слон	5
Трехиглая колюшка	500	Англичанка (эпохи королевы Виктории)	10
Зимняя пядиница	200		

1. Сколько оплодотворенных яиц от одной самки в среднем должно выжить, чтобы численность популяции каждого из перечисленных видов оставалась постоянной?
2. Оцените для каждого вида число потомков, которые должны погибать до наступления половой зрелости, чтобы численность популяции не изменялась. Затем выразите это число в виде процента от общего числа оплодотворенных яиц, то есть найдите величину смертности в дорепродуктивном периоде.
3. Объясните, почему плодовитость трехигловой колюшки и акулы намного меньше, чем у других рыб, указанных в таблице.

**5.2.** На рисунке, приведенном ниже, показаны 3 типа кривых выживания.



В популяции какого типа (А) или (Б) требуется большая скорость размножения для поддержания стабильной численности. Поясните ваш выбор.



**5.3.** Приводимые ниже цифры относятся к нерке - рыбе из семейства лососевых. Осенью каждая самка откладывает в среднем 3 200 икринок на гравий мелководья. Следующей весной 640 мальков, выведшихся из отложенной икры, выходят в озеро и живут на мелководье. Уцелевшие 64 серебрянки (мальки постарше) живут в озере 1 год, а затем мигрируют в море. Две взрослые рыбы, уцелевшие из числа серебрянок, возвращаются к местам нереста спустя 2,5 года. После нереста они умирают.

1. Рассчитайте смертность (в %) в каждом из следующих периодов:
  - а) от кладки икры до переселения мальков в озеро спустя 6 месяцев;
  - б) за 12 месяцев жизни в озере;
  - в) за 30 месяцев от выхода из озера в море до возвращения к местам нереста.
2. Постройте кривую выживания рыбы нерки в данной водной экосистеме (зависимость % выживших от возраста).
3. Чему равна величина дорепродуктивной смертности среди лососевых?

**5.4.** На приведенном ниже рисунке показан рост численности двух видов парамеции (*Paramecium*).

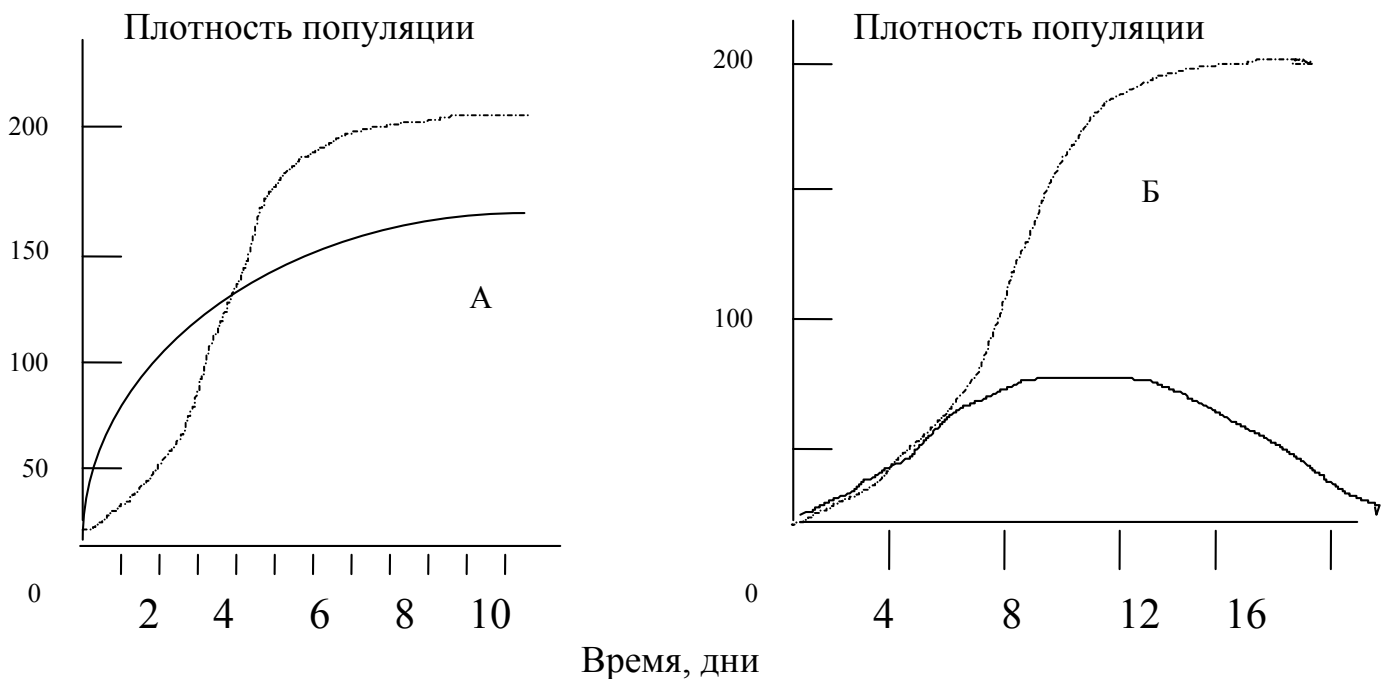


Рисунок. Рост численности парамеций двух видов:

- *Paramecium aurelia*;
- *Paramecium caudatum*.

А - при выращивании видов отдельно; Б - при совместном выращивании видов в одной культуре.

Проанализируйте рисунки А и Б и дайте ответы на следующие вопросы.

1. Какой тип кривой роста популяции характерен для каждого из двух видов при выращивании их отдельно?
2. За какие ресурсы идет конкуренция между двумя видами при их росте в одной культуре?
3. Какие факторы обеспечивают преимущество *Paramecium aurelia* в конкуренции с *Paramecium caudatum*?

## **6. Круговороты веществ**

**6.1.** В настоящее время в интегральных показателях потребление выражается следующими цифрами: на каждого человека добывают и выращивают примерно 20 т сырья. Это сырье с помощью 2,5 кВт и 800 т воды перерабатывается в конечные продукты массой 2 т, идущие на прямое потребление (из 2 т конечного продукта в течение того же года выбрасывается не менее 1 т, а оставшаяся 1 т - это "отложенные" отходы). Оцените, какую долю составляет техногенный поток вещества от объемов веществ, вовлекаемых в круговорот экосистемами суши. Объясните основные отличия техногенного круговорота веществ от биотического.

**6.2.** В естественных лесах до 90 % солнечной радиации поглощается листвой и затрачивается на транспирацию, а в преобразованных человеком агроэкосистемах на транспирацию затрачивается только 40 % солнечной энергии. За последние 10 000 лет, то есть время существования человечества, площадь лесов Мира уменьшилась в 2 раза и сейчас леса занимают около 25 % территории суши. Оцените, во сколько раз уменьшилась транспирация влаги зелеными растениями к настоящему времени, как это влияет на "малый" круговорот воды и к каким последствиям приводит.

**6.3.** На основании анализа биотического круговорота фосфора попытайтесь дать ответы на следующие вопросы.

1. Какие геосферы охватывает круговорот фосфора?
2. В синтезе каких важных соединений в биологических объектах участвует фосфор?
3. Чем грозит избыточный сброс соединений фосфора в поверхностные воды?
4. Перечислите основные источники соединений фосфора в поверхностные воды?
5. Укажите основные процессы трансформации фосфора в почвах.
6. В чем проявляется вмешательство человека в круговорот фосфора?

**6.4.** На базе анализа круговорота серы дайте ответы на следующие вопросы.

1. В чем проявляется вмешательство человека в круговорот серы?
2. Какие организмы являются главными продуцентами соединений серы?

3. К накоплению каких соединений и где приводит деятельность сульфатредуцирующих бактерий?
4. Главный природный источник соединений серы в атмосфере?

**6.5.** На основании анализа круговорота азота объясните:

1. Почему именно круговорот азота подвержен наиболее сильному антропогенному воздействию?
2. К каким последствиям в круговороте азота приводит сведение лесов, если известно, что вырубка леса увеличивает вымываемость азота из почвы ~в 45 раз?
3. В синтезе каких азотсодержащих соединений участвует азот?

**6.6.** Проанализируйте круговорот воды в природе и дайте ответы на следующие вопросы.

1. Чем обусловлен речной сток с поверхности суши в Мировой океан?
2. Каковы важнейшие источники паров воды, поступающих в атмосферу и какова причина выпадения осадков?
3. Где находятся и как распределяются основные фонды воды в различных геосферах?
4. Как влияет антропогенная деятельность на поверхностный сток воды, грунтовые воды и на круговорот воды?
5. На какие процессы затрачивается 1/3 из всей поступающей на Землю солнечной энергии?
6. Что такое процесс транспирации и какова его роль в формировании водного режима материков?
7. Как влияет на процесс транспирации в глобальном масштабе замена естественных экосистем на агроэкосистемы?

**6.7.** Биомасса живых организмов на Земле оценивается примерно в 2 Тт в расчете на сухую массу, причем из этого количества около 90 % приходится на долю фотосинтезирующих организмов, около 8 % - составляют редуценты, преимущественно почвенные микроорганизмы: бактерии, грибы, микроводоросли, и около 0,1 % - животное население планеты. Оцените вклад животных организмов в биотический круговорот веществ.

Какую роль играют все перечисленные виды организмов в круговороте веществ?

**6.8.** В настоящее время в атмосфере содержится примерно  $1,2 \cdot 10^{15}$  т  $O_2$ . В результате фотосинтеза ежегодно образуется  $2,3 \cdot 10^{11}$  т сухого органического вещества и  $2,5 \cdot 10^{11}$  т  $O_2$ . Оцените долю кислорода, используемую в процессах дыхания и ферментации органического вещества гетеротрофными, нефотосинтезирующими организмами (главным образом бактериями), если

скорость накопления органического углерода в осадочных породах, при выведении его из биотического круговорота, составляет  $(1,4-3,0) \cdot 10^7$  т/год.

Рассчитайте промежуток времени, за который содержание кислорода в атмосфере достигло современного уровня ( $1,2 \cdot 10^{15}$  т).

**6.9.** Содержание углерода в атмосфере оценивается в 711 Гт. Если принять за 100 % углерод, ассимилированный растительностью биосферы в ходе фотосинтеза, то примерно 30 % его возвращается в фонд атмосферного  $\text{CO}_2$ , а 70 % обеспечивает продукцию и дыхание животных бактерий и грибов в пастбищных и детритных пищевых цепях. В наземных экосистемах в круговорот вовлекается ежегодно около 12 % содержащегося в атмосфере  $\text{CO}_2$ . Оцените время оборота  $\text{CO}_2$  в атмосфере и вклад наземной биоты и океанической биоты в круговорот  $\text{CO}_2$ .

**6.10.** Содержание водяных паров в атмосфере соответствует в среднем слою толщиной 2,5 см равномерно распределенному по поверхности земли. Среднее ежегодное количество осадков составляет 65 см. Оцените время оборота воды в атмосфере.

**6.11.** Искусственное ежегодное внесение фосфора с удобрениями в агроценозы составляет 14 млн т. Оцените максимальный поток фосфора в гидросферу, если скорость его переноса из гидросферы на сушу птицами и продуктами рыбного промысла составляет около 0,1 млн т. Перечислите основные эффекты, которые вызывает избыточное поступление фосфора в гидросферу.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Примеры решения задач

#### Задача 1. Закон толерантности Шелфорда

Натрий является жизненно необходимым элементом для организма человека. Он поддерживает в клетках необходимый водно-солевой баланс, нормализует функцию почек и нервно-мышечную деятельность, обеспечивает сохранение в крови минеральных веществ в растворимом состоянии. Натрий уменьшает риск возникновения солнечного и теплового ударов, а также обладает сосудорасширяющим действием. В организме взрослого человека содержится  $70 \div 100$  г натрия.

Избыточное количество натрия в организме ассоциируется с высоким кровяным давлением (гипертензией) и задерживанием жидкости (отеком).

Дефицит натрия может привести к обезвоживанию организма. При быстрой и резкой потере организмом этого элемента человек может погибнуть.

Ученые доказали, что человек теряет натрий в процессе потоотделения, а значит, организму практически постоянно необходимы новые поступления вещества. Компенсировать потери данного макроэлемента возможно лишь извне, то есть с приемом пищи и специальных пищевых добавок.

1. Оцените необходимую ежедневную дозу поступления поваренной соли в организм взрослого человека, которая позволит полностью восполнить потери натрия в организме.

2. Ежедневное поступление какого количества хлорида натрия может привести:

а) к дефициту Na в организме;

б) к летальному исходу.

3. Постройте кривую толерантности в системе координат: жизнеспособность организма =  $f$  (ежедневная доза поступления натрия в организм, г/кг).

В оценках принять:

- за сутки взрослый человек теряет  $3 \div 6$  г натрия;
- в 100 г поваренной соли содержится 40 г Na;
- пороговое минимальное количество поступления натрия в организм составляет 0,5 г в сутки;
- доза хлорида натрия, равная 3 г/кг, является смертельной для человека;
- вес человека - 70 кг.

#### Решение

1. Известно, что за сутки взрослый человек теряет  $3 \div 6$  г натрия.

Определим, в каком количестве поваренной соли содержится данное количество Na:

100 г NaCl — 40 г Na

X г NaCl —  $3 \div 6$  г Na  $\Rightarrow$  X =  $7,5 \div 15$  г (NaCl)

Следовательно, необходимая ежедневная доза поступления поваренной соли в организм взрослого человека весом 70 кг составит:

$$\begin{array}{l} 7,5 \div 15 \text{ г NaCl} \quad \text{—} \quad 70 \text{ кг} \\ X \text{ г NaCl} \quad \text{—} \quad 1 \text{ кг} \quad \Rightarrow \quad X = 0,1 \div 0,2 \text{ г/кг.} \end{array}$$

2. Определим, ежедневное поступление какого количества хлорида натрия может привести:

а) к дефициту Na в организме:

$$\begin{array}{l} 100 \text{ г NaCl} \quad \text{—} \quad 40 \text{ г Na} \\ X \text{ г NaCl} \quad \text{—} \quad 0,5 \text{ г Na} \quad \Rightarrow \quad X = 1,25 \text{ г (NaCl);} \end{array}$$

б) к летальному исходу:

$$3 \cdot 70 = 210 \text{ г (NaCl).}$$

3. Построим кривую толерантности в системе координат: жизнеспособность организма (A) = f (ежедневная доза поступления натрия в организм (C, г/кг)). Для этого определим дозы натрия, соответствующие:

а) его оптимальному поступлению в организм ( $C_{\text{опт.}}$ ):

Физиологическое суточное восполнение Na в организме человека должно составлять 3÷6 г. Следовательно,

$$C_{\text{опт.}} = (3 \div 6) / 70 = 0,043 \div 0,086 \text{ г/кг;}$$

б) пороговому минимальному поступлению ( $C_{\text{мин.}}$ ):

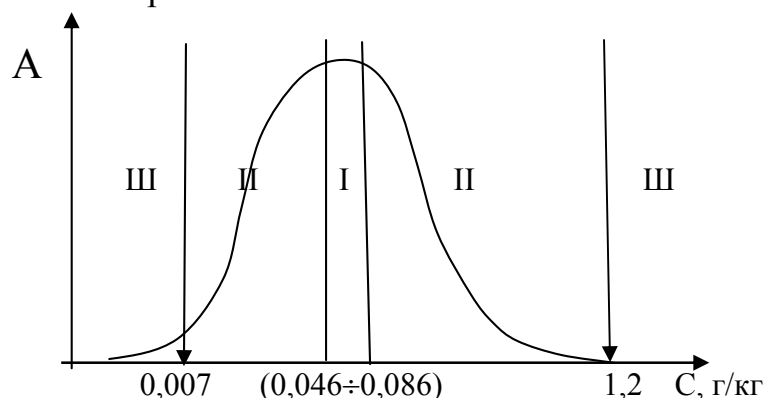
$$C_{\text{мин.}} = 0,5 / 70 = 0,007 \text{ г/кг;}$$

в) количеству макроэлемента, вызывающему летальный исход ( $C_{\text{лет.}}$ ):

Смертельной для человека является доза NaCl, равная 3 г/кг, что в пересчете на натрий составит:

$$C_{\text{лет.}} = 3 \cdot 40 / 100 = 1,2 \text{ г/кг.}$$

Кривая толерантности:



I — зона оптимума;

II — зоны угнетения;

III — зоны гибели организма.

## Задача 2. Закон Линдемана

1. Постройте годовую пирамиду энергии для трофической цепи *почва* → *зеленая масса* → *лоси* → *волки*.

1                      2                      3

2. Рассчитайте, сколько лосей в течение года должна убить стая волков, насчитывающая 10 особей, чтобы полностью обеспечить свои потребности в пище.

3. Какое количество зеленой массы требуется для пропитания оцененного по условиям задачи поголовья лосей?

В расчетах принять:

- для поддержания нормальной жизнедеятельности волку необходимо, в среднем, 2500 ккал энергии в сутки;
- энергетический эквивалент мяса лося – 101 ккал/100 г;
- энергетический эквивалент зеленой массы – 25 ккал/100 г;
- вес лося – 450 кг;
- доля костной ткани в теле лося составляет 40 % от общей массы животного.

## Решение

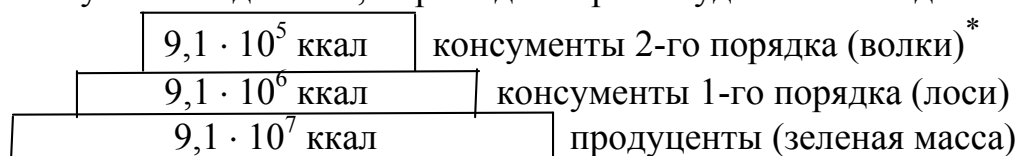
1. Определим, какое количество энергии необходимо для поддержания нормальной жизнедеятельности стаи волков из 10 особей в течение года:

$$2500 \cdot 10 \cdot 365 = 9125000 = 9,1 \cdot 10^6 \text{ ккал.}$$

2. Построим годовую пирамиду энергии для рассматриваемой в задаче пищевой цепи.

В соответствии с законом пирамиды энергий Линдемана: с одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на другой, более высокий её уровень в среднем ~ 10% от поступившей энергии на предыдущий уровень экологической пирамиды. Следовательно, зная количество энергии, созданное на втором трофическом уровне ( $Q_2 = 9,1 \cdot 10^6$  ккал), можно определить количество энергии, содержащейся в продукции, создаваемой на первом и третьем трофических уровнях:  $Q_1 = 9,1 \cdot 10^7$  ккал;  $Q_3 = 9,1 \cdot 10^5$  ккал.

Согласно полученным данным, пирамида энергии будет иметь вид:



\* - возможный прирост мышечной ткани стаи волков (в энергетических единицах) за 1 год.

3. Определим энергетический эквивалент мышечной ткани одного лося:





Выведением ртути из организмов пренебречь.

Цифры, указанные около звеньев пищевой цепи, означают номер трофического уровня.

### Решение

В данной и других аналогичных задачах, предложенных для решения в учебном пособии, **размерность ч·млн<sup>-1</sup> означает**, что на 1 млн весовых частей биомассы конкретного трофического уровня приходится 1 весовая часть токсиканта. Для обозначения доли чего-либо по отношению к целому обычно используют единицу измерения «пропромилле» (**ppm**). Следовательно, **1 ч·млн<sup>-1</sup> = 1 ppm**.

Величина в ч·млн<sup>-1</sup> (1 ppm) от массы, выраженной в килограммах, эквивалентна массе в миллиграммах, т.е.:

$$1 \text{ ч·млн}^{-1} = 1 \text{ ppm} = 1 \text{ мг/кг}$$

Следовательно, концентрацию ртути в организме личинки ручейника, равную 1700 ч·млн<sup>-1</sup>, можно выразить как 1700 мг Hg / кг массы тела личинки.

1. Рассчитаем содержание ртути в субстрате (*донном иле*) и во всех звеньях пищевой цепи данной экосистемы (*фитопланктоне, зоопланктоне, личинках большого ручейника, рыбе*).

**I способ.** Содержание вещества на каждом трофическом уровне можно оценить по формуле:

$$C_n = C_{n-1} \cdot k_n, \quad (1)$$

где  $C_n$  и  $k_n$  - содержание токсичного вещества и коэффициент биологической аккумуляции на рассматриваемом уровне трофической цепи;

$C_{n-1}$  – содержание токсичного вещества на предыдущем уровне трофической цепи.

$$C_1 = C_0 \cdot k_1, \quad (2)$$

где  $C_0$  – концентрация токсичного вещества в субстрате (почве, воде, донном иле).

Содержание Hg на третьем трофическом уровне ( $C_3$ ) известна по условию задачи и составляет 1700 мг/кг. Коэффициент биоаккумуляции токсиканта на первом, втором, третьем и четвертом уровнях - величина постоянная, равная 10. Следовательно, используя формулу (1):

$$C_4 = C_3 \cdot k_4 = 1700 \cdot 10 = 17000 \text{ мг/кг};$$

$$C_2 = C_3 / k_3 = 1700 / 10 = 170 \text{ мг/кг};$$

$$C_1 = C_2 / k_2 = 170 / 10 = 17 \text{ мг/кг}.$$

Используя формулу (2):  $C_0 = C_1 / k_1 = 17 / 10 = 1,7 \text{ мг/кг};$

$C_4 / C_0 = 17000 / 1,7 = 10000$ , следовательно содержание Hg в телах рыб превысило ее содержание в донном иле в 10 тыс раз.

**II способ.** Если коэффициент биологической аккумуляции на каждом уровне пищевой цепи величина постоянная, как в данной задаче, то содержание токсичного вещества в конкретном трофическом звене можно рассчитать по формуле:

$$C_n = C_0 \cdot k^n,$$

где  $n$  – число звеньев трофической цепи.

$C_3 = 1700$  мг/кг;  $k = \text{const} = 10$ , следовательно

$$C_3 = C_0 \cdot k^3 \Rightarrow C_0 = C_3 / k^3 = 1700 / 10^3 = 1,7 \text{ мг/кг.}$$

Теперь, зная концентрацию ртути в субстрате, можно найти ее содержание в каждом звене пищевой цепи:

$$C_1 = C_0 \cdot k^1 = 1,7 \cdot 10 = 17 \text{ мг/кг;}$$

$$C_2 = C_0 \cdot k^2 = 1,7 \cdot 10^2 = 170 \text{ мг/кг;}$$

$$C_4 = C_0 \cdot k^4 = 1,7 \cdot 10^4 = 17000 \text{ мг/кг.}$$

2. Оценим, какое количество рыбы, выловленной из этой реки, должен съесть человек, чтобы получить токсическую дозу Hg, которая может привести к прогрессированию заболевания «Минамата».

А. Рассчитаем, в каком количестве должна накопиться ртуть в организме человека, чтобы вызвать токсический эффект.

Так как токсическая доза ртути составляет 50 мг/кг массы тела человека, то к отравлению человека приведет накопление токсиканта в его организме в количестве:  $50 \cdot 70 = 3500$  мг.

Б. Какое количество рыбы ( $m$ ) должен съесть человек, чтобы получить токсическую дозу ртути:

С 1 кг съеденной рыбы в организм человека попадает 17000 мг Hg, следовательно:  $m = 17000 / 3500 = 0,206$  кг или 206 г.

**Вывод:** рыбу, выловленную из этой реки, человеку не стоит употреблять в пищу. Это смертельно опасно.

#### **Задача 4. Экологические системы, продуктивность и сукцессии**

Количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли в районе Британских островов, составляет  $1 \cdot 10^6$  кДж/м<sup>2</sup>·год. Валовая продуктивность одного из биологических сообществ ( $P$ ) составляет 1% от полученной солнечной энергии.

1. Определите чистую первичную продуктивность сообщества ( $P_{\text{пер.}}$ ), если известно, что в процессе жизнедеятельности растений 20 % от валовой продуктивности расходуется на дыхание растений ( $R_1$ ).

2. Для приведенной трофической цепи:



$$P_{\text{втор.1}} = A_2 \cdot 6,7 / 100 = 3600 \cdot 6,7 / 100 = 241,2 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{год.}$$

$$R_2 = A_2 - P_{\text{втор.1}} = 3600 - 241,2 = 3358,8 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{год.}$$

2.3. Определяем количество ассимилированной энергии, продуктивность и расходы на дыхание на уровне консументов 2-го порядка:

$$A_3 = P_{\text{втор.1}} \cdot 80 / 100 = 241,2 \cdot 80 / 100 = 193 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{год.}$$

$$P_{\text{втор.2}} = A_3 \cdot (100 - 55) / 100 = 86,8 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{год.}$$

$$R_3 = A_3 - P_{\text{втор.2}} = 193 - 86,8 = 106,2 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{год.}$$

3. Находим эффективность ассимиляции (ЭА) и продуктивности (ЭП) на уровне консументов 1-го порядка:

$$\text{ЭА} = (A_n / P_{n-1}) \cdot 100;$$

$$\text{ЭП} = (P_n / A_n) \cdot 100,$$

где  $P_{n-1}$  – продукция предыдущего трофического уровня, доступная для потребления на рассматриваемом трофическом уровне;

$P_n$  – продукция рассматриваемого трофического уровня.

$$\text{ЭА} = 3600 / 8000 \cdot 100 = 45 \%;$$

$$\text{ЭП} = 241,2 / 3600 \cdot 100 = 6,7\%.$$

Находим эффективность ассимиляции (ЭА) и продуктивности (ЭП) на уровне консументов 2-го порядка:

$$\text{ЭА} = 193 / 241,2 \cdot 100 = 80 \%;$$

$$\text{ЭП} = 86,8 / 193 \cdot 100 = 45 \%.$$

4. Определяем тип сукцессии экосистемы.

Для определения типа сукцессии экосистемы необходимо знать отношение валовой продукции сообщества (P) к общим расходам на дыхание ( $R_{\text{общ.}}$ ).

$$P = 10000 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{год (см. п.1).}$$

$$R_{\text{общ.}} = R_1 + R_2 + R_3 = 2000 + 3358,8 + 106,2 = 5465 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{год.}$$

Тогда:

$$P / R_{\text{общ.}} = 10000 / 5465 = 1,83 > 1,$$

следовательно, данная экосистема характеризуется автотрофной сукцессией, в которой суммарная биомасса и запасы энергии нарастают.

### **Задача 5. Круговороты веществ**

Анализ современного круговорота углерода показывает следующее:

- Мировой океан поглощает не менее 4 Гт С/год, из них не менее 2 Гт С/год поглощает биота океана;

- ископаемый углерод выделяется в атмосферу в первую очередь, при сжигании топлива со скоростью 5 Гт С/год;

- в атмосфере накапливается 5 Гт С/год.

Очевидно, что изменение содержания углерода происходит только в 4-х средах: атмосфере, ископаемом топливе, океане и биоте суши.

Оцените вклад распадающейся биоты суши в эмиссию углерода в атмосферу. Полученное значение сравните с вкладом человечества в выделение углекислого газа в атмосферу и сделайте соответствующие выводы.

### Решение

В общем случае изменение содержания углерода есть:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{расх}},$$

где  $Q_{\text{пр}}$ ,  $Q_{\text{расх}}$  - приход и расход данного вещества в некоторый резервуар (например, атмосферу).

При стационарных условиях ( $\partial M/\partial t = 0$ ), то есть  $Q_{\text{пр}} = Q_{\text{расх}}$ . Это и есть уравнение материального баланса. Для рассматриваемой системы уравнение материального баланса в упрощенном виде запишется (стационарных условий не наблюдается, так как концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере увеличивается):

$$\Delta C_{\text{атм}} = Q_{\text{т}} + x - Q_{\text{ок}} - Q_{\text{б.с}},$$

где  $\Delta C_{\text{атм}}$  - прирост содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере (в пересчете на углерод);  $Q_{\text{т,x}}$  - выделение углерода от сжигания ископаемого топлива и распадающейся биотой соответственно;

$Q_{\text{ок}}$ ,  $Q_{\text{б.с}}$  - поглощение углерода океаном и биотой суши соответственно. В задаче указано, что биота океана поглощает не менее 2 Гт С/год. Поскольку средняя продуктивность биоты суши не менее чем в 2 раза больше средней продуктивности биоты океана, а 90 % биомассы живых организмов сосредоточено на суше, то в первом приближении можно положить, что биота суши должна поглощать не меньше  $\text{CO}_2$ , чем биота океана, то есть  $Q_{\text{б.с}} = 2$  Гт С/год. Окончательно получим, что

$$x = 5 + 4 + 2 - 5 = 6 \text{ Гт С/год.}$$

Вклад разрушающейся биоты в выбросы  $\text{CO}_2$  (сведение лесов и окисление углерода биомассы древесины, окисление гумуса почв и т.д.) соизмерим с прямым вкладом человечества (сжигание ископаемого топлива).

Вывод: принцип Ле Шателье в континентальной биоте не выполняется (прирост содержания  $\text{CO}_2$  не компенсируется соответствующим приростом биомассы и, как следствие, уменьшением содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере), что грозит распадом биоты и биосферы в целом.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Ученые, в круг научных интересов которых входила ЭКОЛОГИЯ

#### **Браун Карл Фердинанд**

*(6.06.1850, Фульда – 20.04.1918, Нью-Йорк)*



К.Ф. Браун – немецкий физик. Интенсивно участвовал в разработке технического применения электромагнитных волн. Изобретатель кинескопа. Термодинамически обосновал принцип смещения равновесия, установленный А.Л. Ле Шателье.

#### **Вернадский Владимир Иванович**

*(28.02 (12.03)1863, Санкт-Петербург – 6.01.1945, Москва)*



Вернадский - естествоиспытатель, мыслитель и общественный деятель. Основоположник комплекса современных наук о Земле - геохимии, биогеохимии, радиологии, гидрогеологии и др. Создатель многих научных школ. В центре его естественнонаучных и философских интересов - разработка целостного учения о биосфере, живом веществе, организующем земную оболочку, и эволюции биосферы в ноосферу, в которой человеческий разум и деятельность, научная мысль становятся определяющим фактором развития, мощной силой, сравнимой по своему воздействию на природу с геологическими процессами.

#### **Вильямс Василий Робертович**

*(27.09 (9.10)1863, Москва – 11.11.1939, Москва)*



В.Р. Вильямс - российский почвовед, основатель биологического направления в почвоведении. Основоположник агрономического земледелия, создал теорию единого почвообразовательного процесса, разработал травопольную систему земледелия.

#### **Гаузе Георгий Францевич**

*(27.12. 1910, Москва – 2.05. 1986, Москва)*



Г.Ф. Гаузе - советский микробиолог, эволюционист, один из основоположников экологии. Важнейшие научные работы посвящены экологии и протозоологии, а также поиску антибиотиков и установлению механизма их действия.

Подтвердил экспериментально принцип конкурентного исключения (принцип Гаузе), согласно которому два вида не могут устойчиво существовать в ограниченном пространстве, если численность обоих лимитирована одним жизненно важным ресурсом.

**Геккель Эрнст Генрих**  
(16.2.1834, Потсдам, — 9.8.1919, Йена)



Э. Г. Геккель - немецкий естествоиспытатель и философ. Разработал теорию происхождения многоклеточных (теория гастролы) (1866), сформулировал биогенетический закон (1866), согласно которому в индивидуальном развитии организма как бы воспроизводятся основные этапы его эволюции. Геккель построил первое генеалогическое древо животного царства (1874). Является автором терминов «экология» (1866), «онтогенез», «филогенез».

**Докучаев Василий Васильевич**

*(11. 03.1846, с. Милуково Смоленской губернии- 8.11.1903, Санкт-Петербург)*



В. В. Докучаев - русский естествоиспытатель, геолог и почвовед, основатель современного научного генетического почвоведения и зональной агрономии. Предложенная им схема зональности ландшафтов принята и сейчас многими русскими и зарубежными географами. Под редакцией Докучаева составлена и напечатана почвенная карта Европейской России (1900).

**Зюсс Эдуард Франц**

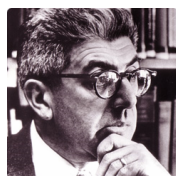
*(20.08.1831, Лондон – 26.04.1914, Вена)*



Э.Ф. Зюсс – австрийский геолог и общественный деятель. В труде «Das Antlitz der Erde» (1883-1888) привёл в стройную систему важнейшие формы земной поверхности и установил законную связь современного распределения морей, океанов, материков и горных цепей с геологической историей земли. В 1875 г. предложил термин «биосфера».

**Коммонер Барри**

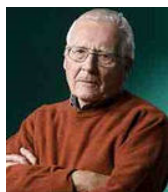
*(28.05.1917, Бруклин – 30.09.2012, Нью-Йорк)*



Б. Коммонер - американский биолог и эколог. Кандидат в президенты США в 1980 г. Интересы Коммонера как эколога простирались от борьбы с пестицидами, токсинами, вредными химическими производствами до загрязнения воздуха и воды, переработки отходов, проблем атомной и сырьевой энергетики. Наследие Коммонера включает четыре закона экологии, сформулированных в виде афоризмов: «Все связано во всем», «Всё должно куда-то деваться», «Природа знает лучше», «Ничто не даётся даром».

### **Лавлок Джеймс Эфрейм**

*(26. 07.1919, Летчуорт Гарден-сити, Хартфордшир, Англия)*



Д.Э. Лавлок - британский учёный, член Лондонского королевского общества, независимый исследователь, специалист в различных областях химии, биологии, медицины, экологии. Лавлок приобрёл известность как создатель Гипотезы Геи, согласно которой планета Земля функционирует как суперорганизм, который в результате саморегуляции способен поддерживать основные параметры среды на постоянном уровне.

### **Ле Шателье Анри Луи**

*(8.10.1850, Париж – 17.09.1936, Мирибель-лез-Эшель)*



А.Л. Ле Шателье – французский физик и химик. Сформулировал принцип динамического равновесия, ныне носящий его имя (принцип Ле Шателье): «Если на систему, находящуюся в устойчивом равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-либо из условий равновесия, то в системе усиливаются процессы, направленные на компенсацию внешнего воздействия».

### **Либих Иоганн Юстус**

*(12.05.1803, Дармштадт – 18.04. 1873, Мюнхен)*



Ю. фон Либих – немецкий химик, один из основоположников агрохимии и биохимии. Важнейшие исследования Л. относятся к области органической химии. Ему принадлежит заслуга открытия важных органических соединений, разработка методов анализа органических веществ. Либих обосновал теорию минерального питания растений и создал научные основы повышения плодородия почвы. Им был предложен так называемый «закон минимума» (1840), согласно которому существование и выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей.



## **Линдеман Раймонд Лаурел** (1915 - 1942)



Р.Л. Линдеман – американский эколог. Разработал общую схему трансформации энергии в экосистеме и изложил основные методы расчёта её энергетического баланса. Он, в частности, теоретически показал, что при переходе с одного трофического уровня на другой количество энергии уменьшается так, что организмам каждого последующего уровня оказывается доступна только небольшая, не более 10%, часть от той энергии, что была в распоряжении организмов предыдущего уровня.

## **Маргулис Линн** (5.03.1938, США – 22.11.2011, США)



Л. Маргулис – американский биолог, создатель современной версии теории симбиогенеза. Последователь теории Д. Лавлока (гипотезы Геи). Ею была высказана мысль о том, что связующую роль в поле взаимодействия между жизнью и планетой должны играть микроорганизмы.

## **Мёбиус Карл Август** (7.02. 1825, Айленбург — 26.04. 1908, Берлин)



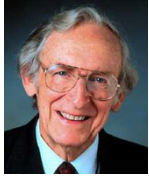
К.А. Мёбиус - немецкий зоолог, гидробиолог, один из основоположников экологии животных. Исследовал морскую фауну Северного и Балтийского морей, Индийского океана. Изучал комплексы донных животных, образующих так называемые устричные банки, условия существования устриц и их биологические связи с другими организмами. Открыл явление симбиоза у морских животных. Предложил (1877) термин «биоценоз». Обосновал представление о биоценозе как глубоко закономерном сочетании организмов в определенных условиях среды.

## **Миллер Тайлер**

Известный американский ученый. Вывел пять основных критериев, влияющих на изменение численности народонаселения: коэффициент смертности, коэффициент рождаемости, уровень эмиграции, фертильность, возрастная структура населения. Предложил три способа снижения прироста численности населения: регулирование через экономическое развитие, через планирование семьи, через социально-экономические изменения. Т. Миллером разработана программа всеобщего экологического образования.

### **Одум Юджин**

*(11.09.1913, Нью-Гэмпшир - 10.08.2002, Джорджия)*



Ю. Одум - известный американский эколог и зоолог, автор классического труда «Экология», который до сих пор является актуальным по теории экологии. В первом издании труда (1953) им была сформулирована структура науки «экология», в которой центральное место отводилось экосистеме. В основу научной концепции Ю. Одума было положено представление о том, что все виды растений и животных, как и человек, являются планете равноценными и имеют право на существование.

### **Реймерс Николай Федорович**

*(1931 - 1993)*



Н.Ф. Реймерс - советский зоолог, эколог, один из главных участников становления заповедного дела в СССР. Создатель энциклопедических словарей-справочников по экологии и природопользованию. Им систематизировано более 200 экологических законов, правил и принципов. Реймерс обосновывал рациональное природопользование, в частности, необходимость экономической оценки природных ресурсов и платной их эксплуатации.

### **Рулье Карл Францевич**

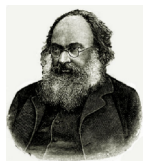
*(20.4.1814, Нижний Новгород, — 22.4.1858, Москва)*



К. Ф. Рулье - русский естествоиспытатель, биолог-эволюционист. Работал в трех областях естествознания - зоологии, палеонтологии и геологии. В течение своей научной деятельности ученый развивал идеи о зависимости организма от условий его существования, допуская причинную зависимость эволюции живых форм от изменения среды их обитания. Он отвергал учение о неизменяемости видов, создал в додарвиновское время первую научную школу зоологов-эволюционистов. По инициативе Рулье в 1854 г. Московское общество испытателей природы начало выпускать первый в России научно-популярный естественно-исторический журнал «Вестник естественных наук».

### **Северцов Николай Алексеевич**

*(5.11.1827, с. Ясенки— 7.2.1885, с. Петровское (Воронежская губерния))*



Н. А. Северцов – русский натуралист-зоолог. Занимался изучением вопроса об изменениях видов. Главным фактором видообразования, по мнению Северцова, является влияние на животных внешней среды - климата, рельефа местности, пищи, состава воздуха и т.д. Н.А. Северцов был крупнейшим орнитологом и собрал коллекцию, насчитывавшую более 12000 птиц. Им собран громадный материал по распространению, систематике, образу жизни птиц в России и в Туркестане. Северцов был основателем русской орнитологии и зоогеографии. Им была создана русская школа зоогеографов.

### **Сукачѳв Владимир Николаевич**

*(26.05 (7.06)1880, с. Александровка Харьковской губернии – 9.02.1967, Москва)*



В.Н. Сукачѳв - советский ботаник, лесовод и географ. Основоположник биогеоценологии, один из основоположников учения о фитоценозе, его структуре, классификации, динамике, взаимосвязях со средой и его животным населением. Ввѳл в науку понятие «биогеоценоз» (1942). Труды С. по болотоведению, дендрологии, геоботанике, по систематике растений и экспериментальному изучению форм естественного отбора получили широкое применение на практике.

### **Тенсли Артур Джордж**

*(15.08.1871, Лондон — 25.11.1955 Грантчест (Кембриджшир, Англия))*



А.Д. Тенсли - английский ботаник и эколог. В 1935 г. в работе «Правильное и неправильное использование ботанических терминов» им был предложен термин «экосистема». Так ученый обозначил совокупность организмов, обитающих в данном биотопе, которая, по его мнению, является именно системой, с её составными элементами, единой историей и способностью к согласованному развитию.

### **Шелфорд Виктор Эрнст**

*(22.09. 1877, Чемунг, Нью-Йорк – 27.12. 1968)*



В.Э. Шелфорд – американский зоолог, специалист в области экологии, главным образом водных организмов. Ввел в биогеографию ландшафтно-биономическую трактовку понятия «биом», обозначающего природную зону со специфическим растительным и животным населением. Помимо гидробиологических исследований, изучал взаимодействие организмов в наземных сообществах, влияние климата на сообщества, сукцессии. Занимался классификацией смешанных сообществ. Автор закона толерантности (1913).

### **Элтон Чарлз Сазерленд**

*(29.03.1900, Манчестер – 1.05.1991, Оксфорд)*



Ч.С. Элтон - известный британский эколог и зоолог, один из основателей популяционной экологии. Опубликовал первый учебник-монографию по экологии, в котором четко выделил своеобразие биоценологических процессов, определил понятие трофической ниши и сформулировал правило экологических пирамид.

### **Эшби Уильям Росс**

*(6.09.1903, Лондон – 15.11.1972)*



У.Р. Эшби - английский психиатр, специалист по кибернетике, пионер в исследовании сложных систем. Он сформулировал закон о требуемом разнообразии, названный его именем (закон Эшби): «Управление может быть обеспечено только в том случае, если разнообразие средств управляющего, по крайней мере, не меньше, чем разнообразие управляемой им ситуации». Кибернетический закон необходимого разнообразия применительно к экологии приобретает иную окраску и иную форму: «Стабильность и устойчивость экосистемы тем выше, чем больше видовое разнообразие. Многообразие биосферы - это основа ее устойчивости».

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### ПРЕДМЕТ ЭКОЛОГИЯ

1. Определение экологии как науки и ее связь с другими отраслями знаний.
2. Кем был введен термин «экология»?
3. Этапы развития экологии.
4. Разделы экологии и их характеристика.
5. Основные задачи экологии как науки.
6. Задачи экологии применительно к деятельности инженера промышленного производства.

### ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

1. Что такое биосфера?
2. Кем был введен термин «биосфера»?
3. Кто создал фундаментальное учение о биосфере?
4. Виды вещества в биосфере и примеры этих веществ.
5. Биосфера и ее эволюция.
6. Этапы развития биосферы и время существования самой планеты Земля и существования человека.
7. Понятие о ноосфере и ноогенезе.
8. Область распространения биосферы.
9. Биоразнообразие и его виды.
10. Свойство надежности у биосферы.
11. Что способствует сохранению и возрастанию биоразнообразия и что является причиной его обеднения?
12. Закон константности живого вещества планеты и правило константности числа видов.
13. Что является мерой устойчивости экосистемы?
14. Суть гипотезы Геи. Кто и когда ее сформулировал?
15. Кто ввел научный оборот термин «экосистема» и когда?
16. Определение экосистемы и примеры экосистем?
17. Что такое экосфера?
18. Кто и когда ввел понятие экосистемы?
19. Определения экотопа, биотопа, биоценоза, биогеоценоза, биоты, ареала.
20. В чем разница между понятиями экосистема и биогеоценоз?
21. Основные компоненты экосистемы. Понятие об экологических, биотических и абиотических факторах.
22. Среда обитания. Экологические факторы и их классификация.
23. Внутренняя структура биогеоценоза.
24. Что такое вид, семья, популяция и сообщество?
25. Типы организмов в экосистемах: продуценты, консументы и редуценты (автотрофы; гетеротрофы; фитофаги; эврифаги; детриты, деструкторы и т.д.) и чем они отличаются друг от друга.

26. На чем основано деление биотических компонентов экосистемы на продуцентов, консументов и редуцентов?
27. Закон минимума и закон толерантности.
28. Как называется кривая, характеризующая зависимость переносимости организма от экологического фактора?
29. Чем определяются пределы толерантности?
30. Оптимум и пессимумы кривой толерантности.
31. Что такое лимитирующий фактор? Примеры лимитирующих факторов.
32. Основное следствие из закона толерантности Шелфорда.
33. Процессы фото и хемосинтеза.
34. Основные типы организмов, способные осуществлять синтез первичного органического вещества:
35. Условия протекания фото и хемосинтеза.
36. Сколько солнечной энергии, которая поступает на поверхность Земли, расходуется на процесс фотосинтеза?
37. Как называется функция живого вещества, связанная с поглощением солнечной энергии в процессе фотосинтеза и последующей передачей ее по пищевым цепям?
38. Что такое трофические цепи и трофические сети? Примеры трофических цепей и сетей.
39. Закон Линдемана и экологические пирамиды.
40. Что происходит с энергией и сколько ее может переходить с одного трофического уровня экологической пирамиды на другой и сколько теряется?
41. Что является начальным источником энергии во всех экосистемах?
42. У каких организмов в экологической пирамиде минимальный уровень энергии?
43. Как меняется биомасса живых организмов каждого последующего трофического уровня в классической экологической пирамиде?
44. Понятия о валовой продуктивности, чистой первичной и вторичной продуктивности и дыхании экосистемы.
45. Какие организмы образуют первичную и вторичную продуктивность в экосистемах?
46. Каким звеном трофической цепи определяется продуктивность экосистемы в целом?
47. Чему равна чистая продуктивность сообщества?
48. Почему крупные хищники в экосистемах – малочисленны?
49. Типы экосистем по энергетической классификации и их примеры.
50. Чем отличаются агроценозы от естественных биоценозов?
51. За счет каких факторов происходит увеличение плотности населения в городах на единице площади?
52. Какие экосистемы в биосфере обладают наибольшей продуктивностью?
53. Что происходит с токсичными веществами при движении по

трофическим цепям?

54. В каких организмах трофической цепи может наблюдаться максимальная концентрация токсичных веществ (радионуклидов, тяжелых металлов и пестицидов)?

55. Какие виды соединений можно рассматривать как перспективные пестициды?

56. Что такое упругость, инертность и постоянство экосистемы?

57. Понятие о гомеостазе и сукцессии.

58. Синонимы первичной и вторичной сукцессии.

59. Что такое климакс и климаксовая сукцессия?

60. Понятие об автофных и гетеротрофных сукцессиях.

61. Как называются экологические системы, в которых отношение продуктивности к расходу на дыхание меньше единицы ( $P/R < 1$ )?

62. Как называются экологические системы, в которых отношение продуктивности к расходу на дыхание больше единицы ( $P/R > 1$ )?

63. Как называются экологические системы, в которых отношение продуктивности к расходу на дыхание равно единице ( $P/R = 1$ )?

64. Определение экологической ниши.

65. Виды экологической ниши.

66. Что происходит с экологической нишей, если она освободилась?

67. Сколькими видами может быть заполнена экологическая ниша?

68. Способы взаимодействия различных видов флоры и фауны: симбиоз; паразитизм; межвидовая конкуренция; хищничество; комменсализм; мутуализм.

69. Адаптация и ее виды.

## **ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ**

1. Динамические показатели популяции: рождаемость, смертность, скорость роста популяций.

2. Продолжительность жизни и выживаемость.

3. Кривые выживания.

4. Экологическая стратегия выживания. Сравнительная характеристика r- и K- стратегий.

5. Регуляция численности (плотности) популяции.

## **КРУГОВОРОТЫ ВЕЩЕСТВ В БИОСФЕРЕ**

1. Большой и малый круговороты. Понятие о биогеохимическом цикле.

2. Что представляет из себя движение вещества в биосфере?

3. В образовании каких веществ в биосфере участвуют живые организмы?

4. Какой вид организмов является завершающим звеном в малом круговороте веществ?

5. Круговороты биогенных элементов и воды.

6. В какой форме углерод завершает круговорот веществ в биосфере?

7. Какой энергетический ресурс образуется в процессе большого круговорота углерода в биосфере?
8. Каким способом можно придать ограниченному количеству свойство бесконечного?
9. Понятие о положительной и отрицательной обратной связях?
10. Что нужно для поддержания системы в относительно постоянном или равновесном состоянии?
11. Как называется диапазон, в пределах которого механизмы обратной связи способны, несмотря на стрессовые воздействия, сохранять устойчивость экосистемы?
12. Что делают хищники в природном сообществе?
13. Стресс и его виды.
14. Как называется способность живых систем самовосстанавливаться после внешнего воздействия, если оно не было катастрофическим?

## **ЗАКОНЫ ЭКОЛОГИИ**

1. Закон исторической необратимости.
2. Закон генетического разнообразия.
3. Закон корреляции.
4. Закон максимизации энергии.
5. Закон максимума биогенной энергии.
6. Закон однонаправленности потока энергии.
7. Закон уменьшения энергоотдачи в природопользовании.
8. Закон оптимальности.
9. Закон ограниченности естественных ресурсов.
10. Закон равнозначности условий жизни.
11. Закон совокупного действия естественных факторов.
12. Закон экологической корреляции.
13. Законы экологии Барри Коммонера.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Куприяновская, А.П. Глобальные экологические проблемы: учебно-методическое пособие по дисциплине «Экология» / А.П. Куприяновская, И.А. Кузьмина, Л.В. Шведова и др. /под ред. В.А. Шарнина, В.А. Невского. - ИГХТУ, - Иваново, 2010. – 117 с.
2. Реймерс, Н.Ф. Краткий словарь биологических терминов: 2-е изд. / Н.Ф. Реймерс - М.: Просвещение, 1995. – 367 с.
3. Вернадский, В.И. Биосфера и ноосфера / В.И. Вернадский – М.: Наука, 1989. – 262 с.
4. Элементы – новости науки: Сколько видов на планете? [elementy.ru/news/431672](http://elementy.ru/news/431672).



5. Скурлатов, Ю.И. Введение в экологическую химию: Учеб. пособие для хим. и хим.-техн. спец вузов / Ю.И. Скурлатов, Г.Г. Дука, А. Мизити. - М.: Высш. шк., 1994. – 400 с.
6. Щукин, И. Экология для студентов вузов / И. Щукин. - Ростов н/Д: «Феникс», 2005. - 224 с.
7. Одум, Ю. Экология. В 2-х томах / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. Т.1 – 328 с.; Т.2 – 376 с.
8. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. I. / Т. Миллер. – Изд. группа «Прогресс», «Пангея», 1993. – 256 с.
9. Грин, Н. Биология. Т.2 / Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор. - М.: Мир, 1993. - 325 с.
10. Экология: учебник / В.В. Качак [и др.]. - М.: Логос, 2010. -504 с.
11. Одум, Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 741 с.
12. Бигон, М. Экология (особи, популяции, сообщества). Т. 1, 2. / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсенд; пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 667 с.
13. Эйхлер, В. Яды в нашей пище / В. Эйхлер. – М.: Мир, 1985. - 202 с.
14. Коробкин, В.И. Экология: учебник для вузов Ростов / В.И. Коробкин, Л.В. передельский.- Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 602 с.

Учебное издание

Куприяновская Анна Павловна  
Кузьмина Ирина Алексеевна  
Чеснокова Татьяна Анатольевна  
Тукумова Наталия Владимировна  
Невский Александр Владимирович

Основы экологии

Учебное пособие

Под редакцией А.В. Невского

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 24.01.2013. Формат 60×84 1/16. Бумага писчая.  
Усл. печ. л. 9,53. Уч. – изд. л. 10,58. Тираж 500 экз. Заказ

Ивановский государственный  
химико-технологический университет

Отпечатано на полиграфическом оборудовании  
кафедры экономики и финансов ИГХТУ

153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7