

Раздел 1. Экология как наука.

*Рассчитываешь на год —
сажай рис.
Рассчитываешь на десять лет —
сажай деревья.
Рассчитываешь на сто лет —
просвещай людей.
Гуан Цзы, китайский мыслитель*

Экология как наука. Краткая история развития экологии.

Экология — наука комплексная, при ее изучении потребуются знания из курсов биологии, географии, физики, химии, математики, права и др.

Экология, первоначально возникшая как область биологии, сегодня превратилась в интегративную науку, и в этом новом статусе она является наукой молодой.

Термин «**экология**» был впервые использован немецким биологом **Эрнстом Геккелем** в работе «**Всеобщая морфология организмов**» (1866 г.). Слово «**экология**» происходит от двух греческих слов: *oikos*, что означает дом, родина, и *logos* - понятие, учение. В буквальном смысле экология - это «наука о местообитании». «**Под экологией**, - писал Геккель, - мы понимаем сумму знаний, относящихся к экономике природы: изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической, и прежде всего - его дружественных или враждебных отношений с теми животными и растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт. Одним словом, экология - это изучение всех сложных взаимоотношений, которые Дарвин называет условиями, порождающими борьбу за существование».

Быстрая экологизация естествознания и значительной части человекознания произошла в основном в 70-е годы XX в.; возникло не менее 50 различных отраслей экологии: глобальная, медицинская, радиационная, экология атмосферы, гидросферы, литосферы, экология человека, социальная экология и др. Экологический подход стал всеобщим, экология становится комплексной наукой. Поэтому сегодня дать точное, общепринятое определение термина «экология» достаточно трудно.

Одни считают экологию частью биологии, изучающей взаимоотношения организма и среды; другие - комплексной наукой, исследующей среду обитания живых существ, включая человека; третьи - дисциплиной, изучающей общие закономерности функционирования экосистем различного уровня организации и т. д.

Попробуем вместе проанализировать подходы ведущих отечественных и зарубежных экологов к определению экологии как науки. Попробуйте самостоятельно выделить ключевые, самые важные слова, которые выражают сущность экологии.

Р. Дажо: «Экология - это наука, изучающая **условия существования живых организмов и взаимосвязи между организмами и средой**, в которой они обитают».

Э. Макфедьен: «Экология - это наука, изучающая **популяции** и характеризующаяся **количественным подходом** к исследованию природных явлений».

Ю. Одум: «Экология - это наука **о структуре природы**, характеризующаяся **энергетическим подходом** к исследованию природных явлений».

Т. Льюис и Л. Тейлор: «Экология - это наука о том, как реагируют **индивиды, популяции и сообщества популяций** на **изменение среды**».

П. Аггес: «Экология - наука не только естественная, она должна включать в себя и другие

дисциплины, такие, например, как **право, экономика, социология и т. д.**».

Н. П. Наумов: «Экология имеет дело с той стороной, которая обуславливает **развитие, размножение и выживание особей, структуру и динамику** образуемых ими **популяций** отдельных видов **и, наконец, структуру и динамику сообществ разных видов**».

С. С. Шварц: «Современная экология - это наука **о путях приспособления видовых популяций к изменяющимся условиям внешней среды**, наука о становлении, преобразовании и развитии видовых популяций, о законах их интеграции в биологические системы более высокого порядка, специфически приспособленные к наиболее эффективному использованию энергии в конкретных условиях среды».

Н. Ф. Реймерс: «В нынешней ситуации **экология в современном расширенном понимании далеко вышла за рамки биологической праматери - биоэкологии**. Она превратилась в цикл знаний, по общественному значению и внутреннему содержанию равный циклам физико-математических, химико-биологических наук, наук о Земле и общественных наук».

В Полном словаре **Н. Уэбстера** (1961 г., изд. 3) приведено следующее определение экологии: «Предмет экологии - это совокупность или **структура связей между организмами и их средой**».

В **Советском энциклопедическом словаре** (1990 г.) экология определяется как «наука об **отношениях** растительных и животных **организмов и образуемых ими сообществ** между собой и **с окружающей средой...** Объектами экологии могут быть популяции организмов, виды, сообщества, экосистемы и биосфера в целом».

Проанализировав все предложенные определения, можно заметить, что все они базируются на трех ключевых понятиях:

«живые системы» (организмы, популяции, биоценозы), **«взаимодействия»** (взаимосвязи, взаимоотношения, взаимозависимости) и **«окружающая среда»** (среда обитания, внешняя среда).

Экология - это комплексная наука, изучающая законы существования (функционирования) живых систем в их взаимодействии с окружающей средой.

Еще в глубокой древности для того, чтобы выжить, человеку необходимо было иметь определенные знания об окружающей среде, о силах природы, растениях и животных. Можно сказать, что цивилизация возникла тогда, когда человек научился использовать огонь и другие средства, позволившие ему изменять среду своего обитания. Благодаря достижениям техники мы теперь, казалось бы, меньше зависим от природы в своих насущных потребностях и поэтому склонны забывать, что зависимость эта сохранилась.

Подобно другим наукам, экология развивалась непрерывно, но неравномерно на протяжении всей истории человечества. Труды Гиппократы, Аристотеля и других древнегреческих философов содержат сведения экологического характера. Так, Аристотель (384-322 гг. до н. э.) описал свыше 500 видов известных ему животных и рассказал о них то, что знал: например, о периодической миграции и зимней спячке рыб, о перелетах птиц, о строительной деятельности животных, о паразитизме кукушки и т. д. Однако тогда греки не знали слова «экология».

В истории развития концепции современной экологии можно выделить несколько основных этапов. Сначала под экологией понимали чисто биологические исследования связей отдельных организмов между собой и окружающей средой (1-й этап). К середине 20-х годов XX в. термин «экология» стал применяться к исследованию сообществ организмов (изучение трофических связей, экологических пирамид и др.) (2-й этап). К 50-м годам в науку введены понятия «экосистема» (А. Тенсли) и «биогеоценоз» (В. Н. Сукачев), которые стали рассматриваться как основные единицы научных исследований (3-й этап). Следующим шагом было признание в 70-х годах того факта, что наиболее уязвимой областью являются зоны,

находящиеся на стыке различных экосистем, а глобальной экосистемой является биосфера (4-й этап). И, наконец, последним направлением явилось признание особой роли человека (общества) в трансформации биосферы (5-й этап), его ответственности за ее судьбу.

В настоящее время в экологической науке наибольшее развитие получили следующие направления:

- **классическая (общая) экология** - изучает взаимодействие биологических систем с окружающей средой; т. е. занимается исследованием органического мира на уровне отдельных особей (организмов), популяций, видов, биоценозов, биогеоценозов (экосистем) и биосферы. В связи с этим выделяют
 - **аутэкологию** (экологию особей); (от греч. *autos* - сам) устанавливает пределы существования особи (организма) в окружающей среде, изучает реакции организмов на воздействия факторов среды, их приспособляемость к условиям среды обитания. Термин «аутэкология» был введен швейцарским ботаником К. Шретером в 1896 г. именно для обозначения экологии особей.
 - **демэкологию** (экологию популяций); (от греч. *demos* - народ) изучает естественные группы особей одного вида - популяции, элементарные надорганизменные системы. Ее важнейшей задачей является изучение условий формирования популяций, внутривидовых взаимоотношений, динамики численности популяций.
 - **синэкологию** (экологию сообществ), (от греч. *syn* - вместе), или экология сообществ, изучает ассоциации популяций разных видов растений, животных и микроорганизмов, образующих биоценозы, и взаимодействие их с окружающей средой. Термин «синэкология» предложил К. Шретер в 1902 г.
- **глобальная экология** - раскрывает единство и целостность биосферы как глобальной экосистемы, ее антропогенные изменения;
- **социальная экология** - рассматривает взаимосвязи и взаимозависимости в системе «общество - окружающая среда»;
- **геоэкология** - изучает крупные надбиогеоценотические экосистемы, ландшафты, антропогенные изменения природной среды;
- **экология человека** - изучает природную сущность человека, среду его обитания, экологические факторы здоровья;
- **прикладная экология** - изучает взаимосвязи агроэкосистем, экосистем города, техносферы с окружающей средой;
- **экологический мониторинг** - это система наблюдения, оценки, анализа и прогноза состояния окружающей среды.

Краткая история развития экологии

Термин «экология» ввел немецкий зоолог Эрнст Геккель (1834 - 1919) в 1866 г. Он дал след. определение этой науке:

*“**экология** - это познание экономики (“Ойкос” - “дом”, “хозяйство”, “номос” - “закон”, т.е. законы развития хозяйства) природы, одновременное исследование всех взаимоотношений живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая непременно неантагонистические и антагонистические взаимоотношения животных и растений, контактирующих друг с другом. Одним словом, экология - это наука, изучающая все сложные взаимосвязи и взаимоотношения в природе, рассматриваемые Дарвином как условия борьбы за существование.”*

В истории развития концепции современной экологии можно выделить несколько основных этапов. Сначала под экологией понимали чисто биологические исследования связей отдельных организмов между собой и окружающей средой (1-й этап). К середине 20-х годов XX в. термин «экология» стал применяться к исследованию сообществ организмов (изучение трофических связей, экологических пирамид и др.) (2-й этап). К 50-м годам в науку введены понятия «экосистема» (А. Тенсли) и «биогеоценоз» (В. Н. Сукачев), которые стали рассматриваться как основные единицы научных исследований (3-й этап). Следующим шагом было признание в 70-х годах того факта, что наиболее уязвимой областью являются зоны, находящиеся на стыке различных экосистем, а глобальной экосистемой является биосфера (4-й этап). И, наконец, последним направлением явилось признание особой роли человека (общества) в трансформации биосферы (5-й этап), его ответственности за ее судьбу.

Даже древним людям, для того, чтобы выжить в их суровом мире, были необходимы знания, которые сегодня мы называем экологическими: взаимоотношениях животных, н-р, хищников и их жертв, миграциях животных и др.

Аристотель (384 - 322 гг. до н. э.) описал более 500 видов животных (“История животных”). Он различал водных и сухопутных животных, плавающих, летающих, ползающих. Рассказал о поведении, н-р, о миграциях и зимней спячке рыб, перелетах птиц, строительной деятельности животных, паразитизме кукушки и т. д.

Ученик Аристотеля - Теофраст Эрезийский (371-280 гг. до н. э.) привел сведения о своеобразии растений в разных условиях, зависимости их формы и особенностей роста от почвы и климата (если взять семена одного растения и посадить их в разных условиях, то они будут различаться по росту и др. показателям. Также виды живущие в разных условиях различаются - имеют специальные приспособления - кактус и фикус).

В средние века интерес к изучению природы ослабевает (метафизические представления). И экология в составе биологических дисциплин тоже находится в забвении.

Великие географические открытия (в эпоху Возрождения) послужили толчком для развития биологии. Ученые и путешественники не только описывали внешнее и внутреннее строение растений, но и сообщали сведения о зависимости растений от условий произрастания или возделывания.

Известный англ. химик Роберт Бойль (1627-1691) оказался первым, кто осуществил экологич. эксперимент. Он опубликовал результаты сравнительного изучения влияния низкого атмосферного давления на различных животных.

Карл Линней (1707 - 1778), Жорж Бюффон (1707 - 1788) - в трудах подчеркивалось ведущее значение климатических факторов.

Большое влияние на развитие экологической науки оказал француз Жан Батист Ламарк (1744-1829) - создатель первого эволюционного учения (...), считавший, что важнейшей причиной приспособительных изменений организмов, эволюции растений и животных является влияние внешних условий Среды. Он первым высказал мысль о том, что все живое и неживое на нашей планете составляет единое целое - биосферу, и предупредил человечество о возможных последствиях влияния человека на природу. Вот как звучало его мрачное пророчество: “Можно, пожалуй, сказать, что назначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар не пригодным для обитания.”

Англичанин Томас Мальтус (1766-1834) математически описал закономерности роста числа организмов одного вида и вслед за Ламарком дал прогноз возможных тяжелых последствий хозяйственной деятельности человека, если его численность будет увеличиваться без предела и произойдет перенаселение.

Луи Пастер (1860г. Франция) – заложил основы экологического направления в микробиологии (в 1922 г. С. Н. Виноградский оформил это новое научное направление).

Англ. Чарльз Дарвин (1801-1882) создал эволюц. учение, где показал, что “борьба за существование” в природе приводит к естественному отбору, т. е. является движущим фактором эволюции. А под “борьбой за существование” он понимал все формы связей вида со средой - объект изуч. экологии.

В 30-х гг. оформилась популяционная экология. Основоположник - англ. ученый Чарльз Элтон (“Экология животных”) переключает внимание с отдельного организма на популяцию как единицу, которую следует изучать самостоятельно, т. к. на этом уровне выявляются свои особенности (экологич. адаптаций и регуляций).

Важные наблюдения были выполнены учеными Российской Академии наук в ходе экспедиционных исследований, проводимых со II-й половины XVIII века.

Крашенинников Степан Петрович (1713-1755 гг.) «Описание земли Камчатской»
Лепехин Иван Иванович (1740-1802 гг.), Паллас Петр Симон (1741-1811 гг.) и др. изучали разные части государства Российского указывали на взаимосвязанные изменения климата, растительности и животного мира в разных частях страны. Н-р, Паллас («Зоогеография») подробно описал образ жизни 151 вида млекопитающих, 425 видов птиц и такие био явления как миграции, спячка, взаимодействия родственных видов и др.

Миддендорф А. Ф. 1860 г. «Путешествие на север и восток Сибири», в 2 тт., на основе путешествий на Кольский полуостров (1840), на Таймыр и в Якутию (1842-1845) - описаны биогеографические закономерности Сибири.

Профессор Московского ун-та Карл Францевич Рулье (1814-1858 гг.) разработал широкую систему экологического исследования животных – «зообиология» и оставил ряд трудов типично экологического содержания: типизацию общих особенностей водных, наземных и роющих позвоночных.

Северцов Н. А.

Докучаев Василий Васильевич (1846-1903 гг.) – учение о почвах. «Русский чернозем» 1883 г. - заложил основы учения о почвах (почвоведение) и о ландшафтах («Наши степи прежде и теперь», 1892) «К учению о зонах природы. Горизонтальные и вертикальные почвенные зоны» 1899 г.

Тимирязев Климент Аркадьевич (1843-1920 гг.) физиологические основы физиологии растений.

«Дайте самому лучшему повару сколько угодно свежего воздуха, сколько угодно солнечного света и целую речку чистой воды и попросите, чтоб он из всего этого приготовил вам сахар, крахмал, жиры и зерно, - он решит, что вы над ним смеетесь. Но то, что кажется совершенно фантастическим человеку, беспрепятственно совершается в зеленых листьях растений» -

Тимирязев о фотосинтезе.

Кашкаров Д. Н. 1933 г. «Среда и сообщество (основы синэкологии)»; «Основы экологии животных» (1938) - первые отечественные учебники по экологии

Сукачев Владимир Николаевич – учение о биогеоценозах (биогеоценология). Предложил понятие «биогеоценоз» в 1942 г.

Вернадский Владимир Иванович – учение о биосфере. Предложил в 1940 г. фундаментальный принцип (фактически, аксиому) о биогенетической миграции элементов. В 1944 г. – статья «Несколько слов о ноосфере»: «Биосфера XX столетия превращается в ноосферу, создаваемую прежде всего ростом науки, научного понимания и основанного на ней социального труда человека»

Ты, человек, любя природу,
Хоть иногда ее жалеи.
В увеселительных походах
Не растопчи ее полей.
В вокзальной сутолоке века
Ты оценить ее спеши.
Она твой давний, добрый лекарь.
Она союзница души.
Не жги ее напропалую
И не исчерпывай до дна.
И помни истину простую
Нас много, а она одна.
В. Шефнер.

Раздел 2. Организмы и среда

Организмы и среда их обитания.

Среда жизни (среда обитания) – та часть природы, которая окружает живой организм и с которой он непосредственно взаимодействует.

4 основных среды обитания:

1. Водная
2. Наземно-воздушная
3. Почва
4. Живой организм как среда обитания для паразитов и симбионтов.

В каждой из сред обитания действуют экологические факторы.

Экологические факторы – те свойства или элементы среды, оказывающие прямое влияние на живые организмы

В качестве экологического фактора нельзя рассматривать глубину водоема или высоту местообитания над уровнем моря, т. к. глубина (высота) влияет на живые организмы через увеличение (понижение) давления, температуры и другие более простые элементы среды. Таким образом, именно температура, освещенность, давление, соленость и др. выступают в качестве экологических факторов среды, оказывающих непосредственное влияние на живые организмы.

Традиционной классификацией экологических факторов является их деление на абиотические, биотические и антропогенные.

Абиотические факторы - это комплекс условий окружающей среды, влияющих на живой организм (температура, давление, радиационный фон, освещенность, долгота дня, влажность, состав атмосферы, морских и пресных вод, донных отложений, почвы и др.)

Биотические факторы - это совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие (конкуренция, хищничество, паразитизм и др.)

Антропогенные факторы - это совокупность влияний деятельности человека на окружающую среду (выбросы вредных веществ в атмосферу, разрушение почвенного слоя, нарушение природных ландшафтов и др.)

Под влиянием экологических факторов формируются различные адаптации (приспособления организмов):

1. Морфологические
2. Анатомические
3. Физиологические
4. Биохимические
5. Поведенческие (этологические)

Важнейшие абиотические факторы и адаптации организмов к ним.

Среди основных абиотических факторов рассмотрим свет, температуру и влажность.

• Свет.

В свое время французский астроном Камиль Фламарион (1842-1925) написал: «Мы об этом не думаем, но все, что ходит, движется, живет на нашей планете, есть дитя Солнца».

Солнечное излучение – основной источник энергии для всех процессов, происходящих на Земле.

По отношению к свету как экологическому фактору различают следующие группы растений: гелиофиты, сциофиты и теневыносливые растения (факультативные гелиофиты).

• **Световые растения (гелиофиты)** - (от греч. *helios* -солнце, *phyton* - растение) обитают на открытых местах с хорошей освещенностью и в лесной зоне встречаются редко. Процесс фотосинтеза начинает преобладать над процессом дыхания только при высокой освещенности

(пшеница, сосна, лиственница). Цветки таких светолюбивых растений, как подсолнечник, козлобородник, череда, поворачиваются за солнцем.

- **Теневые растения (сциофиты)** - (от греч. *skia* - тень) не выносят сильного освещения и живут под пологом леса в постоянной тени (это в основном лесные травы, папоротники, мхи, кислица). На вырубках при сильном освещении они проявляют явные признаки угнетения и часто погибают.

- **Теневыносливые растения (факультативные гелиофиты)** - могут жить при хорошем освещении, но легко переносят и затемненные места (большинство растений лесов, луговые растения, лесные травы и кустарники).

Теневыносливые древесные породы и теневые травянистые растения отличаются мозаичным расположением листьев. У эвкалиптов листья обращены к свету ребром. У деревьев световые и теневые листья (располагаются соответственно по поверхности и внутри кроны) - хорошо освещаемые и затененные - имеют анатомические различия. Световые листья толще и грубее, иногда они блестящие, что способствует отражению света. Теневые листья обычно матовые, неопушенные, тонкие, с очень нежной кутикулой или вовсе без нее (кутикула - наружная пленка, покрывающая эпидермис).

В лесу теневыносливые деревья образуют густо сомкнутые насаждения. Под их пологом растут еще более теневыносливые деревья и кустарники, а ниже - теневые кустарнички и травы. На рисунке показаны две сосны: одна из них росла на открытом пространстве при хорошем освещении, а другая в густом лесу.

Наибольшее значение свет как средство ориентации имеет в жизни животных. Уже у простейших появляются светочувствительные органеллы. Так, эвглена зеленая с помощью светочувствительного «глазка» реагирует на степень освещенности среды. Начиная с кишечнополостных, практически у всех животных развиваются светочувствительные органы - глаза, имеющие то или иное строение.

Среди животных различают дневные, ночные и сумеречные виды. Имеются также виды, живущие в постоянной темноте и не выносящие яркого солнечного света (почвенные животные, обитатели пещер и больших глубин, внутренние паразиты животных и растений).

Биолюминесценцией называется способность живых организмов светиться. Происходит это в результате окисления сложных органических соединений при участии катализаторов обычно в ответ на раздражения, поступающие из внешней среды. Световые сигналы, испускаемые рыбами, головоногими моллюсками и другими гидробионтами, а также некоторыми организмами наземно-воздушной среды (например, жуками семейства светляков), служат для привлечения особей противоположного пола, приманивания добычи или отпугивания хищников, ориентации в стае и др.

• **Температура.**

Одним из наиболее важных факторов, определяющих существование, развитие и распространение организмов по земному шару, является температура. От температуры зависит скорость химических реакций, протекающих в организме.

Важно не только абсолютное количество тепла, но и его временное распределение, т. е. тепловой режим.

Растения не обладают собственной температурой тела: их анатомо-морфологические и физиологические механизмы терморегуляции направлены на защиту организма от вредного воздействия неблагоприятных температур.

В зоне высоких температур при пониженной влажности (тропические и субтропические пустыни) исторически сформировался своеобразный морфологический тип растений с незначительной листовой поверхностью или с полным отсутствием листьев. У многих пустынных растений образуется беловатое опушение, способствующее отражению солнечных лучей и предохраняющее их от перегрева (акация песчаная, лох узколистый).

К физиологическим приспособлениям растений, сглаживающим вредное влияние высоких температур, могут быть отнесены:

интенсивность испарения - **транспирация** (от лат. *trans* - через, *spiro* - дышу, выдыхаю), накопление в клетках солей, изменяющих температуру свертывания плазмы, свойство хлорофилла препятствовать проникновению солнечных лучей.

В мире животных наблюдаются определенные морфологические адаптации, направленные на защиту организмов от неблагоприятного действия температур. Свидетельством этого может служить известное **правило Бергмана** (1847 г.), **правило Аллена**,

Реакция животных на тепловой режим проявляется и в изменениях пропорций отдельных органов и тела (у горностая из северных районов увеличено сердце, почки, печень и надпочечники по сравнению с такими же зверьками в местностях с более высокой температурой). Из правил Бергмана и Аллена бывают исключения.

В зависимости от вида теплообмена различают три экологических типа животных: пойкилотермные, гомойотермные и гетеротермные.

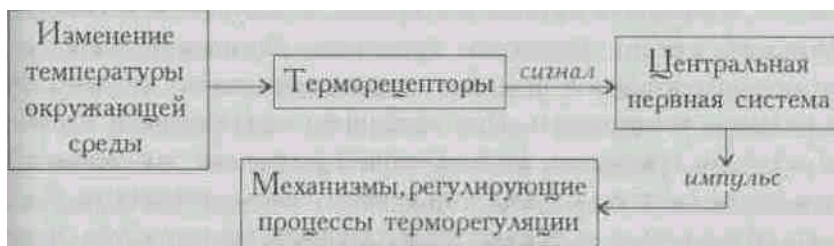
Пойкилотермные организмы (от греч. *poikilos* - разнообразный) - животные с неустойчивым уровнем обмена веществ, непостоянной температурой тела и почти полным отсутствием механизмов терморегуляции (холоднокровные). К ним относятся беспозвоночные, рыбы, пресмыкающиеся, земноводные, т. е. большинство животных, за исключением птиц и млекопитающих. Температура тела у них изменяется с изменением температуры окружающей среды.

Гомойотермные организмы (от греч. *homoios* - одинаковый) - животные с более высоким и устойчивым уровнем обмена веществ, в процессе которого осуществляется терморегуляция и обеспечивается относительно постоянная температура тела (теплокровные). К ним относятся птицы и млекопитающие. Температура тела поддерживается на относительно постоянном уровне.

В свою очередь, пойкилотермных животных можно разделить на эвритермных, ведущих активный образ жизни в сравнительно широком температурном диапазоне, и stenотермных, не переносящих значительных колебаний температур.

Промежуточное положение между пойкилотермными и гомойотермными занимают **гетеротермные** животные. У них в активном состоянии поддерживается относительно высокая и постоянная температура тела, а в неактивном - температура тела мало отличается от внешней. У этих животных во время спячки или глубокого сна уровень обмена веществ падает, и температура тела лишь незначительно превышает температуру среды. Типичными представителями гетеротермных животных являются суслики, ежи, летучие мыши, медведи, стрижи, утконосы, ехидны, кенгуру.

Механизмы терморегуляции бывают *химические* и *физические*. Химический механизм обусловлен интенсивностью реакций в организме и осуществляется рефлекторным путем:

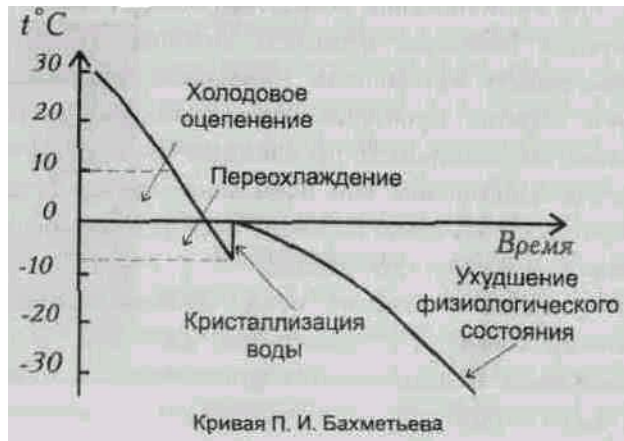


Физический механизм терморегуляции обеспечивают теплоизолирующие покровы (мех, перья, жировой слой), деятельность потовых желез, испарение влаги при дыхании, сосудистая регуляция кровообращения.

У пойкилотермных животных интенсивность обмена веществ прямо пропорциональна внешней температуре, у гомойотермных - наоборот, при ее понижении возрастают потери тепла и в ответ активизируются обменные процессы, повышается теплопродукция. Интенсивность метаболизма (обменных процессов) при гомойотермии обратно пропорциональна внешним температурам. Однако такая закономерность прослеживается лишь в определенных пределах. Повышение или понижение температуры относительно порогового значения вызывает перегрев или переохлаждение животного и в итоге его гибель.

Рассмотрим пример с насекомыми, представителями пойкилотермных животных.

При $t^{\circ} < +10^{\circ}\text{C}$ у насекомых наступает оцепенение, при $t^{\circ} < 0^{\circ}\text{C}$ -переохлаждение. Оно продолжается до момента кристаллизации воды, которая сопровождается скачком температуры. После резкого ее повышения начинаются процессы, ведущие к ухудшению физиологического состояния организма. Физиологическое состояние насекомого в процессе охлаждения зависит от скорости понижения температуры. При медленном охлаждении в клетках образуются кристаллы льда, которые разрывают их оболочку. При очень быстром охлаждении центры кристаллизации не успевают образоваться, и формируется стекловидная структура. В результате цитоплазма не повреждается. Таким образом, глубокое, но очень быстрое охлаждение вызывает временную, обратимую приостановку всех жизненных процессов организма. Подобное состояние, получившее название **анабиоз**, наблюдается у вирусов, бактерий, беспозвоночных, земноводных, пресмыкающихся, лишайников, мхов. Явление анабиоза впервые было обнаружено и описано А. Левенгуком (1701 г.).



Изучение анабиоза послужило толчком к развитию различных криотехнологий (от греч. *kryos* - холод, мороз), например, криоконсервации. Этот метод широко используется в биологии, медицине, сельском хозяйстве, в практике длительного хранения консервированной крови, спермы для искусственного осеменения сельскохозяйственных животных, различных тканей и органов для трансплантации (от лат. *transplantatio* - пересаживание), культур, бактерий, вирусов.

Температурный фактор имеет важное значение в распределении живых организмов на Земле и тем самым обуславливает заселенность ими разных природных зон. В 1918 г. А. Хопкинс сформулировал **биоклиматический закон**. Он установил, что существует закономерная, тесная связь развития фенологических (сезонных) явлений с широтой, долготой и высотой местности над уровнем моря. Он подсчитал, что **по мере продвижения на север, восток и в горы время наступления периодических явлений в жизнедеятельности организмов запаздывает на 4 дня на каждый градус широты, 5 градусов долготы и примерно на 100 м высоты.**

Одной из важных закономерностей в распределении современных организмов служит их биполярность - географическое распределение наземной и морской флоры и фауны, при котором один и тот же вид обитает в холодных и умеренных широтах обоих полушарий, но отсутствует в тропическом поясе (беззубые киты, ушастые тюлени и др.).

• Влажность.

Вода является важнейшим экологическим фактором в жизни живых организмов и их постоянной составной частью.

- 1) жизнь зародилась в океане;
- 2) все физиологические и биохимические процессы возможны только в воде.

Все живое Земли включает воду, например, медузы содержат 95-99% воды, кукуруза ~ 70%, зерновые злаки ~ 87%. Даже в амбарном долгоносике, питающемся сухим зерном, содержится 46% воды. В эмбрионе человека ~ 97% воды, после его рождения - 64-77%. У мужчин в возрасте от 18 до 50 лет в организме содержится — 61% воды, у женщин ~ 54%.

За свою жизнь человек выпивает до 50-77 м воды (за сутки ~ 2,5-3 л). В целом за сутки человек теряет 2-2,5 л воды: 800-1300 мл с мочой, около 200 мл - с испражнениями и 600 мл с поверхности

тела и при дыхании. С потерей 1-1,5 л воды у человека появляется жажда, при расходе 6-8% влаги от веса тела он впадает в полуобморочное состояние, при дефиците 10-12% наступает смерть.

В различные периоды развития потребность растений в воде неодинакова, особенно у разных видов; меняется она и в зависимости от климата и типа почвы. Например, злакам в период прорастания семян и их созревания нужно меньше влаги, чем во время их интенсивного роста. Для каждой фазы роста и стадии развития любого вида растений можно выделить критический период, когда недостаток воды особенно отрицательно сказывается на его жизнедеятельности. Влажность среды часто является фактором, лимитирующим численность и распространение организмов по земному шару. Например, бук может жить на сравнительно сухой почве, но ему необходима достаточно высокая влажность воздуха. У животных весьма важную роль играют проницаемость покровов и механизмы, регулирующие водный обмен.

Экологические закономерности, отражающие взаимодействие организма со средой обитания.

1. Первая группа закономерностей характеризует зависимость между климатом (температурой окружающей среды) и морфологическими приспособлениями животных. Они описаны у близких в систематическом отношении животных и не имеют абсолютного характера.

Правило Бергмана:

В пределах вида или однородной группы близких видов животных особи относительно более крупных размеров встречаются в более холодных областях.

Иллюстраций этому правилу много. (Н-р волки, медведи) Так, среди волков крупнее всех полярные. Довольно однородная группа пингвинов в самых холодных областях представлена крупным королевским пингвином, а на экваторе обитает самый маленький пингвин — галапагосский.

Правило Бергмана базируются на *правиле соотношения поверхности и объема тела* (закон поверхности тела)

Поверхность тела животного пропорциональна квадрату его размера.

Объем тела пропорционален кубу его размера.

Именно поэтому чем крупнее животное, тем относительно меньше его поверхность тела. Она ведь с ростом размеров увеличивается в квадрате, тогда как объем растет в кубе!

Эта закономерность диктует конструкцию тела животных. Н-р, потеря тепла организмом связана с величиной поверхности тела, ибо именно с нее происходит рассеивание энергии. Чем больше животное, тем меньше энергопотери на единицу веса. И наоборот, чем меньше животное, тем больше энергопотери на единицу веса. У мелкого животного относительно большая энергопотеря — н-р, землеройка.

Исходя из этого же правила, регламентирующего соотношение поверхности и объема тела, можно понять, почему микроорганизмы свободно летают (у них ведь огромная поверхность тела при очень небольшой массе), а слоны — нет (огромная масса при небольшой относительно поверхности тела).

Еще одно следствие соотношения поверхности и объема тела —

Правило Аллена:

Чем холоднее климат, тем короче придатки тела (уши, хвосты).

Естественно, что длинные уши и хвосты способствуют повышенным энергопотерям, а на севере это не выгодно. В пустынях Африки живет маленькая лисичка — *фенек*, ее уши необычайно велики (каждое почти с голову зверька). В наших южных степях обитает лисичка *корсак*. Она невелика, но ее уши довольно крупны. *Обыкновенная лисица*, живущая в средних широтах, имеет хорошо заметные уши средней величины. А вот полярная лисичка — *песец* весьма короткоух. Его ушки практически не выступают из зимнего меха.

Что же касается самого меха, то по его поводу тоже есть правило.

Правило мехового покрова:

У млекопитающих холодных климатических зон мех более густой, чем у представителей этих же групп в более теплых странах.

Это совершенно естественно, ибо мех прекрасный теплоизолятор.

Например, *тигры*, самый мохнатый из них *уссурийский* (он же и самый крупный), чуть южнее живет гораздо менее мохнатый — *восточно-китайский*, а *малайский* и *индийский* тигры имеют короткую и весьма редкую шерсть.

Человек, не учитывающий это правило, легко попадает впросак, особенно если у него есть страсть преобразовывать природу. Таковы переселения белок в южные страны, чтобы и там можно было бы добывать прекрасный беличий мех. На юге зверьки навсегда расстались со своим пышным мехом, что не отразилось на их аппетите. Они энергично поглощают все местные орехи к неудовольствию аборигенов. Другой пример —

однажды наша уссурийская енотовидная собака была акклиматизирована в Европе. Мех ее действительно превосходен; мягок, пушист, длинен. Попав в Среднюю и Южную Европу, это животное стало очень распространенным вредителем тамошнего охотничьего хозяйства. Если разводят куропаток, фазанов, зайцев, то енотовидная собака с удовольствием потребляет всю эту дичь и быстро растет в числе. Несмотря на хорошие харчи, шкурка этого вселенца практически обесценилась, мех перестал быть густым — уссурийский «енот» на юге изрядно облез.

2. Закон минимума (закон Либиха)

В 1840 году Ю. Либих высказал предположение, что выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его биологических потребностей. Он работал с растениями и изучал влияние разнообразных факторов на их жизнь. В процессе работы Ю. Либих установил, что урожай зерна ограничивается не теми питательными веществами, которые требуются растениям в больших количествах (такие, как углекислый газ и вода), а теми, которых требуется совсем немного и которых в почве меньше всего.

Принцип Либиха:

«Веществом, находящимся в минимуме, управляется урожай и определяется величина и устойчивость последнего во времени».

Итак, растения можно выращивать на синтетических средах, а для обеспечения их нормального роста необходимо известное количество химических элементов. Причем эти вещества должны быть разнообразны. Одни из них требуются в большом количестве, другие — в малом, а третьи вообще в виде следов. Особенно же важно, что одни элементы не могут быть заменены другими. Дело в том, что среда, содержащая все элементы в достатке, кроме одного (которого очень мало), обеспечивает рост растения лишь до того момента, пока количество минимального элемента не будет исчерпано. Рост, таким образом, ограничен нехваткой единственного элемента, количество которого оказалось ниже необходимого минимума.

Закон минимума (лимитирующих факторов, Либиха)

Если хотя бы один фактор находится в недостатке, минимуме (с точки зрения организма), то развитие организма нарушается, в крайнем случае, приводит к гибели.

Лимитирующий фактор — фактор, находящийся в минимуме и ограничивающий развитие организма.

Лимитирующим может быть любой фактор (н-р, количество мест для гнезда), но наиболее важным чаще всего оказываются температура, вода, пища (для растений — наличие биогенных элементов)

Дальнейшее изучение закона минимума привело к осознанию того, что на организм отрицательно влияет не только недостаток вещества, (недостаточное действие фактора), но и его избыток (эта особенность была известна и самому Ю. Либиху). Существует еще и максимум фактора, его избыток. Соответственно, появляется и представление об ограничивающем влиянии на организм максимума наравне с минимумом. Это правило ввел в экологию в 1913 году В. Шелфорд.

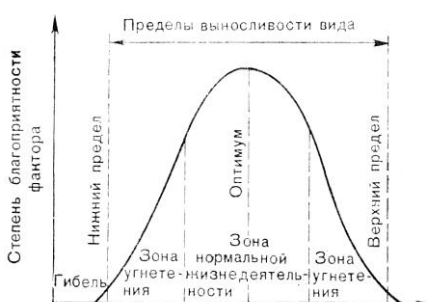
3. Закон толерантности (закон Шелфорда)

Толерантность (гр. «толеранция» - терпение) — способность организмов выдерживать изменения условий среды

Организмы плохо реагируют как на недостаток, так и на избыток действия экологического фактора.

Графически действие фактора можно отобразить следующим образом.

Кривые подобные этой называют *кривыми толерантности*.



Нижняя критическая точка, верхняя критическая точка – максимально и минимально переносимые значения действия фактора.

Точка, при которой наблюдается максимальный рост и развитие, называют *оптимумом*. Обычно это диапазон действия фактора, который называют *зоной оптимума*.

Диапазон между максимумом и минимумом и составляет *пределы толерантности* организма.

Между зоной оптимума и нижней и верхней критическими точками, по мере приближения к последним, организм испытывает все нарастающий стресс, нарушения развития, т.е. речь идет о *стрессовых зонах*, или *зонах угнетения*.

Чем сильнее отклонения от оптимума, тем более выражено угнетающее воздействие. За критическими точками – смерть.

Важные следствия закона толерантности.

Биологический принцип:

Для каждого вида существуют определенные оптимум, стрессовые зоны и пределы толерантности в отношении каждого фактора.

Для обозначения пределов толерантности вида к факторам используют приставки «эври-» - *широкий*, и «стено-» - *узкий*.

Например:

Эвритермный (температура) – береза, песец, заяц-беляк

Стенотермный – ногохвостки, ледяная рыба

Эвригалимный (соленость) – сазан, карп

Стеногалимный – хариус, форель

Эвригидрический (влажность) – сосна

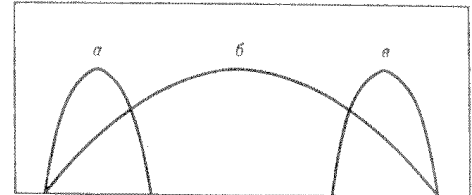
Стеногидрический – фикус

Эврифагный (пища) – тараканы, крысы, белки

Стенофагный – большая панда, коала

Эврибионтный (комплекс факторов) – крысы, белки, кролики, воробьи, человек

Стенобионтный – ногохвостки



Общее экологическое положение:

Организмы с широким диапазоном толерантности ко всем факторам оказываются шире распространены по планете, чем все прочие. Естественно, широкая толерантность обеспечивает и возможности выживать и размножаться в самых разнообразных условиях среды. У нас имеются такие животные, как волк и лисица обыкновенная, по-видимому, их толерантность необычайно высока. Ареал этих зверей охватывает Азию, Европу и Америку. Маленький зверек — ласка обитает не только в Европе, Азии и, Америке, но также и в Северной Африке. В то же время стенобионтные виды с узкой специализацией не имеют конкурентов в своей области и получают преимущество в неменяющихся, постоянных условиях среды.

Организмы могут иметь широкие пределы толерантности в отношении одних факторов и узкие в отношении других. Н-р, человек – эврибионт, но слабо устойчив к радиации и CO_2 . или растение эвритермное, но стеногидрическое.

Более того, **если условия по одному из факторов не оптимальны для вида, то может сузиться его толерантность и по другим факторам.** Так, при низком содержании азота в почве у злаков снижается засухоустойчивость. Стало быть, если увеличить количество навоза на полях, то снизится потребность в поливе растений. Или, мороз и ветер, мороз (жара) во влажном климате.

Пределы толерантности вида всегда шире, чем отдельного организма.

Н-р, у бабочки мельничной огневки критическая минимальная температура

Таким образом, мороз в $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ губителен для гусениц, но не опасен для имаго и яиц.

для гусениц $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$

для имаго (взрослых) $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$

для яиц $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$

Изучая толерантность растений, выяснили, что в период размножения многие факторы могут стать лимитирующими.

У не размножающихся организмов пределы толерантности обычно гораздо шире, чем у

размножающихся, а также семян, яиц, эмбрионов и проростков.

Поэтому период размножения приурочен к наиболее благоприятному сезону (времени), когда действующие на организм факторы близки к оптимуму.

Н-р, волнистые попугайчики, клесты.

Вопрос: почему в свое время отказались от акклиматизации южноамериканских лам и гуанако в горах Памира, хотя условия там сходные с условиями местообитания лам на родине?

Взрослый кипарис может расти на совершенно сухом месте, нормально чувствует он себя и стоя «по колено» в воде. Однако пока это дерево стоит в воде, размножаться оно не будет. Для его семян и проростков нужна влажная, но не заливаемая почва.

4. Правило взаимодействия факторов (Б.Бауле 1918 г.): **«При совместном действии факторов их влияние на организм сильно меняется»** н-р, тенелюбивые орхидей растут на ярком солнце при пониженных температурах.

Водная среда обитания и адаптации организмов.

Гидросфера занимает до 71% площади земного шара.

Организмы, обитающие в водной среде, называются **гидробионтами**. В водной среде обитает около 150 000 видов животных (примерно 7% от общего количества их на земном шаре) и 10 000 видов растений (8%).

Подсчитано, что биологический круговорот воды морей и океанов, рек и озер происходит за 2 млн. лет, т. е. именно столько времени требуется, чтобы вся она прошла через живое вещество (совокупность всех живых организмов) планеты. Таким образом, современная гидросфера представляет собой продукт жизнедеятельности живого вещества не только современной, но и прошлых геологических эпох.

Вода на Земле находится в постоянном движении. Смена воды в реках происходит в среднем 30 раз в год, т. е. каждые 12 дней. Воды проточных озер обмениваются за десятки лет, а непроточных за 200-300 лет. Воды Мирового океана обновляются в среднем за 3000 лет.

Рассмотрим основные абиотические факторы водной среды.

• Температурный режим.

Средние температуры морской воды на поверхности в зависимости от географического положения колеблются в широких пределах:

Колебания температуры воды в Мировом океане сравнительно невелики: от -2°C до $+36^{\circ}\text{C}$ (от -2° в полярных водах до $+27^{\circ}$ в экваториальных водах открытого океана. В закрытых морях температура воды может быть еще выше. Так, в Красном море отмечена температура 34°). В пресных внутренних водоемах умеренных широт температура поверхностных слоев воды в основном колеблется от $-0,9^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$. Исключением являются термальные источники, теплые, горячие и кипящие, температура воды в которых может достигать $+100^{\circ}\text{C}$.

Благоприятный температурный режим исключает как слишком высокие температуры, которые вызывают свертывание белков, так и слишком низкие, когда прекращается работа ферментов. «Чемпионами» по выживанию в отношении колебаний температуры являются прокариоты - организмы, клетки которых не имеют ограниченных мембраной ядер (бактерии, цианеи).

• Подвижность.

Обитатели водоемов в процессе эволюции сумели выработать приспособления к подвижности среды. Например, в проточных водоемах встречаются прикрепленные к находящимся под водой камням и разным другим предметам растения - зеленые и диатомовые водоросли, водные мхи и др. Животные также адаптировались к подвижности водной среды. У рыб (форель, гольян), обитающих в быстро текущих реках тело в поперечном разрезе почти округлое, и с точки зрения гидродинамики это наиболее выгодная форма. Беспозвоночные проточных водоемов обычно держатся на дне, тело их сплющено, многие имеют на брюшной стороне различные органы, позволяющие им прикрепляться к подводным предметам.

• Плотность и вязкость

Плотность воды превышает плотность воздуха в 800 раз, поэтому у водных растений очень слабо или вообще не развита механическая ткань, их стебли эластичны и легко изгибаются. Большинству водных растений присуща плавучесть и способность находиться в толще воды во взвешенном состоянии. Они то поднимаются к поверхности, то вновь опускаются. У многих водных животных покровы обильно

смазываются слизью, уменьшающей трение при передвижении, а тело имеет обтекаемую форму.

Гидростатический скелет медуз.

• Давление.

На разных глубинах животные испытывают различное давление. В среднем в водной толще на каждые 10 м глубины давление возрастает на 1 атм. Глубоководные приспособлены к высокому давлению (до 1000 атм.), обитатели же поверхностных слоев ему не подвержены.

Можно ли считать плоскую форму камбалы влиянием фактора давления?

• Прозрачность и световой режим.

К данным факторам наиболее чувствительны фотосинтезирующие растения. В мутных водоемах они обитают только в поверхностном слое, а там, где прозрачность воды более высока, они проникают на значительные глубины. Мутность воды создается большим количеством взвешенных в ней частиц органических и минеральных веществ и мелких организмов, которые ограничивают проникновение солнечных лучей.

Необходимо также учитывать закономерное убывание света с глубиной. При этом лучи солнечного света с разной длиной волны поглощаются неодинаково: быстрее всего поглощаются *красные*, тогда как *синие-зеленые* проникают на значительные глубины. Соответственно этому с глубиной зеленые водоросли уступают место бурым и красным, пигменты которых приспособлены к улавливанию солнечных лучей с более короткими длинами волн.

В морской среде в зависимости от освещенности можно выделить три зоны (Peres, Devez, 1963). *Эуфотическая зона* простирается от поверхности воды в среднем до 50 м глубины (крайние глубины 20 и 120 м). Освещенность в ней достаточная для нормального фотосинтеза. *Олигофотическая зона* доходит в среднем до 500 м (крайние глубины 200 и 600 м). Человеческий глаз ощущает здесь еще слабые следы света, а автотрофные растения, не развиваясь, могут лишь некоторое время существовать в этой зоне. Исключение составляют водоросли кокколитофориды, глубоководные формы которых снабжены красным светочувствительным пигментом, позволяющим им использовать наиболее глубоко проникающие синие лучи. *Афотическая зона*, или зона полной темноты, оживляемая лишь слабым светом, излучаемым немногочисленными морскими животными, начинается с глубины 500 м.

В озерах и прудах Вибер и Лаглер (Vibert, Lagler, 1961) различают: 1) *лоторальную зону*, в которую легко проникает свет и которая часто занята цветковыми растениями, прикрепленными к дну; 2) *лимнетическую зону* без корневой растительности, ограниченную уровнем компенсированного фотосинтеза, то есть уровнем, выше которого величина фотосинтеза превалирует над дыханием и еще допускает развитие фитопланктона. В мелководных прудах лимнетическая зона отсутствует; 3) *глубоководную зону*, расположенную ниже уровня компенсированного фотосинтеза. Она существует только в наиболее глубоких озерах.

• Соленость.

В водах Мирового океана содержатся почти все встречающиеся на Земле элементы. Масса минеральных веществ (в граммах), растворенных в определенном объеме воды, называется соленостью. Единицей солености является промилле (‰) (от лат. *pro mille* - за тысячу), что соответствует содержанию 1 г минеральных веществ в 1 л воды. Пресная вода имеет соленость не более 0,5 ‰.

В морях, где испарение превышает осадки и сток пресных вод с материков, соленость повышена (до 40-45‰), а там, где осадки и сток больше испарений, соленость понижена (3-5‰). В подземных водах с концентрацией солей свыше 270‰ жизнь отсутствует. Средняя соленость воды Мирового океана близка к 35‰, т. е. в 1 л воды содержится около 35 г растворенных солей, главным образом хлоридов, сульфатов и карбонатов.

С соленостью растворов связано явление осмоса.

Осмоз (от греч. *ostmos* - давление) - односторонняя диффузия растворенных в воде веществ через клеточную полупроницаемую мембрану. Мембраны клеток легко проницаемы для воды и почти не проницаемы для веществ, растворенных в клеточном соке.

Интересен механизм осморегуляции у пресноводных и морских рыб. Из-за разницы в осмотическом давлении вне и внутри тела в организм постоянно проникает вода, и гидробионты пресных вод вынуждены ее интенсивно удалять. В связи с этим у них хорошо выражены процессы осморегуляции. Концентрация солей в тканях морских организмов равна концентрации растворов солей в окружающей среде. Поэтому осморегуляторные функции у них не развиты в такой степени, как у пресноводных, и они не сумели заселить пресные водоемы.

• Кислород.

Кислород попадает в водную среду двумя путями: во-первых, поступает из атмосферы, во-вторых, образуется в результате фотосинтеза зеленых растений. Разные животные проявляют неодинаковую потребность в кислороде. С понижением температуры растворимость кислорода, как и других газов, увеличивается. Например, форель и гольян очень чувствительны к его дефициту, поэтому обитают лишь в быстро текущих, холодных и хорошо перемешиваемых водах. Плотва, ерш, карась неприхотливы в этом отношении, а личинки комаров хирономид и малощетинковые черви трубочники обитают на больших глубинах, где кислород практически отсутствует.

• Углекислый газ.

Углекислый газ растворяется в воде примерно в 35 раз лучше кислорода (при 0°C). В воде его почти в 700 раз больше, чем в атмосфере, откуда он поступает. Большая часть его присутствует в водной среде в виде карбонатов и гидрокарбонатов щелочных и щелочноземельных металлов. Углекислый газ используется водными растениями для фотосинтеза. Он принимает участие в формировании известковых скелетных образований беспозвоночных животных.

• Кислотность.

Водородный показатель pH - это величина, характеризующая кислотность среды.

Он определяется как отрицательный десятичный логарифм концентрации ионов водорода C_{H^+} в воде при 22°C, выраженный в молях на литр: $pH = - \lg C_{H^+}$

Например, при концентрации ионов водорода в воде, равной 10⁻⁵ моль/л, значение $pH = - \lg 10^{-5} = - (-5) = 5$. Значение pH воды легко определяется с помощью универсальной индикаторной бумаги.

Вода бывает кислая (pH<7), нейтральная (pH=7) и щелочная (pH>7). С глубиной кислотность воды увеличивается (pH уменьшается). Большинство пресноводных рыб

выдерживает кислотность со значением водородного показателя от 5 до 9. При $pH < 5$ наблюдается массовая гибель рыб, а если pH выше 10, погибают практически все рыбы и многие другие животные.

- **Экологическая классификация гидробионтов.**

Нектон (от греч. *nektos* - плавающий) - это совокупность активно плавающих, свободно перемещающихся организмов, не имеющих непосредственной связи с дном. Эти животные способны преодолевать большие расстояния и сильные водные течения. Для них характерна обтекаемая форма тела и хорошо развитые органы движения. Типичными нектонными организмами являются рыбы, кальмары, ластоногие, киты. В пресных водах, кроме рыб, к нектону относятся земноводные и активно перемещающиеся насекомые.

Планктон (от греч. *planktos* - блуждающий, парящий) - это совокупность организмов, обитающих в толще воды и пассивно переносимых водными течениями. Они не обладают способностью к быстрым активным перемещениям. В основном это мелкие животные - зоопланктон и растения - фитопланктон.

Планктонные организмы располагаются либо на поверхности воды, либо на глубине или даже в - совокупность свободно плавающих растений, главным образом водорослей, обитающих придонном слое.

Фитопланктон в толще воды и передвигающихся под действием водных течений (диатомовые и зеленые водоросли, растительные жгутиконосцы и др.).

Зоопланктон и бактерии встречаются на всех глубинах. В морском зоопланктоне доминируют мелкие ракообразные, простейшие, крылоногие моллюски, медузы, плавающие гребневики, сальпы, некоторые черви. В пресных водах распространены плохо плавающие сравнительно крупные ракообразные, много коловраток и простейших.

Плейстон (от греч. *plein* - плавать на корабле) - совокупность водных организмов, держащихся на поверхности воды, а также гидробионтов, часть тела которых находится в воде, а часть - над ее поверхностью (ряска малая, фезалии, сифонофоры и др.).

Нейстон (от греч. *neustos* - плавающий) - совокупность водных организмов, обитающих в зоне пленки поверхностного натяжения воды (над или под ней) (бактерии, простейшие, клопы-водомерки, жуки-вертячки, водоросли).

Бентос (от греч. *benthos* - глубина) - совокупность организмов, обитающих на дне (на грунте и в грунте) водоемов. Он подразделяется на фитобентос, зообентос и бактериобентос.

Фитобентос морей в основном включает бактерии и водоросли (диатомовые, зеленые, бурые, красные). Наиболее богаты фитобентосом скалистые и каменистые участки дна. Фитобентос пресных вод представлен бактериями, диатомовыми и зелеными водорослями.

Зообентос представлен главным образом прикрепленными или медленно передвигающимися, а также роющимися в грунте животными.

Водные организмы обладают меньшей экологической пластичностью, чем наземные, т. к. вода - более стабильная среда, и абиотические факторы ее претерпевают сравнительно незначительные колебания. Наименее пластичны морские растения и животные.

Одной из **особенностей водной среды** является наличие в ней большого количества мелких частиц органического вещества - **детрита** (от лат. *detritus* - истертый), образовавшегося за счет отмирающих растений и животных. Детрит для многих водных организмов представляет собой высококачественную пищу, поэтому некоторые из них, так называемые **биофильтраторы**, приспособлены добывать его с помощью специальных микропористых структур, процеживая воду и задерживая взвешенные в ней частицы. Такой способ питания называется **фильтрационным**. К биофильтраторам относятся двустворчатые моллюски, сидячие иглокожие, асцидии, планктонные ракообразные и др.

Другая группа животных (простейшие, губки, личинки некоторых насекомых, коловратки и др.) осаждают детрит либо на поверхность собственного тела, либо на специальные ловчие устройства. Такой способ питания называется **седиментационным**.

Животные-биофильтраторы играют большую роль в биологической очистке водоемов. Например, колония мидий, занимающая площадь 1 м^2 , пропускает через мантийную полость до 250 м^3 воды в сутки, профильтровывая ее и осаждая взвешенные частицы.

В пресных водоемах активными биофильтраторами являются перловицы, беззубки, дрейссены, дафнии и др.

Наземно-воздушная среда

Организмы, обитающие на поверхности Земли, окружены газообразной средой, характеризующейся низкой плотностью, влажностью и давлением, а также высоким содержанием кислорода. Действующие в наземно-воздушной среде экологические факторы отличаются рядом специфических особенностей: по сравнению с другими средами свет, температура и влажность значительно изменяются в зависимости от географического положения, сезона и времени суток. Воздействие почти всех этих факторов тесно связано с движением воздушных масс – ветрами.

У обитателей наземно-воздушной среды в процессе эволюции появились специфические анатомо-морфологические, физиологические, поведенческие и другие адаптации. У них сформировались приспособления, обеспечивающие непосредственное усвоение атмосферного воздуха в процессе дыхания (устьица растений, легкие и трахеи животных); сильное развитие получили скелетные образования, поддерживающие тело в условиях незначительной плотности среды (механические и опорные ткани растений, скелет животных); выработались сложные приспособления для защиты от неблагоприятных факторов (периодичность и ритмика жизненных циклов, сложное строение покровов, механизмы терморегуляции и др.); установилась более тесная связь с почвой (корни растений); выработалась большая подвижность животных в поисках пищи; появились летающие животные и переносимые воздушными течениями плоды, семена, пыльца растений.

Рассмотрим основные абиотические факторы в наземно-воздушной среде жизни.

• Температура, влажность, свет.

Избирательное отношение животных к солнечному теплу определяется их поведением. . Перелетная саранча на закате поднимается в верхнюю часть травостоя, то есть в наиболее теплую зону, а к восходу солнца спускается ближе к почве, которая нагревается быстрее. Многие виды саранчи днем располагают свое тело параллельно солнечным лучам, чтобы уменьшить облучаемую ими поверхность; благодаря этому они способны сохранять свою внутреннюю температуру на 2,5—4° ниже температуры окружающего воздуха (Chopard, 1938). Рыжий муравей *Formica rufa* затыкает на ночь входные отверстия в свое большое гнездо сосновыми иглами, что сохраняет в нем температуру между 23 и 29°, то есть на 10° выше, чем в окружающей гнездо почве. Постройки австралийского термита *Hamitermes meridionalis*, называемые «компасами», всегда ориентированы по линии север—юг, благодаря чему меньше подвергаются нагреванию солнечными лучами.

• Воздух: низкая плотность, подвижность (ветер).

Сухой воздух на высоте уровня моря состоит (по объему) из 78% азота, 21% кислорода, 0,03% углекислого газа; менее 1% приходится на инертные газы.

Кислород необходим для дыхания абсолютного большинства организмов, углекислый газ используется растениями при фотосинтезе. Перемещение воздушных масс (ветер) изменяет температуру и влажность воздуха, оказывает механическое воздействие на организмы. Ветер вызывает изменение транспирации у растений. Это особенно сильно проявляется при суховеях, часто вызывающих гибель растений. Значительную роль ветер играет в опылении **анемофилов** (от греч. *anemos* - ветер) - ветроопыляемых растений. Часто ветры определяют направление миграций таких насекомых, как луговой мотылек, пустынная саранча, малярийные комары.

• Атмосферные осадки.

Осадки в виде дождя, снега или града изменяют влажность воздуха и почвы, обеспечивают доступной влагой растения, дают питьевую воду животным.

Сильные дожди могут вызывать паводки, временно затопить ту или иную территорию. Ливни, и особенно град, нередко приводят к механическому повреждению вегетативных органов растений. Большое значение для водного режима имеют сроки выпадения дождей, их частота и продолжительность. Также важен характер дождей. При ливневых дождях почва не успевает впитать воду. Эта вода быстро стекает, и ее сильные потоки нередко сносят в реки и озера часть плодородного слоя почвы, а вместе с ней и слабо укоренившиеся растения, а иногда и мелких животных. Морозящие дожди, наоборот, хорошо увлажняют почву, однако, если они затягиваются, наступает переувлажнение.

Осадки в виде снега оказывают благоприятное влияние на организмы в зимний период времени. Являясь хорошим изолятором, снег защищает почву и растительность от промерзания (слой снега в 20 см защищает растение при температуре воздуха -25°C), а для мелких животных служит укрытием,

где они находят пищу и более подходящие температурные условия. При сильных морозах под снегом прячутся тетерева, куропатки, рябчики. Однако при многоснежных зимах наблюдается массовая гибель некоторых животных, например, косуль и диких кабанов: при мощном снежном покрове им трудно передвигаться и добывать корм.

• Влажность почв

Одним из основных источников влаги для растений является почвенная вода. По физическому состоянию, подвижности, доступности и значению для растений почвенная вода подразделяется на гравитационную, капиллярную и гигроскопическую.

Гравитационная вода может свободно просачиваться вниз сквозь почву. Это ведет к *выщелачиванию*, т. е. к вымыванию из почвы различных минеральных веществ, в том числе азота. Гравитационная вода заполняет широкие промежутки между частицами почвы и под действием силы тяжести постоянно уходит в более глубокие слои, пока не достигнет водонепроницаемого слоя. Растения легко усваивают ее, пока она находится в зоне корневой системы.

Вода может удерживаться вокруг отдельных частиц почвы в виде тонкой прочной пленки. Эту воду иногда называют **гигроскопической**. Она адсорбируется за счет водородных связей на поверхностях кварца и глины, или на катионах, связанных с глинистыми минералами и гумусом. Эта вода наименее доступна для корней растений. По мере ее накопления, вода начинает заполнять сначала узкие поры между частицами почвы, а затем распространяется во все более широкие поры. Гигроскопическая вода постепенно переходит в капиллярную.

Капиллярная (от лат. *capillaris* - волосной) вода заполняет тончайшие промежутки между частицами почвы, она также хорошо усваивается растениями. Она удерживается в капиллярах силой сцепления. Под влиянием испарения с поверхности почвы капиллярная вода образует восходящий ток, в отличие от гравитационной, которой свойственен нисходящий ток. Эти движения воды, ее расход зависят от температуры воздуха, особенностей рельефа, свойств почвы, растительного покрова, силы ветра и других факторов. И капиллярная, и гравитационная вода представляют собой так называемую доступную для растений воду.

• Экоклимат.

Каждое местообитание характеризуется определенным экологическим климатом - **экоклиматом**, т. е. климатом приземного слоя воздуха. Большое влияние на климатические факторы оказывает растительность. Под пологом леса, например, влажность воздуха всегда выше, а колебания температуры меньше, чем на полянах. Различен и световой режим этих мест. В разных растительных ассоциациях формируется свой режим влажности, температуры, света. Тогда говорят о фитоклимате.

Условия жизни, окружающие личинок насекомых, живущих под корой дерева, иные, чем на ее поверхности. При этом температура южной стороны ствола может быть на 10-15°C выше температуры его северной стороны. Такие небольшие участки местообитания имеют свой микроклимат. Особые микроклиматические условия создают не только растения, но и животные. Устойчивым микроклиматом обладают заселенные животными норы, дупла деревьев, пещеры.

Для наземно-воздушной среды так же, как и для водной, характерна четко выраженная зональность. Различают широтные и меридиональные, или долготные, природные зоны. Первые тянутся с запада на восток, вторые - с севера на юг.

Почва как среда обитания.

Почва — основа природы суши. Как произошла почва? На этот вопрос впервые ответил великий русский ученый-энциклопедист М. В. Ломоносов в 1763 году в своем знаменитом трактате «О слоях земли». Почва, писал он, не первозданная материя, а произошла она «от согнотия животных и растительных тел... долгою времени».

Основоположителем современного почвоведения является русский естествоиспытатель В. В. Докучаев (1846-1903). Научные исследования относятся к геологии, минералогии, почвоведению, географии, агрономии. В своей работе «Картография русских почв» он дал наиболее полное определение понятию «почва»:

«Это суть поверхностно лежащие минерально-органические образования, которые всегда более или менее окрашены гумусом; эти тела имеют свое собственное происхождение; они всегда и всюду являются результатом совокупной деятельности материнской горной породы, живых и отживших организмов (как растений, так и животных), климата, возраста страны и рельефа местности; почва, как и всякий другой организм всегда имеет известное строение, нормальную толщину и нормальное положение...»

Н.А. Качинский в своей книге «Почва, ее свойства и жизнь» (1975) дает следующее определение почвы: **«Под почвой надо понимать все поверхностные слои горных пород, переработанные и измененные совместным воздействием климата (свет, тепло, воздух, вода), растительных и животных организмов, а на окультуренных территориях и деятельностью человека, способные давать урожай. Та минеральная порода, на которой почва образовалась и которая как бы родила почву, называется материнской породой».**

По Г. Добровольскому (1979), **«почвой следует называть поверхностный слой земного шара, обладающий плодородием, характеризующийся органо-минеральным составом и особым, только ему присущим профильным типом строения. Почва возникла и развивается в результате совокупного воздействия на горные породы воды, воздуха, солнечной энергии, растительных и животных организмов. Свойства почвы отражают местные особенности природных условий».**

В. В. Докучаев доказал, что почва постоянно изменяется и развивается; в ее активной зоне идут различные физические, химические и биологические процессы. Ученый выделил пять основных почвообразующих факторов:

- климат;
- геологическая основа (материнская порода);
- топография (рельеф);
- живые организмы;
- время.

Влияние **климата** на почвообразование можно рассмотреть на примере процесса выветривания, заключающегося в разрушении и химическом изменении горных пород. Выделяют физические (механическое разрушение, температура и др.) и биологические (жизнедеятельность организмов) факторы выветривания.

Материнская порода.

Магматические породы (образовавшиеся непосредственно из застывшей магмы) могут быть кислыми (например, гранит) или основными (например, базальт) в зависимости от их минерального состава. При выветривании кислых пород большая часть кремния остается в виде кварца (SiO_2), который представлен зернами песка. При выветривании основных пород значительная часть кремния связывается в различные силикаты, которые в дальнейшем формируют алевроиты и глины.

Осадочные породы образуются в результате отложения продуктов выветривания других горных пород или накопления остатков живых организмов. Этот процесс иногда протекает в течение миллионов лет. К типичным осадочным породам относятся песчаники, мел и известняк.

Метаморфические породы образуются из других пород в результате их нагревания и перекристаллизации. К ним относятся, например, сланцы и мрамор.

Влияние **рельефа** обусловлено тем, что на разной высоте, при различной крутизне и экспозиции склона условия почвообразования различны. На одинаковых и разновозрастных формах рельефа образуются близкие и даже однотипные почвы.

Время имеет важное, хотя и косвенное значение для образования почвы. Скорость этого процесса в умеренном климате различна: от нескольких десятилетий (при формировании почвы на вулканическом пепле) до нескольких тысяч лет (на обнаженной поверхности скальных пород).

В почве, как правило, выделяют **три основных горизонта**, различающиеся по морфологическим и химическим свойствам: 1. *Верхний перегнойно-аккумулятивный горизонт (А)*, в котором накапливается и преобразуется органическое вещество и из которого промывными водами часть соединений выносятся вниз. 2. *Горизонт вымывания, или иллювиальный (В)*, где оседают и преобразуются вымытые сверху вещества. 3. *Материнскую породу или горизонт (С)*, материал которой преобразуется в почву. В пределах каждого горизонта выделяют более дробные слои, также сильно различающиеся по свойствам.

Основные типы почв. К основным типам почв на территории России относятся черноземы, подзолистые, дерново-подзолистые, подзолисто-болотные, болотные, серые лесостепные, пойменные, солончаки, солонцы, солоды и др.

В состав почвы входят *четыре важных структурных компонента*: минеральная основа (обычно 50 - 60% общего состава почвы), органическое вещество (до 10%), воздух (15 - 25%) и вода (25-35%). Т.О. почва – сложная трехфазная система. В которой твердые частицы окружены водой и воздухом.

Абиотические факторы почвы

Для почвы характерна более или менее рыхлая структура, определенная водопроницаемость и аэрируемость. В верхних горизонтах почвы концентрируются вещества, содержащие элементы, необходимые для питания растений, - фосфор, азот, кальций, калий и многие другие. В почвенной влаге содержатся газы, растворимые соли, питательные вещества, но иногда и токсичные для организмов соединения. Такие почвенные растворы могут быть кислыми, нейтральными или основными (щелочными).

Хорошо увлажненная почва легко прогревается и медленно остывает. На ее поверхности происходят более резкие колебания температуры, чем в глубине. При этом суточные колебания затрагивают слои до глубины в 1 м, и если учесть, что зимой температура почвы с глубиной повышается, а летом, наоборот, падает, то легко можно представить сезонные вертикальные миграции почвенных организмов, вызванные изменением условий обитания. Естественно, зимой почвенные животные находятся глубже, чем летом.

Минеральная основа (минеральный скелет) почвы — это неорганический компонент, образовавшийся из материнской породы в результате ее выветривания. Минеральные фрагменты, образующие вещество почвенного скелета, различны — от валунов и камней до песчаных крупинок и мельчайших частиц глины. Скелетный материал обычно произвольно разделяют на мелкий грунт (частицы менее 2 мм) и более крупные фрагменты. Частицы меньше 1 мкм в диаметре называют коллоидными. Механические и химические свойства почвы в основном определяются теми веществами, которые относятся к мелкому грунту.

Структура почвы определяется относительным содержанием в ней песка и глины.

Гранулометрический состав

Влажность. По физическому состоянию, подвижности, доступности и значению для растений почвенная вода подразделяется на гравитационную, гигроскопическую и капиллярную.

Гравитационная вода — подвижная вода, является основной разновидностью свободной воды, которая заполняет широкие промежутки между частицами почвы и просачивается вниз сквозь почву под действием силы тяжести, пока не достигнет грунтовых вод. Растения легко усваивают гравитационную воду, когда она находится в зоне корневой системы. С этой точки зрения для растений весьма важен полив почвы, смачивание ее водой.

Гигроскопическая вода в почве удерживается также вокруг отдельных коллоидных частиц в виде тонкой прочной связанной пленки. Она адсорбируется за счет водородных связей на поверхности глины и кварца или на катионах, связанных с глинистыми минералами и гумусом. Гигроскопическая вода высвобождается только при температуре 105-110°C и физиологически практически недоступна растениям. Количество гигроскопической воды зависит от содержания в

почве коллоидных частиц. В глинистых почвах ее содержится около 15%, в песчаных около 5% массы почвы. Она образует так называемый мертвый запас воды в почве.

По мере того, как накапливаются слои воды вокруг почвенных частиц, она начинает заполнять сначала узкие поры между этими частицами, а затем распространяется во все более широкие поры. Гигроскопическая вода постепенно переходит в *капиллярную*, удерживающуюся вокруг почвенных частиц силами поверхностного натяжения. Капиллярная вода может подниматься по узким порам и канальцам от уровня грунтовых вод, благодаря высокому поверхностному натяжению воды. Растения легко поглощают капиллярную воду, играющую наибольшую роль в регулярном снабжении их водой. Капиллярная вода в отличие от гигроскопической легко испаряется. Тонкоструктурные почвы, например, глины, удерживают больше капиллярной воды, чем грубоструктурные, такие, как пески.

Помимо перечисленных форм воды в почве содержится *парообразная влага*, занимающая все свободные от воды поры.

Различают физическую и физиологическую сухость почвы. *Физическая* связана с недостатком влаги и наблюдается в сухом климате; *физиологическая* возникает в результате физиологической недоступности физически доступной воды. На сфагновых болотах, несмотря на большое количество влаги, вода оказывается недоступной для многих растений из-за высокой кислотности почвы, ее плохой аэрации и наличия токсичных веществ, нарушающих нормальную физиологическую функцию корневой системы. В тундре низкие температуры ...

Аэрация. Газообмен почвенного воздуха с атмосферным, при котором почвенный воздух обогащается кислородом, а приземный - углекислотой, называется **аэрацией** (от греч. *aer* - воздух). На аэрацию почвы, которая возможна только благодаря ее пористости, влияет много факторов. Например, повышение влажности препятствует проникновению в почву кислорода. С глубиной количество углекислого газа в почве увеличивается, а кислорода – уменьшается. При повышении температуры воздух расширяется и выходит из почвы, а при понижении он более интенсивно проникает в промежутки между почвенными частицами.

Органическое вещество почвы играет важную роль в росте и развитии растений. Оно состоит из продуктов гумификации (аэробное разложение) и неполного разложения растительных остатков и трупов почвенных животных. Перегной, или гумус, для всех почвенных обитателей является основным источником необходимых для жизни минеральных соединений и энергии. Он обуславливает плодородие почв и их структуру. Гумус служит источником физиологически активных соединений (витамины, органические кислоты, полифенолы и др.), которые стимулируют рост растений. В целом процесс гумусообразования начинается разрушением и измельчением растительной массы и мертвого животного вещества. Этот процесс осуществляется позвоночными и беспозвоночными животными при обязательном участии грибов и бактерий. К таким животным относятся фитофаги, питающиеся только растительной пищей; сапрофаги, потребляющие гниющие остатки организмов; некрофаги, питающиеся трупами животных; хищники, поедающие живых животных; копрофаги, уничтожающие экскременты животных.

Почва обладает своеобразными биологическими особенностями, поскольку тесно связана с жизнедеятельностью организмов. Верхние слои содержат массу корней растений. В процессе роста, отмирания и разложения они разрыхляют почву, создавая определенную структуру, а вместе с тем и условия для жизни других организмов. Роющие животные перемешивают почвенную массу, а после смерти становятся источником органического вещества для микроорганизмов.

Живые организмы

Наиболее древними почвообразователями являются *микроорганизмы*. Синтез физиологически активных соединений, гумусообразование и полная минерализация органических остатков - вот главная функция микроорганизмов в почвообразовательных процессах.

В числе почвенных микроорганизмов имеются представители бактерий, грибов, растительного и животного мира. Многие одноклеточные и многоклеточные водоросли обладают пигментами типа хлорофилла и отличаются от других микроорганизмов тем, что способствуют обогащению почвы органическим веществом и кислородом. Однако наиболее многочисленны в почве *бактерии, грибы, актиномицеты* (лучистые грибы, близкие к бактериям). В почвенной микрофауне особое значение имеют *амебы и ресничные*, а также многочисленные микроскопические круглые черви - *нематоды*. Есть сведения о присутствии в почве также не клеточных форм микроорганизмов - бактериофагов (бактериальных вирусов) и вирусов.

Большую роль в процессах почвообразования играют подвижные почвенные животные. Они разрыхляют почву, создают условия для ее аэрации, механически перемещают в почве органические и минеральные вещества. Например, дождевые черви на луговых почвах за год выбрасывают на

поверхность до 80-90 т/га переработанной земли, а степные грызуны перемещают вверх и вниз сотни кубических метров грунта и органического вещества.

Количество организмов в почве огромно. Растения, животные и микроорганизмы, обитающие в почве, находятся в постоянном взаимодействии друг с другом и со средой обитания. Данные взаимоотношения сложны и многообразны. Животные и бактерии потребляют растительные углеводы, жиры и белки. Благодаря этим взаимоотношениям и в результате коренных изменений физических, химических и биохимических свойств горной породы в природе постоянно происходят почвообразовательные процессы. В среднем почва содержит 2 — 3 кг/м² живых растений и животных, или 20 — 30 т/га. При этом в умеренном климатическом поясе корни растений составляют 15 т/га, насекомые — 1 т, дождевые черви — 500 кг, нематоды — 50, ракообразные — 40, улитки, слизи — 20, змеи, грызуны — 20 кг, бактерии — 3 т, грибы — 3 т, актиномицеты — 1,5 т, простейшие — 100 кг, водоросли — 100 кг на 1 гектар.

Живой организм как среда обитания

Джонатан Свифт обратил внимание на огромную распространенность явления паразитизма:

Под микроскопом он открыл, что на блохе
Живет блоху кусающая блошка;
На блошке той — блошинка-крошка,
В блошинку же вонзает зуб сердито
Блошиночка... и так *ad infinitum*.

Английский ученый А. Е. Шитли писал, что каждая *птица* — это, по сути, настоящий летающий зоопарк. Разнообразие мельчайших существ, живущих на птицах, поистине ошеломляюще. Перья служат пищей вшам и клещам; кожей питаются некоторые мухи, блохи, вши, москиты, пиявки и другие паразиты сосут кровь птиц, находясь на поверхности тела, в то время как представители простейших разрушают красные кровяные тельца внутри организма. Практически в любых органах птицы можно обнаружить разнообразных паразитических червей.

Паразитизм — явление столь всеобщее, что единственные живые существа, не подверженные нападению паразитов, это те паразиты, которые представляют собой последнее звено длинной цепи питания.

Однако чем ниже на эволюционной лестнице находится та или иная группа живых организмов, тем больше она включает видов паразитов. Некоторые группы низших животных, особенно это касается плоских червей, нематод и некоторых членистоногих, состоят исключительно из паразитических форм. У позвоночных паразитизм как способ существования встречается крайне редко. В царстве растений паразиты широко распространены среди грибов.

Несколько паразитирующих видов есть и среди высших цветковых растений, таких, как *омела*, *повилика* и других. Классический пример — виды рода *Rafflesia*, у которых вегетативное тело — это нити, напоминающие гифы гриба, погруженные в ткани питающего растения. Снаружи развиваются лишь огромные (до 1 м в диаметре) цветки.

Для животных и растений, ведущих паразитический образ жизни, организм, на котором или в котором они поселяются (хозяин), является специфической средой обитания. Большая часть паразитов практически полностью утратила связь с внешним миром, и все стадии их развития происходят в организме хозяев, например, *малярийный плазмодий* и др.

Между паразитами и хозяевами в процессе эволюции возникли сложные взаимоотношения. Различные их оттенки отражают **пути возникновения паразитизма**.

Первый путь — это простое «квартирантство».

Нередко более мелкий организм поселяется в жилище более крупного или вблизи него и со временем переходит на тело хозяина, а затем и внутрь, переключаясь на питание за счет его жизни или соков и таким образом причиняя ему вред. Квартирант может превратиться в конечном итоге в паразита, а тело хозяина становится для него средой обитания.

Второй путь перехода к паразитизму — *через хищничество*. Так, хищник при нападении на крупную добычу, которую не может уничтожить и съесть сразу, при

определенных условиях проникнув внутрь тела хозяина и найдя там благоприятную среду — обилие пищи, может превратиться в паразита. Организм хозяина для паразита становится средой обитания.

Третий путь — *случайное проникновение* будущего паразита в организм хозяина. Например, крупные животные могут заглатывать с пищей мелкие формы, некоторые из них не погибают, а, приспособиваясь к новым условиям, превращаются в паразитов.

В природе сохранилось немало примеров этих трех путей перехода от квартиранства, хищничества и случайного паразитирования к подлинному паразитизму. Вместе с тем сегодня трудно сказать, когда на Земле появился первый паразит, от какой группы животных или растений он произошел.

Классификация паразитов и паразитизма. Пространственное отношение паразитов к хозяевам: эктопаразитизм, эндопаразитизм, кровепаразитизм. Обязательный, факультативный и ложный паразитизм. Временный паразитизм. Стационарный паразитизм: периодический и постоянный.

По степени специфичности паразитов делят на строго специфичных, развивающихся у ограниченного круга хозяев (бычий цепень способен развиваться только у человека), и способных паразитировать у широкого круга хозяев (фасциолы встречаются у многих домашних и диких животных).

По месту обитания

Паразитов обычно делят на две группы: *эктопаразитов* и *эндопаразитов*.

Эктопаразиты — это наружные паразиты, обитающие на поверхности тела хозяина (*клещи, пиявки, блохи*), выступающего в этом случае как часть внешней среды паразита, снабжая его пищей, предоставляя убежище, трансформируя микроклимат. У растений-эктопаразитов большая часть тела находится вне хозяина, а в него внедряются и вступают в контакт с живыми клетками лишь органы чужеродного питания — присоски или гаустории (*повилика европейская* — *Cuscuta europaea* и др.).

Связь с хозяином эктопаразита может быть постоянной или временной. Одна из основных жизненно важных экологических задач для постоянных или длительно связанных эктопаразитов с хозяином — удержаться на теле хозяина. Типичные эктопаразиты в связи с этим обычно характеризуются наличием мощных органов прикрепления — присосок, крючьев, коготков и т. д., которые независимыми путями развиваются у самых разных по происхождению видов.

Эндопаразиты — внутренние паразиты, живущие внутри тела хозяина. Это большинство *гельминтов, бактерий, вирусы, паразитические простейшие*. У растений-эндопаразитов почти все тело помещается внутри тканей хозяина, наружу выходят лишь органы размножения (виды рода *Rafflesia*). У многих паразитических *грибов* тело находится в межклетниках высшего растения, а в клетки внедряются гаустории. Паразитические *низшие грибы* и *бактерии* живут внутри клеток растения-хозяина.

Специфические факторы среды «живой организм»

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

1. Обилие пищи

2. Защищенность от непосредственного воздействия факторов внешней среды.
3. Относительная стабильность условий
4. Критический период при выходе во внешнюю среду
5. Трудность распространения
6. Ограниченность жизненного пространства
7. Сложности снабжения кислородом,
8. Защитные реакции организма хозяина

Сверхпаразитизм

В ряде случаев паразиты сами становятся средой обитания других видов — возникает явление *сверхпаразитизма*, или гиперпаразитизма. Например, для паразита капустной белянки наездника (*Apanteles glomeratus*) известно более 20 видов вторичных паразитов из перепончатокрылых. Явления сверхпаразитизма в растительном мире сравнительно редки. К ним относятся случаи поселения одного вида *омелы* (*Viscum meniliforme*) на другом (*V. orientale*) в тропических лесах Индии.

Отношения между паразитом и хозяином в растительном и животном мире на популяционном и видовом уровнях определенным образом уравновешены. Очевидно, паразит не может размножаться до такой степени, чтобы привести к вымиранию популяции хозяина и лишиться себя «кормовой базы». Регулятором равновесия служит относительно медленное воздействие на хозяина некоторых паразитов, таких, как грибы, вызывающие ржавчину, головню, мучнистую росу на зерновых культурах, а иногда даже наблюдается некоторая биохимическая стимуляция роста хозяина со стороны паразита. Следовательно, паразиты, так же, как и свободноживущие виды, имеют сложную систему приспособлений к своей среде обитания. Их строение и организация отражают специфику этой среды. Развиваются сходные типы приспособлений у представителей разных групп, ведущих паразитический образ жизни.

Евгений Никанорович Павловский (1884-1965). Известный русский ученый, внесший большой вклад в развитие отечественной паразитологии. Им обоснованы: теория об организме хозяина как среде обитания паразита и теория паразитоценозов, создано учение о природной очаговости болезней человека.

Клещевой энцефалит — заболевание, поражающее центральную нервную систему человека. Оно вызывается вирусом, переносчики и хранители вируса — иксодовые клещи. Излюбленные места обитания клещей — южная часть таежных лесов на всем протяжении европейской и азиатской частей России.

Раздел 3. Популяционная экология

Популяция, ее основные характеристики. Динамика популяций.

Вид - совокупность особей, сходным по морфологическим, анатомическим, биохимическим, физиологическим признакам, происходящих от общего предка, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство, занимающих определенный ареал.

Популяция - это группа особей одного вида, находящихся во взаимодействии между собой, занимающих определенную территорию.

Основными параметрами популяции являются ее численность и плотность. Численность популяции — это общее количество особей на данной территории или в данном объеме. Численность никогда не бывает постоянной и зависит от соотношения интенсивности размножения (плодовитости) и смертности. Процесс размножения ведет к росту, а смертность приводит к сокращению численности.

Многие виды животных нормально развиваются только тогда, когда объединяются в большие группы. Например, бакланы могут существовать в колонии, которая насчитывает не менее 10 тысяч особей и где на 1 м² приходится как минимум 3 гнезда. Для выживания африканских слонов в стаде должно быть по меньшей мере 25 особей, а наиболее продуктивные стада северных оленей включают 300 — 400 особей. Жизнь животных группами облегчает им поиск и добывание корма, защиту от врагов. Волки, объединенные в стаю, нападают на крупных животных, тогда как одиночные особи этого сделать не в состоянии. Пеликаны интенсивнее добывают рыбу сообща, стаями, загоняя ее на мелководье.

Плотность популяции — количество особей либо биомассы на единице площади или объема. Плотность популяции также изменчива и зависит от численности. При возрастании численности плотность не увеличивается лишь в том случае, если возможно расселение популяции, расширение ее ареала.

Несмотря на изменчивость, численность популяции колеблется не беспредельно, т. к. популяция обладает способностью к саморегуляции. Для популяции каждого вида всегда имеются верхние и нижние пределы плотности, за которые она выходить не может. При благоприятном сочетании всех условий плотность популяции удерживается на каком-то оптимальном уровне, незначительно отклоняясь от него в ту или другую сторону. Падение плотности ниже оптимальной приводит к ослаблению защитных реакций популяции, снижает ее плодовитость и вызывает ряд других отрицательных явлений. Повышение плотности сверх оптимальной также неблагоприятно сказывается на популяции, поскольку при этом иссякает кормовая база, сокращается жизненное пространство. Различают непериодические (редко наблюдаемые) и периодические (постоянные) колебания численности естественных популяций.

Элиминация — гибель особей или исчезновение любых систематических категорий (видов, родов и т.п.) в процессе борьбы за существование.

Численность и плотность популяции зависят также от ее смертности.

Смертность популяции — это количество особей, погибших за определенный период. Широко распространен графический способ представления смертности с помощью «кривых выживания», по оси абсцисс откладывают возраст, по оси ординат

— число выживших из 100 или 1000 особей. Смертность, как и плодовитость, изменяется в зависимости от условий среды, возраста и состояния популяции. У большинства видов смертность в раннем возрасте всегда выше, чем у взрослых особей. У многих рыб до взрослой фазы доживает 1 — 2 % от числа выметанной икры, у насекомых — не более 0,5 % от числа отложенных яиц.

Различают три типа смертности. **К первому** относится смертность, одинаковая во всех возрастах. Такая смертность встречается очень редко и только у популяций, постоянно находящихся в оптимальных условиях.

Второй тип смертности отличается повышенной гибелью особей на ранних стадиях развития и свойствен большинству растений и животных. Максимальная гибель многих растений происходит в стадии прорастания семян и всходов, а животных — в личиночной фазе или в молодом возрасте.

Третий тип смертности характеризуется повышенной гибелью взрослых, главным образом старых особей. Наблюдается он у насекомых, личинки которых обитают в почве, воде, древесине или в других местах с благоприятными условиями, а также у проходных рыб, которые нерестятся один раз в жизни.

Структура популяции (половозрастная, пространственная, этологическая).

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

Половая структура популяции — соотношение в ней особей разного пола. У многих организмов соотношение полов определяется различием хромосомных наборов мужских и женских особей. Такое двухфакторное хромосомное определение пола обеспечивает равную численность полов. Но у некоторых растений и животных наблюдается не двухфакторное, а трех- и более факторное генетическое определение пола. Это приводит к тому, что в определенных условиях наряду с нормальными появляются и такие женские особи, которые приносят только самок или (реже) только самцов. В результате через какое-то время соотношение полов в популяции может отклониться от 1:1. Так возникают партеногенетические (состоящие только из самок) популяции у многих видов насекомых.

В ряде случаев соотношение полов определяется не генетическими, а физиологическими, гормональными факторами, действующими после оплодотворения. Наконец, известны примеры, когда изменение экологических условий по-разному влияет на самцов и самок. Это приводит к колебаниям их соотношения от года к году и к тому, что в разных популяциях одного вида соотношение самцов и самок может оказаться различным.

Возрастная структура популяции - соотношение в составе популяции особей разного возраста, представляющих один или разные приплоды одного или нескольких поколений. Поколение может состоять из особей одного приплода и из особей разных приплодов (например у мелких млекопитающих). Но и приплод может состоять из особей разных поколений: упавший с 1000-летнего дуба желудь прорастет, и через 20 лет пыльца молодого дубка может опылить цветы родительского дерева, которое на 50 поколений старше.

Возрастная структура популяции отражает интенсивность размножения, уровень смертности, скорость смены поколений.

Раздел 4. Экосистемы, их структура и функционирование

Понятие об экосистемах

Живые организмы и их неживое (абиотическое) окружение неразделимо связаны друг с другом, находятся в постоянном взаимодействии. Любая единица (биосистема), включающая все совместно функционирующие организмы (биотическое сообщество) на данном участке и взаимодействующая с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенные структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями, представляет собой экологическую систему. Экологическая система, или экосистема – основная функциональная единица в экологии, так как в нее входят организмы и неживая среда-компоненты, взаимно влияющие на свойства друг друга и необходимые условия для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на Земле. Термин «экосистема» впервые был предложен в 1935 году английским экологом А. Тенсли. Само же представление об экосистеме возникло значительно раньше. Упоминание о единстве организмов и среды можно найти в самых древних письменных памятниках истории. Однако только в конце XIX столетия стали появляться высказывания такого рода, при этом практически одновременно в американской, европейской и русской литературе (К. Мебиус, 1877, С. Форбс, 1877, В. Докучаев, 1886 и др.).

В настоящее время широкое распространение получило следующее определение экосистемы. Экосистема – это любая совокупность организмов и неорганических компонентов, в которой может осуществляться круговорот веществ. По Н. Ф. Реймерсу (1990), экосистема – это любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами. Следует подчеркнуть, что совокупность специфического физико-химического окружения (биотопа) с сообществом живых организмов (биоценозом) и образует экосистему. А. Тенсли (1935) предложил следующее соотношение:

$$\text{Экосистема} = \text{Биотоп} + \text{Биоценоз}$$

В отечественной литературе широко применяется термин «биогеоценоз», предложенный в 1940 году В. Н. Сукачевым. По его определению, биогеоценоз – «это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействий этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутренне противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении, развитии». Существует мнение, будто содержание «биогеоценоз» в значительно большей степени отражает структурные характеристики изучаемой макросистемы, тогда как в понятие «экосистема» вкладывается прежде всего ее функциональная сущность. Фактически же между этими терминами различий нет.

Классификация экосистем

Существующие на Земле экосистемы разнообразны. Выделяют микроэкосистемы (например, ствол гниющего дерева), мезоэкосистемы (лес, пруд и т.д.),

макроэкосистемы (континент, океан и др.) и глобальную – биосфера. Крупные наземные экосистемы называются биомами.

Зональность макроэкосистем

Экосистемы не разбросаны в беспорядке, наоборот, сгруппированы в достаточно регулярных зонах, как по горизонтали (по широте), так и по вертикали (по высоте). Это подтверждается периодическим законом географической зональности А. А. Григорьева – М. И. Будыко: со сменой физико-географических поясов Земли аналогичные ландшафтные зоны и их некоторые общие свойства периодически повторяются.

Два абиотических фактора-температура и количество осадков – определяют размещение по земной поверхности основных наземных биомов. Режим температуры и осадков на некоторой территории в течение достаточно долгого периода времени и есть то, что мы называем климатом. Климат в разных районах земного шара неодинаков.

Специфика климатических условий в свою очередь определяет развитие того или иного биома.

От экватора к полюсам видна определенная симметрия в распределении биомов различных полушарий:

1. Дождевые тропические леса

Климат – без смены сезонов (близость к экватору), температура – среднегодовая выше 17°C (обычно 28°C), осадки – среднегодовое количество превышает 2400 мм.

Растительность: господствуют леса. Насчитываются сотни видов деревьев высотой до 60 м. На их стволах и ветвях – растения-эпифиты, корни которых не достигают почвы, и деревянистые лианы, укореняющиеся в почве и взбирающиеся по деревьям до их вершин. Все это образует густой полог.

Животный мир: видовой состав богаче, чем во всех других биомах вместе взятых. Особенно многочисленны земноводные, пресмыкающиеся и птицы (лягушки, ящерицы, змеи, попугаи), обезьяны и другие мелкие млекопитающие, экзотические насекомые с яркой окраской, в водоемах – ярко окрашенные рыбы.

2. Саванны (субэкваториальная Африка, Южная Америка, значительная часть южной Индии). Климат – сухой и жаркий большую часть года. Обильные дожди в течение влажного сезона. Температура: среднегодовая – высокая. Осадки – 750-1650 мм/год, главным образом во время сезона дождей. Растительность – мятликовые (злаковые) растения с редкими листопадными деревьями. Животный мир: крупные растительноядные млекопитающие, такие, как антилопы, зебры, жирафы, носороги, из хищников – львы, леопарды, гепарды.

3. Пустыни (некоторые районы Африки, например Сахара; Ближнего Востока и Центральной Азии, Большой Бассейн и юго-запад США и север Мексики и др.). Климат – очень сухой. Температура – жаркие дни и холодные ночи. Осадки – менее 250 мм/год. Растительность: редкостойный кустарник, нередко колючий, иногда – кактусы и низкие травы, быстро покрывающие землю цветущим ковром после редких дождей. Корневые системы у растений обширные поверхностные, перехватывающие влагу редких осадков, а также стержневые корни, проникающие в землю до уровня грунтовых вод (30 м и глубже). Животный мир: разнообразные грызуны (кенгуровая крыса и др.), жабы, ящерицы, змеи и другие пресмыкающиеся, совы, орлы, грифы, мелкие птицы и насекомые в большом количестве.

4. Степи (центр Северной Америки, Россия, отдельные районы Африки и Австралии, юго-восток Южной Америки). Климат – сезонный. Температура – летние от умеренного теплого до жаркого, зимние температуры ниже 0°C. Осадки – 750- 2000 мм/год. Растительность: господствуют мятликовые (злаковые) высотой до 2 м и выше в некоторых прериях Северной Америки или до 50 см, например, в степях России, с отдельными деревьями и кустарниками на влажных участках. Животный мир: крупные растительноядные млекопитающие – бизоны, вилорогие антилопы (Северная Америка), дикие лошади (Евразия), кенгуру (Австралия), жирафы, зебры, белые носороги, антилопы (Африка); из хищников – койоты, львы, леопарды, гепарды, гиены, разнообразные птицы и мелкие роющие млекопитающие, такие, как кролик, суслик, трубкал.

5. Леса умеренного пояса (Западная Европа, Восточная Азия, восток США). Климат – сезонный с зимними температурами ниже 0°C. Осадки – 750-2000 мм/год. Растительность: господствуют леса из широколиственных листопадных пород деревьев высотой до 35-45 м (дуб, гикори, клен), кустарниковый подлесок, мхи, лишайники. Животный мир: млекопитающие (белохвостый олень, дикобраз, енот, опоссум, белка, кролик, землеройки), птицы (славки, дятлы, дрозды, совы, соколы), змеи, лягушки, саламандры, рыбы (форель, окунь, сом и др.), обильная почвенная микрофауна. Биота адаптирована к сезонному климату: спячка, миграции, состояние покоя в зимние месяцы.

6. Хвойные леса, тайга (северные районы Северной Америки, Европы и Азии). Климат – долгая и холодная зима, много осадков выпадает в виде снега. Растительность: господствуют вечнозеленые хвойные леса, большей частью еловые, сосновые, пихтовые. Животный мир: крупные травоядные копытные (олень-муд, северный олень), мелкие растительноядные млекопитающие (заяц-беляк, белка, грызуны), волк, рысь, лисица, черный медведь, гризли, россоха, норка и другие хищники, многочисленные кровососущие насекомые во время короткого лета. Множество болот и озер. Толстая лесная подстилка.

7. Тундра (в северном полушарии к северу от тайги). Климат – очень холодный с полярным днем и полярной ночью. Температура – среднегодовая ниже – 5°C. За несколько недель короткого лета земля оттаивает не более одного метра в глубину. Осадки – менее 250 мм/год. Растительность господствуют медленно растущие лишайники, мхи, злаки и осоки, карликовые. Животный мир: крупные травоядные копытные (северный олень, мускусный бык), мелкие роющие млекопитающие (круглогодично, например, лемминги), хищники, приобретающие зимой маскирующую белую окраску (песец, рысь, горностай, полярная сова). В тундре коротким летом гнездится большое число перелетных птиц, среди них особенно много водоплавающих, которые питаются имеющимися здесь в изобилии насекомыми и пресноводными беспозвоночными.

Вертикальная зональность экосистем суши, особенно в местах с резко выраженным рельефом, также весьма четкая. Высотная ярусность сообществ живых организмов во многих отношениях сходна с широтным распределением крупных биомов.

Структура экосистем

Как уже было отмечено ранее, в каждой экосистеме два основных компонента: организмы и факторы окружающей их неживой среды. Совокупность организмов

(растений, животных, микробов) называют биотой экосистемы. Пути взаимодействия разных категорий организмов – это ее биотическая структура.

С точки зрения трофической структуры (от греч. *trophē* – питание), экосистему можно разделить на два яруса:

1. Верхний – автотрофный (самостоятельно питающийся) ярус, или «зеленый пояс», включающий растения или их части, содержащие хлорофилл, где преобладают фиксация энергии света, использование простых неорганических соединений.
2. Нижний – гетеротрофный (питаемый другими) ярус, или «коричневый пояс» почв и осадков, разлагающихся веществ, корней и т.д., в котором преобладают использование, трансформация и разложение сложных соединений.

С биологической точки зрения, в составе экосистемы выделяют следующие компоненты:

1. неорганические вещества (C, N, CO₂, H₂O и др.), включающиеся в круговороты;
2. органические соединения (белки, углеводы, липиды, гумусовые вещества и т.д.), связывающие биотическую и абиотические части;
3. воздушную, водную и субстратную среду, включающую климатический режим и другие физические факторы;
4. продуцентов, автотрофных организмов (зеленые растения, сине-зеленые водоросли, фото- и хемосинтезирующие бактерии), производящих пищу из простых неорганических веществ;
5. консументов, или фаготрофов (от греч. *phagos* – пожиратель), – гетеротрофных организмов, главным образом животных, питающихся другими организмами или частицами органического вещества;
6. редуцентов и детритофагов – гетеротрофных организмов, в основном бактерий и грибов, получающих энергию либо Путем разложения мертвых тканей, либо путем поглощения растворенного органического вещества, выделяющегося самопроизвольно или извлеченного сапрофитами из растений и других организмов.

В экосистеме пищевые и энергетические связи между категориями всегда однозначны и идут в направлении:

автотрофы → гетеротрофы

или в более полном виде:

продуценты (автотрофы) → консументы → редуценты (деструкторы).

Организмы, участвующие в различных процессах круговорота, частично разделены в пространстве.

В целом же три живых компонента экосистем (продуценты, консументы и редуценты) можно рассматривать как три функциональных царства природы, так как их разделение основано на типе питания и используемом источнике энергии.

Экосистема. Поток энергии в экосистемах

Первоисточником энергии для экосистем служит Солнце. Поток энергии (по Т.А. Акимовой, В.В. Хаскину, 1994), посылаемый солнцем к планете Земля, превышает 20 млн. ЭДж в год. Из-за шарообразности земли к границе всей атмосферы подходит только четверть этого потока. Из нее около 70% отражается, поглощается атмосферой, излучается в виде длинноволнового инфракрасного излучения.

Большая часть солнечной энергии, достигающей поверхности планеты, превращается непосредственно в тепло, нагревая воду или почву, от которых в свою очередь нагревается воздух. Это тепло служит движущей силой круговорота воды, воздушных потоков и океанических течений, определяющих погоду, постепенно отдается в космическое пространство, где и теряется.

Отсюда следует один из основных принципов функционирования экосистем: они существуют за счет не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, количество которой относительно постоянно и избыточно.

«Любая единица (биосистема), включающая все совместно функционирующие организмы (биотическое сообщество) на данном участке и взаимодействующая с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенные биотические структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями, представляет собой **экологическую систему**, или **экосистему**» (Ю. Одум, 1986).

Главным предметом исследования при экосистемном подходе в экологии, становятся процессы трансформации вещества и энергии между биотой и физической средой, т. е. возникающий биогеохимический круговорот веществ в экосистеме в целом. Это позволяет дать обобщенную интегрированную оценку результатов жизнедеятельности сразу многих отдельных организмов многих видов, так как по биогеохимическим функциям, т. е. по характеру осуществляемых в природе процессов превращения вещества и энергии, организмы более однообразны, чем по своим морфологическим признакам и строению. Например, все высшие растения потребляют одни и те же вещества, все они используют свет и, благодаря фотосинтезу, образуют близкие по составу органические вещества и выделяют кислород.

Поддержание жизнедеятельности организмов и круговорот вещества в экосистемах, т. е. существование экосистем, зависит от постоянного притока энергии, необходимой всем организмам для их жизнедеятельности и самовоспроизведения.

В отличие от веществ, непрерывно циркулирующих по разным блокам экосистемы, которые всегда могут повторно использоваться, входить в круговорот, энергия может быть использована только раз, т. е. имеет место линейный поток энергии через экосистему.

Односторонний приток энергии как универсальное явление природы происходит в результате действия законов термодинамики. *Первый закон* гласит, что энергия может превращаться из одной формы (например, света) в другую (например, потенциальную энергию пищи), но не может быть создана или уничтожена. *Второй закон* утверждает, что не может быть ни одного процесса, связанного с превращением энергии, без потерь некоторой ее части. Определенное количество энергии в таких превращениях рассеивается в недоступную тепловую энергию, а следовательно, теряется. Отсюда не может быть превращений, к примеру, пищевых веществ в вещество, из которого состоит тело организма, идущих со 100-процентной эффективностью.

Таким образом, живые организмы являются преобразователями энергии.

Биосфера, ее структура.

Биосфера - глобальная экологическая система планеты, включающая в себя все живые организмы вместе со средой их обитания.

Биосфера представляет собой совокупность частей земных оболочек, которая заселена живыми организмами, находится под их влиянием и занята продуктами их жизнедеятельности.

В 20-е годы XX-го столетия учение о биосфере было развито и преобразовано выдающимся естествоиспытателем академиком В.И. Вернадским. Он впервые подчеркнул исключительную роль живых организмов в образовании биосферы. По его определению, биосфера - структурная оболочка Земли, созданная самой жизнью, где не только живут, но которая преобразована живыми организмами и связана с их жизнедеятельностью. Таким образом, биосфера - это и среда жизни, и результат жизнедеятельности организмов.

Размеры биосферы. По учению В.И. Вернадского, биосфера - это область нашей планеты, в которой существует или когда-либо существовала жизнь и которая постоянно подвергается воздействию живых организмов. Поэтому биосфера представляет собой область существования не только современных экосистем, но и включает области, где находятся вещества, возникшие в результате жизнедеятельности живых организмов. Такие вещества называют биогенными. Почти весь кислород атмосферы имеет биогенное происхождение. Биогенными являются также многие полезные ископаемые (нефть, уголь, газ и др.).

Благодаря такому подходу В.И. Вернадский существенно расширил границы биосферы, включив в нее всю гидросферу (глубиной до 11 км), нижние слои атмосферы (до озонового слоя, высотой 25-35 км), где сосредоточен практически весь кислород, и часть литосферы до глубины залегания полезных ископаемых биогенного происхождения (8-10 м, реже 3 км).

Структура биосферы. Биосфера имеет иерархическую структуру. Традиционно в структуре биосферы выделяют атмосферу, гидросферу и литосферу. Атмосфера делится на слои в зависимости от температуры воздуха: ниже 0°C - альтобиосфера, выше 0 °C - тропобиосфера. Гидросфера включает в себя океанобиосферу и аквабиосферу, т.е. солоно- и пресноводную среду, и также делится на слои в зависимости от освещенности: фото-, дисфото- и афотосферы. Гео(био)сфера состоит из террабиосферы (твёрдо-водной среды) и литобиосферы (твёрдо-воздушной среды). Выделенные подсферы включают экосистемы различного иерархического уровня.

Состав биосферы включает 7 типов вещества:

- ✓ живое вещество;
- ✓ биогенное вещество;
- ✓ косное вещество;
- ✓ биокосное вещество;
- ✓ вещество в радиоактивном распаде;
- ✓ вещество рассеянных атомов, не связанных химическими реакциями;
- ✓ вещество космического происхождения.

Живое вещество совокупность организмов на планете (растительный и животный мир, микроорганизмы).

Биогенное вещество - совокупность веществ, возникших в результате жизнедеятельности организмов (торф, нефть, мел, природный газ и др.).

Косное вещество - совокупность веществ, в образовании которых живые организмы не участвуют, т.е. горные породы магматического, неорганического происхождения, вода,

Биокосное вещество - продукты распада и переработки горных и осадочных пород живыми организмами (почва, природные воды).

Функции живого вещества

Энергетическая функция. Благодаря способности трансформировать солнечную энергию в энергию химических связей, растения и другие организмы выполняют ряд фундаментальных биологических функций планетарного масштаба.

Газовая функция. Живые существа постоянно обмениваются кислородом и углекислым газом с окружающей средой в процессах фотосинтеза и дыхания. Растения сыграли решающую роль в формировании состава современной атмосферы. Они строго контролируют концентрации кислорода и углекислого газа, оптимальные для современной биоты.

Концентрационная функция. В процессе эволюции организмы научились извлекать из разбавленного водного раствора и других компонентов природной среды необходимые для них вещества, многократно увеличивая их концентрацию в своем теле. Таким образом, пропуская через свое тело большие объемы воздуха и природных растворов, живые организмы осуществляют биогенную миграцию и концентрирование химических элементов и их соединений.

Окислительно-восстановительная функция. Многие вещества в природе крайне устойчивы и не подвергаются окислению при обычных условиях. Живые клетки обладают настолько эффективным катализатором - ферментами, что способны осуществлять многие окислительно-восстановительные реакции в миллионы раз быстрее, чем это может происходить в абиотической среде. Благодаря этому живые организмы существенно ускоряют процессы миграции химических элементов в биосфере.

Информационная функция. С появлением первых живых существ на планете появилась и активная ("живая") информация, отличающаяся от той "мертвой" информации, которая является простым отражением структуры. Организмы оказались способными к получению информации путем соединения потока энергии с активной молекулярной структурой, играющей роль программы. Способность воспринимать, хранить и передавать молекулярную информацию совершила опережающую эволюцию в природе и стала важнейшим экологическим системообразующим фактором.

Деструктивная функция. Эта функция состоит в разложении, минерализации мертвого органического вещества, химическом разложении горных пород, вовлечении образовавшихся минералов в биотический круговорот, т.е. обуславливает превращение живого вещества в косное. В результате образуются также биогенное и биокосное вещество биосферы. Особо следует сказать о химическом разложении горных пород. «Мы не имеем на Земле более могучего дробителя материи, чем живое

вещество», — писал Вернадский. Пионеры жизни на скалах — бактерии, синезеленые водоросли, грибы и лишайники — оказывают на горные породы сильнейшее химическое воздействие растворами целого комплекса кислот — угольной, азотной, серной и разнообразных органических. Разлагая с их помощью те или иные минералы, организмы избирательно извлекают и включают в биотический круговорот важнейшие питательные элементы — кальций, калий, натрий, фосфор, кремний, микроэлементы.

Перечисленные функции живого вещества образуют мощную средообразующую функцию биосферы. Деятельность живых организмов обусловила современный состав атмосферы. Растительный покров существенно определяет водный баланс, распределение влаги и климатические особенности больших пространств. Живые организмы играют ведущую роль в самоочищении воздушной и водной сред. Благодаря растениям, животным и микроорганизмам создается почва и поддерживается ее плодородие. Таким образом, биота биосферы формирует и контролирует состояние окружающей среды.

Круговороты веществ в биосфере

Солнечная энергия на Земле вызывает *два круговорота веществ*: **большой**, или **геологический**, наиболее ярко проявляющийся в круговороте воды и циркуляции атмосферы, и **малый, биологический** (биотический), развивающийся на основе большого и состоящий в непрерывном, циклическом, но неравномерном во времени и пространстве, и сопровождающийся более или менее значительными потерями закономерного перераспределения вещества, энергии и информации в пределах экологических систем различного уровня организации.

Оба круговорота взаимно связаны и представляют как бы единый процесс. Подсчитано, что весь *кислород*, содержащийся в атмосфере, оборачивается через организмы (связывается при дыхании и высвобождается при фотосинтезе) за 2000 лет, *углекислота* атмосферы совершает круговорот в обратном направлении за 300 лет, а все *воды* на Земле разлагаются и воссоздаются путем фотосинтеза и дыхания за 2 000 000 лет.

Обмен химических элементов между живыми организмами и неорганической средой, различные стадии которого происходят внутри экосистемы, называют **биогеохимическим круговоротом, или биогеохимическим циклом**.

Существование подобных круговоротов создает возможность для саморегуляции (гомеостаза) системы, что придает экосистеме устойчивость: удивительное постоянство процентного содержания различных элементов. Здесь действует принцип функционирования экосистем — получение ресурсов и избавление от отходов происходят в рамках круговорота всех элементов.

Основные биохимические круговороты.

Круговорот воды.

Самый значительный по переносимым массам и по затратам энергии круговорот на Земле — это планетарный гидрологический цикл — круговорот воды.

Каждую секунду в него вовлекается 16,5 млн м³ воды и тратится на это более 40 млрд МВт солнечной энергии (Т.А. Акимов, В.В. Хаскин, 1994). Но данный круговорот — это не только перенос водных масс. Это фазовые превращения, образование растворов и взвесей, выпадение осадков, кристаллизация, процессы фотосинтеза, а также разнообразные химические реакции. В этой среде возникла и продолжается жизнь. Вода — основной элемент, необходимый для жизни. Количественно это самая распространенная неорганическая составляющая живой материи. У человека вода составляет 63% массы тела, грибов — 80%, растений — 80—90%, а у некоторых медуз — 98%.

Вода, как мы увидим несколько позднее, участвующая в биологическом круговороте и служащая источником водорода и кислорода, составляет лишь небольшую часть своего общего объема.

В жидком, твердом и парообразном состояниях вода присутствует во всех трех главных составных частях биосферы: атмосфере, гидросфере, литосфере. Все воды объединяются общим понятием «гидросферы». Составные части гидросферы связаны между собой постоянным обменом и взаимодействием. Вода, непрерывно переходя из одного состояния в другое, совершает малый и большой круговороты. Испарение воды с поверхности океана, конденсация водяного пара в атмосфере и выпадение осадков на поверхность океана образует *малый круговорот*. Когда водяной пар переносится воздушными течениями на сушу, круговорот становится значительно сложнее. При этом часть осадков испаряется и поступает обратно в атмосферу, другая — питает реки и водоемы, но в итоге вновь возвращается в океан речными и подземными стоками, завершая тем самым *большой круговорот*.

Над океанами выпадает 7/9 общего количества осадков, а над континентами 2/9. Замкнутая, бессточная часть суши в 3,5 раза беднее осадками, чем периферийная часть суши. Вода, выпавшая на сушу, в процессе фильтрации через почву обогащается минеральными и органическими веществами, образуя подземные воды. Вместе с поверхностными стоками она поступает в реки, а затем в океаны. Поступление воды в Мировой океан (осадки, приток речных вод) и испарение с его поверхности составляет 1260 мм в год.

Несмотря на относительно малую толщину слоя водяного пара в атмосфере (0,03 м), именно атмосферная влага играет основную роль в циркуляции воды и ее биогеохимическом круговороте. В целом для всего земного шара существует один источник притока воды — атмосферные осадки и один источник расхода — испарение, составляющее 1030 мм в год. В жизнедеятельности растений огромная роль воды принадлежит осуществлению процессов *фотосинтеза* (важнейшее звено биологического круговорота) и *транспирации*. Подсчитано, что 1 га елового леса на влажной почве за год транспирирует около 4000 м³ воды, что эквивалентно 378 мм осадков. Суммарное испарение, или масса воды, испаряемой древесной или травянистой растительностью, испарившейся с поверхности почвы, играет важную роль в круговороте воды на континентах. Грунтовые воды, проникая сквозь ткани растений в процессе транспирации, приносят минеральные соли, необходимые для жизнедеятельности самих растений.

Данные по круговороту воды на земном шаре позволяют вычислить активность водообмена в различных частях гидросферы (табл. 12.2).

Таблица 12.2

Активность водообмена в гидросфере (по М. И. Львовичу, 1986)

Часть гидросферы	Объем (с округлением), тыс. км ³	Активность водообмена, число лет
Океан	1370000	3000
Подземные воды	60000	5000
В т. ч. зоны активного водообмена	4000	300
Полярные ледники	24000	8000
Поверхностные воды суши	280	7
Реки	1,2	0,03
Почвенная влага	80	1
Пары атмосферы	14	0,027
Вся гидросфера	1454000	2800

Активность водообмена в различных частях гидросферы неодинакова.

Наиболее замедленной частью круговорота воды является деятельность полярных ледников. Круговорот здесь совершается за 8,0 тыс. лет, что отражает медленное движение и процесс таяния ледниковых масс. Подземные воды обновляются за 5,0 тыс. лет, воды океанов — за 3,0 тыс. лет, атмосферные воды — за 10 суток. Наибольшей активностью обмена, после атмосферной влаги, отличаются речные воды, которые сменяются в среднем каждые 11 суток. Чрезвычайно быстрая возобновляемость основных источников пресных вод и опреснение вод в процессе круговорота являются отражением глобального процесса динамики вод на земном шаре. Происходящий в природе круговорот самоочищающейся воды — вечное движение, обеспечивающее жизнь на Земле.

Пресной воды на Земле очень мало. Вместе с зоной активного водоснабжения подземными водами это лишь 300 млн км³, причем 97% находится в ледниках Антарктиды, Гренландии, в полярных зонах и горах. Однако естественный круговорот воды гарантирует, что без воды Земля не останется.

Круговорот углерода.

Из всех биогеохимических циклов круговорот углерода, без сомнения, самый интенсивный. С высокой скоростью углерод циркулирует между различными неорганическими средствами и через посредство пищевых сетей внутри сообществ живых организмов.

В круговороте углерода определенную роль играют СО и СО₂. Часто в биосфере Земли углерод представлен наиболее подвижной формой СО. *Источником* первичной углекислоты биосферы является *вулканическая деятельность*, связанная вековой дегазацией мантии и нижних горизонтов земной коры.

Миграция СО₂ в биосфере протекает двумя путями.

Первый путь заключается в поглощении его в процессе фотосинтеза с образованием глюкозы и других органических веществ, из которых построены все растительные ткани. В дальнейшем они переносятся по пищевым цепям и образуют ткани всех остальных живых существ экосистемы. Следует заметить, что вероятность отдельно взятого углерода «побывать» в течение одного цикла в составе многих организмов мала, потому что при каждом переходе с одного трофического уровня на другой велика возможность, что содержащая его органическая молекула будет

расщеплена в процессе клеточного дыхания для получения энергии. Атомы углерода при этом вновь поступают в окружающую среду в составе углекислого газа, таким образом завершив один цикл и приготовившись начать следующий. В пределах суши, где имеется растительность, углекислый газ атмосферы в процессе фотосинтеза поглощается в дневное время. В ночное время часть его выделяется растениями во внешнюю среду. С гибелью растений и животных на поверхности происходит окисление органических веществ с образованием CO_2 .

Атомы углерода возвращаются в атмосферу и при сжигании органического вещества. Важная и интересная особенность круговорота углерода состоит в том, что в далекие геологические эпохи, сотни миллионов лет назад, значительная часть органического вещества, созданного в процессах фотосинтеза, не использовалась ни консументами, ни редуцентами, а накапливалась в литосфере в виде ископаемого топлива: нефти, угля, горючих сланцев, торфа и др. Это ископаемое топливо добывается в огромных количествах для обеспечения энергетических потребностей нашего индустриального общества. Сжигая его, мы в определенном смысле завершаем круговорот углерода.

По *второму* пути миграция углерода осуществляется созданием карбонатной системы в различных водоемах, где CO_2 переходит в H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} . С помощью растворенного в воде кальция (или магния) происходит осаждение карбонатов (CaCO_3) биогенным и абиогенным путями. Образуются мощные толщи известняков. По А. Б. Ронову, отношение захороненного углерода в продуктах фотосинтеза к углероду в карбонатных породах составляет 1:4. Существует наряду с большим круговоротом углерода и ряд малых его круговоротов на поверхности суши и в океане.

В целом же без антропогенного вмешательства содержание углерода в биогеохимических резервуарах биосфере (биомасса+почва и детрит), осадочных породах, атмосфере и гидросфере, — сохраняется с высокой степенью постоянства. По Т. А. Акимовой, В. В. Хаскину (1994), постоянный обмен углеродом, с одной стороны, между биосферой, а с другой — между атмосферой и гидросферой, обусловлен газовой функцией живого вещества — процессами фотосинтеза, дыхания и деструкции, и составляет около $6 \cdot 10^{10}$ т/год. Существует поступление углерода в атмосферу и гидросферу и при вулканической деятельности в среднем $4,5 \cdot 10^6$ т/год. Общая масса углерода в ископаемом топливе (нефть, газ, уголь и др.) оценивается в $3,2 \cdot 10^{15}$ т, что соответствует средней скорости накопления 7 млн т/год. Это количество по сравнению с массой циркулирующего углерода незначительное и как бы выпадало из круговорота, терялось в нем. Отсюда степень разомкнутости (несовершенства) круговорота составляет 10^{-4} , или 0,01%, а соответственно степень замкнутости — 99,99%. Это означает, с одной стороны, что каждый атом углерода принимал участие в цикле десятки тысяч раз, прежде чем выпал из круговорота, оказался в недрах. А с другой стороны — потоки синтеза и распада органических веществ в биосфере с очень высокой точностью подогнаны друг к другу.

В. Г. Горшковым (1988) на основе расчетов делается важное заключение: «Потоки синтеза и разложение органических веществ совпадают с точностью 10^{-4} и скоррелированы с точностью 10^7 . Скоррелированность потоков синтеза и распада с указанной точностью доказывает наличие биологической регуляции окружающей среды, ибо случайная связь величин с такой точностью в течение миллионов лет невероятна».

В постоянном круговороте находится 0,2% мобильного запаса углерода. Углерод биомассы обновляется за 12, атмосферы — за восемь лет. Огромный контраст между краткостью данных периодов, постоянством и возрастом биосферы подтверждает высочайшую сбалансированность «мира углерода».

Круговорот кислорода. Кислород (O_2) играет важную роль в жизни большинства живых организмов на нашей планете. В количественном отношении это главная составляющая живой материи. Например, если учитывать воду, которая содержится в тканях, то тело человека содержит 62,8% кислорода и 19,4% углерода. В целом в биосфере этот элемент по сравнению с углеродом и водородом является основным среди простых веществ. В пределах биосферы происходит быстрый обмен кислорода с живыми организмами или их остатками после гибели. Растения, как правило, производят свободный кислород, а животные являются его потребителями путем дыхания. Будучи самым распространенным и подвижным элементом на Земле, кислород не лимитирует существование и функции экосферы, хотя доступность кислорода для водных организмов может временно и ограничиться. 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.

Потребление атмосферного кислорода и его возмещение первичными продуцентами происходит сравнительно быстро. Так, для полного обновления всего атмосферного кислорода требуется 2000 лет. В наше время фотосинтез и дыхание в природных условиях, без учета деятельности человека, с большой точностью уравниваются друг друга. В связи с этим накопления кислорода в атмосфере не происходит, и его содержание (20,946%) остается постоянным.

В верхних слоях атмосферы при действии ультрафиолетовой радиации на кислород образуется озон — O_3
 $\text{hv} \rightarrow \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{O}^{\bullet}$; $\text{O} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{O}_3$; $\Delta H = +141,9$ кДж/моль. Здесь hv — квант света с длиной волны не более 225 нм.

На образование озона тратится около 5% поступающей к Земле солнечной энергии — около $8,6 \cdot 10^{15}$ Вт. Реакции легко обратимы. При распаде озона эта энергия выделяется, за счет чего в верхних слоях атмосферы поддерживается высокая температура. Средняя концентрация озона в атмосфере составляет около 10^6 об. %, максимальная концентрация O_3 — до $4 \cdot 10^6$ об. % достигается на высотах 20—25 км (Т. А. Акимова, В. В. Хаскин (1998)).

Озон служит своеобразным УФ-фильтром: задерживает значительную часть жестких ультрафиолетовых лучей. Вероятно, образование озонового слоя было одним из условий выхода жизни из океана и заселения суши.

Большая часть кислорода, вырабатываемого в течение геологических эпох, не оставалась в атмосфере, а фиксировалась литосферой в виде карбонатов, сульфатов, окислов железа и т. п. Эта масса составляет $590 \cdot 10^{14}$ т против $39 \cdot 10^{14}$ т кислорода, который циркулирует в биосфере в виде газа или сульфатов, растворенных в континентальных и океанических водах.

Круговорот азота. Азот — незаменимый биогенный элемент, так как он входит в состав белков и нуклеиновых кислот. Круговорот азота один из самых сложных, поскольку включает как газовую, так и минеральную фазу, и

одновременно самых идеальных круговоротов (рис. 12.16).

Круговорот азота тесно связан с круговоротом углерода. Как правило, азот следует за углеродом, вместе с которым он участвует в образовании всех протеиновых веществ.

Атмосферный воздух, содержащий 78% азота, является неисчерпаемым резервуаром. Однако основная часть живых организмов не может непосредственно использовать этот азот. Он должен быть предварительно связан в виде химических соединений. Например, для усвоения азота растениями необходимо, чтобы он входил в состав ионов аммония (NH_4^+) или нитрата (NO_3^-).

Газообразный азот непрерывно поступает в атмосферу в результате работы *денитрофицирующих бактерий*, а бактерии-фиксаторы вместе с сине-зелеными водорослями (цианобитами) постоянно поглощают его, преобразуя в нитраты.

Важную роль в превращении газообразного азота в аммонийную форму в ходе так называемой азотификации играют бактерии из рода *Rhizobium*, живущие в клубеньках на корнях бобовых растений. Растения обеспечивают бактерий местообитанием и пищей (сахара), получая взамен от них доступную форму азота. По пищевым цепям органический (входящий в состав органических молекул) азот передается от бобовых другим организмам экосистемы. В процессе клеточного дыхания белки и другие содержащие азот органические соединения расщепляются, азот выделяется в среду большей частью в аммонийной форме (NH_4^+). Некоторые бактерии способны переводить ее и в нитратную (NO_3^-) форму. Отметим, что обе эти формы азота усваиваются любыми растениями. Азот, таким образом, совершает круговорот как минеральный биоген. Однако такая минерализация обратима, так как почвенные бактерии постоянно превращают нитраты снова в газообразный азот.

В водной среде также существуют различные виды нитрофицирующих бактерий, но главная роль в фиксации атмосферного азота здесь принадлежит многочисленным видам способным к фотосинтезу сине-зеленых водорослей из родов *Anabaena*, *Nostoc*, *Frichodesmium* и др.

Круговорот азота четко прослеживается и на уровне деструкторов. Протеины и другие формы органического азота, содержащиеся в растениях и животных после их гибели, подвергаются воздействию гетеротрофных бактерий, актиномицетов, грибов (биоредуцирующих микроорганизмов), которые вырабатывают необходимую им энергию восстановлением этого органического азота, преобразуя его таким образом в аммиак.

В почвах происходит процесс **нитрификации**, состоящий из цепи реакций, где при участии микроорганизмов осуществляется окисление иона аммония (NH_4^+) до нитрита (NO_2^-) или нитрита до нитрата (NO_3^-). Восстановление нитритов и нитратов до газообразных соединений молекулярного азота (N_2) или окиси азота (N_2O) составляет сущность процесса **денитрификации**.

Образование нитратов неорганическим путем в небольших количествах постоянно происходит и в атмосфере путем связывания атмосферного азота с кислородом в процессе электрических разрядов во время гроз, а затем выпадением с дождями на поверхность почвы.

Еще одним источником атмосферного азота являются вулканы, компенсирующие потери азота, исключенного из круговорота при седиментации или осаждении его на дно океанов.

В целом же среднее поступление нитратного азота абиотического происхождения при осаждении из атмосферы в почву не превышает 10 кг (год/га), свободные бактерии дают 25 кг (год/га), в то время как симбиоз *Rhizobium* с бобовыми растениями в среднем продуцирует 200 кг (год/га). Преобладающая часть связанного азота перерабатывается денитрифицирующими бактериями в N_2 , и вновь возвращается в атмосферу. Лишь около 10% аммонифицированного и нитрифицированного азота поглощается из почвы высшими растениями и оказывается в распоряжении многоклеточных представителей биоценозов.

Круговорот фосфора. Круговорот фосфора в биосфере связан с процессами обмена веществ в растениях и животных. Этот важный и необходимый элемент протоплазмы, содержащийся в наземных растениях и водорослях 0,01—0,1%, животных от 0,1% до нескольких процентов, циркулирует, постепенно переходя из органических соединений в фосфаты, которые снова могут использоваться растениями (рис. 12.17).

Однако фосфор в отличие от других биофильных элементов в процессе миграции не образует газовой формы. Резервуаром фосфора является не атмосфера, как у азота, а минеральная часть литосферы. Основными источниками неорганического фосфора являются изверженные породы (апатиты) или осадочные породы (фосфориты). Из пород неорганический фосфор вовлекается в циркуляцию выщелачиванием и растворением в континентальных водах. Попадая в экосистемы суши, почву, фосфор поглощается растениями из водного раствора в виде неорганического фосфат-иона (PO_4^{3-}) и включается в состав различных органических соединений, где он выступает в форме органического фосфата. По пищевым цепям фосфор переходит от растений к другим организмам экосистемы. Химически связанный фосфор попадает с остатками растений и животных в почву, где вновь подвергается воздействию микроорганизмов и превращается в минеральные ортофосфаты, а в дальнейшем происходит повторение цикла.

В водные экосистемы фосфор переносится текучими водами. Реки непрерывно обогащают фосфатами океаны. В соленых морских водах фосфор переходит в состав фитопланктона, служащего пищей другим организмам моря. В последующем накапливаясь в тканях морских животных, например рыб. Часть соединений фосфора мигрирует в пределах небольших глубин, потребляясь организмами, другая часть теряется на больших глубинах. Отмершие остатки организмов приводят к накоплению фосфора на разных глубинах. Отсюда следует, что фосфор попадая в водоемы тем или иным путем, насыщает, а нередко и перенасыщает их экосистемы. Частичный возврат фосфатов на сушу связан с поднятием земной коры выше уровня моря. Определенное количество фосфора переносится на сушу морскими птицами, а также благодаря рыболовству. Птицы отлагают фосфор на отдельных островах в виде гуано.

При рассмотрении круговорота фосфора в масштабе биосферы за сравнительно короткий период можно отметить, что он полностью не замкнут. Механизм возвращения фосфора из океанов на сушу в естественных условиях совершенно не способен компенсировать потери этого элемента на седиментацию.

Круговорот серы. Существуют многочисленные газообразные соединения серы, такие, как сероводород H_2S и сернистый ангидрид SO_2 . Однако преобладающая часть круговорота этого элемента имеет осадочную природу и происходит в почве и воде.

Основной источник серы, доступный живым организмам, — сульфаты (SO_4). Доступ неорганической серы в экосистеме облегчает хорошая растворимость многих сульфатов в воде. Растения, поглощая сульфаты, восстанавливают их и вырабатывают серосодержащие аминокислоты (метионин, цистеин, цистин), играющие важную роль в выработке третичной структуры протеинов при формировании дисульфидных мостиков между различными зонами полипептидной цепи.

Здесь хорошо просматриваются многие основные черты биогеохимического круговорота.

1. Обширный резервный фонд в почве и отложениях, меньший в атмосфере.

2. Ключевую роль в быстро обменивающемся фонде играют специализированные микроорганизмы, выполняющие определенные реакции окисления или восстановления. Благодаря процессам окисления и восстановления происходит обмен серы между доступными сульфатами (SO_4) и сульфидами железа, находящимися глубоко в почве и осадках. Специализированные микроорганизмы выполняют реакции. $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} \rightarrow \text{SO}_4$ — бесцветные, зеленые и пурпурные серобактерии; $\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$ (анаэробное восстановление сульфата) — *Desulfovibrio*; $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{SO}_4$ (аэробное окисление сульфида)—тиобациллы; органическая S в SO_4 и H_2S — аэробные и анаэробные гетеротрофные микроорганизмы соответственно. Первичная продукция обеспечивает включение сульфата в органическое вещество, а экскреция животными служит путем возвращения сульфата в круговорот.

3. Микробная регенерация из глубоководных отложений, приводящая к движению вверх газовой фазы H_2S .

4. Взаимодействие геохимических и метеорологических процессов — эрозия, осадкообразование, выщелачивание, дождь, абсорбация-десорбция и др. — с такими биологическими процессами, как продукция и разложение.

5. Взаимодействие воздуха, воды и почвы в регуляции круговорота в глобальном масштабе.

В целом экосистеме по сравнению с азотом и фосфором требуется меньше серы. Отсюда сера реже является лимитирующим фактором для растений и животных. Вместе с тем круговорот серы относится к ключевым в общем процессе продукции и разложения биомассы. К примеру, при образовании в осадках сульфидов железа фосфор из нерастворимой формы переводится в растворимую и становится доступным для организмов. Это подтверждение того, как один круговорот регулируется другим.

Раздел 6. Антропогенное воздействие на окружающую среду

Антропогенное влияние на природу.

С появлением человека и общества природа вступила в новый этап своего существования – стала испытывать на себе антропогенное влияние (то есть влияние человека и его деятельности).

Первоначально отношения человека и природы представляли собой взаимное воздействие друг на друга – человек самостоятельно (без применения сложных технических средств) извлекал для себя пользу из природы (пища, полезные ископаемые), а природа воздействовала на человека, причем человек был не защищен от природы (например, различных стихий, климата и т.д.), сильно зависел от нее.

По мере становления общества, государства, роста технической оснащенности человека (сложные орудия труда, машины) возможность природы влиять на человека уменьшилась, а влияние человека на природу (антропогенное влияние) усилилось.

Начиная с XVI – XIX вв., когда было сделано большое число полезных для человека научных открытий, изобретений, значительно усложнились производственные отношения, влияния человека на природу стало систематическим и повсеместным. Природа стала рассматриваться человеком уже не как самостоятельная реальность, а как сырьевой источник для удовлетворения потребностей человека.

В XX столетии, когда планомерный научно-технический прогресс ускорился в несколько раз и перерос в научно-техническую революцию, антропогенное влияние приблизилось к катастрофическому уровню.

В настоящее время мир техники (техносфера) практически превратился в самостоятельную реальность (суперсовременные технические открытия, сделавшие возможности человека влиять на природу безграничным, всеобщая компьютеризация и т.д.), а природа почти полностью подчинена человеку.

Главная проблема (и опасность) современного антропогенного влияния заключается в несоответствии безграничных потребностей человечества и почти безграничных научно-технических возможностей влияния на природу и ограниченных возможностей самой природы.

В связи с этим возникает экологическая проблема – проблема охраны окружающей среды от пагубного влияния человека.

Самыми опасными направлениями пагубного влияния человека на природу (и его последствиями) являются:

- ✓ истощение недр – на протяжении своей истории, а особенно в XX веке человечество беспощадно и в неограниченных количествах добывало полезные ископаемые, что привело к истощению (близкому к катастрофическому) внутренних резервов Земли (например, запасы энергоносителей нефти, каменного угля, природного газа могут быть исчерпаны уже через 80-100 лет);
- ✓ загрязнение Земли, особенно водоемов, атмосферы промышленными отходами;
- ✓ уничтожение растительного и животного мира, создание условий, при которых техническое развитие (дороги, заводы, электростанции и т.д.) нарушает привычные образ жизни растений и животных, изменяет естественный баланс флоры и фауны;
- ✓ применение атомной энергии как в военных, так и в мирных целях, наземные и подземные ядерные взрывы.

Виды воздействия человека на природу

Воздействие человека на природу может состоять в следующем:

1. Изъятие из природы ее отдельных компонентов, использование природных ресурсов.
2. Выброс в природную среду отходов хозяйственной деятельности, загрязнение этой среды.
3. Преобразование природных комплексов в хозяйственных целях.

Различают:

Прямое воздействие – непосредственное действие в отношении каких-либо компонентов природы (срубили лес; распахали степь – стало поле; освоили целину – получили урожай).

Косвенное воздействие – следствие прямого воздействия (в результате почвы обедняются, из-за распашки происходит эрозия почвы, степь превращается в пустыню).

Комбинированное воздействие – комбинация этих двух форм. Обычно любое воздействие на природу при тщательном рассмотрении оказывается комбинированным.

Виды загрязнения человеком природной среды.

Загрязнение – привнесение в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных физических, химических, биологических агентов, а также превышение присутствующими в среде агентами своего естественного уровня.

1. *По масштабам распространения* – локальные, региональные и глобальные. Для атмосферы локальными считаются загрязнения, оказывающие влияние на внешнюю среду в радиусе 80 км, региональными – 90–800 км, глобальными – более 800 км. Загрязнение почвы региональное – загрязнение почвы, возникающее вследствие переноса в атмосфере загрязняющего вещества на расстояния более 40 км от техногенных и более 10 км от сельскохозяйственных источников загрязнения. Загрязнение почвы глобальное – загрязнение почвы, возникающее вследствие переноса загрязняющего вещества в атмосфере на расстояния, превышающие 1000 км от любых источников загрязнения.

2. *По продолжительности воздействия* – кратковременные и долговременные. Кратковременные загрязнения – единичные выбросы в атмосферу – взрывы, утечки газа, нефтепродуктов. Долговременные загрязнения – постоянно или длительно действующие источники загрязнения (промышленные предприятия, ТЭС, гидросооружения и т.д.), могут привести к значительным изменениям компонентов внешней среды.

3. *По характеру воздействия* – физические, биологические и химические.

Физические загрязнения – тепловой нагрев, шум, электромагнитное и радиоактивное излучения (изменяет непосредственные физические характеристики среды).

Химические загрязнения – оксиды серы, азота, углеводороды, тяжелые металлы, фтористые соединения и другие химические вещества – изменяющие химический состав атмосферы, гидросферы, почвы.

Биологические загрязнения – нехарактерные и нежелательные для данной экосистемы живые организмы (вирусы, бактерии и др. – например колорадский жук).

4. По источнику:

естественные – возникающие в результате деятельности бактерий, стихийных бедствий, естественных геологических процессов;

антропогенные – источниками которых является энергетика, транспорт, сельское хозяйство, коммунальнобытовые системы.

Естественные загрязнения происходят в результате протекания природных процессов (извержения вулканов и т.д.). Естественное загрязнение биосфера обычно способна преодолеть за счет процессов саморегуляции и самовосстановления (самоочищения).

Искусственные загрязнения (антропогенные) – результат хозяйственной деятельности человека, их биосфера полностью обычно переработать не может в силу нескольких причин:

- количество антропогенных загрязнений очень велико;
- среди антропогенных загрязнений присутствуют вещества, не характерные для природы в ее нормальном состоянии – ксенобиотики (большинство синтетических веществ). Ксенобиотики не вписываются в естественный круговорот веществ и не могут быть переработаны природой;
- многие антропогенные загрязнители подавляют естественные процессы самоочищения и самовосстановления, в т.ч. многие ксенобиотики, ПАВ и т.д.

Устойчивость загрязнений (загрязнителей) в окружающей среде.

Загрязнения (загрязнители) в природе могут накапливаться в неизменном виде, а могут быть подвергнуты трансформации – изменению. При трансформации загрязнителей под воздействием химических и физических факторов могут образовываться как более простые вещества, так и более сложные вещества. Трансформация загрязнителей в окружающей среде – превращение химических соединений под влиянием химических, физических и биологических факторов – например, в верхних слоях атмосферы под действием солнечного света фреоны разлагаются с выделением атомарного хлора; сернистые газы (SO_2 и SO_3) во влажном воздухе образуют сернистую и серную кислоту (кислотный дождь) и т.д. Выделяют трансформацию загрязнителей под воздействием биологических факторов (биотрансформацию). Биотрансформация происходит в процессе продвижения загрязнителей по пищевым цепям, и приводят к биодеградации, биоусилению или биоаккумуляции исходных загрязнителей.

Биодеградация – разложение (например, биоразлагаемые органические вещества под воздействием аэробных бактерий превращаются в CO_2 , H_2O , фосфаты и др.)

Биоусиление – процесс превращения исходного загрязнителя в более опасное вещество (под воздействием бактерий металлическая ртуть превращается в метил или этилртуть, которые гораздо более опасны).

Биоаккумуляция – постепенное накопление организмами вредных веществ в ходе их обитания в загрязненной среде за счет неполного выделения загрязнителей из организма. Концентрация биоаккумулируемых веществ возрастает по мере продвижения по пищевым цепям (ДДТ, ртуть и т.д.)