

Министерство сельского хозяйства  
Российской Федерации

Технологический институт-филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

И.И. Шигапов

**ЭКОЛОГИЯ:**  
краткий курс лекций



Димитровград - 2019

**Шигапов, И.И.** Экология: краткий курс лекций / И.И. Шигапов, -  
Димитровград: Технологический институт – филиал УлГАУ, 2019.- 42 с.

Рецензенты: Ганиева Йолдыз Наилевна, кандидат педагогических наук,  
доцент кафедры «Социально - гуманитарные и экономические  
дисциплины» ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ.

Экология: краткий курс лекций предназначен для подготовки бакалавров очной и  
заочной форм обучения по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация  
транспортно-технологических машин и комплексов».

Утверждено  
на заседании кафедры «Технологии производства переработки и  
экспертизы продукции АПК»

Технологического института – филиала  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ,  
протокол № 1 от 4 сентября 2019г.

Рекомендовано  
к изданию методическим советом Технологического  
института – филиала  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ  
Протокол № 2 от 10 октября 2019г.

© Шигапов И.И., 2019

© Технологический институт – филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2019

## ЛЕКЦИЯ 1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ, ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИИ.

### 1. Предмет и основные задачи экологии

Экология - это наука о взаимоотношениях живых организмов между собой и средой их обитания. Она является составной частью биологической науки и имеет тесные связи с химией, физикой, геологией, почвоведением, математикой и другими естественными науками. Впервые понятие «экология» ввел немецкий ученый Э. Геккель, понимая под этим изучение всей сложной совокупности взаимоотношений живого мира с окружающей его средой, которые Ч. Дарвин назвал «условиями, порождающими борьбу за существование».

Предметом изучения экологии являются объекты организменного, популяционного, видового, биоценотического и биосферного уровней организации экосистем и их взаимодействие с окружающей средой. Главным объектом изучения экологии являются экосистемы, или единые природные комплексы, образованные живыми организмами и средой их обитания.

Стратегической задачей экологии является изучение законов взаимодействия природы и общества и оптимизация этого взаимодействия на основе нового взгляда, рассматривающего человеческое общество, как неотъемлемую часть биосферы.

### 2. История развития экологии

Развитие экологии происходило поэтапно, начиная с ее зарождения и становления как науки в период до 60-х гг. XIX в. и до оформления ее в самостоятельную науку в начале XX в. Великими экологами прошлого можно назвать шведа К. Линнея (1707-1778), француза Ж.Б. Ламарка (1744-1829), англичан Т. Мальтуса (1766-1834) и Ч. Дарвина (1809-1882). Первым трудом по экологии следует считать работу Ч. Дарвина (1859 г.) «Происхождение видов». Сформулированный им вывод о существующей в природе постоянной борьбе за существование принадлежит без сомнения, к числу центральных положений экологии. В 1866 г. вышел в свет фундаментальный труд немецкого зоолога Э. Геккеля «Всеобщая морфология организмов». В нем впервые дано общее определение экологии как суммы знаний по совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической. Ученый отнес экологию к биологическим наукам и наукам о природе, которых, прежде всего, интересуют все стороны жизни биологических организмов. Наряду с зарубежными учеными в ее развитие и становление внесли огромный вклад наши соотечественники: К.А. Тимирязев, В.В. Докучаев, В.И.

Вернадский, Н.И. Вавилов, В.Н. Сукачев, С.С. Шварц, Г.Ф. Морозов, А.В. Яблоков, Н.Ф. Реймерс и др.

В общей экологии выделяются такие разделы, как экология особей (или аутэкология), популяционная экология (или демэкология), экология сообществ (или синэкология). В последнее время получила развитие глобальная экология, которая занимается экологическими проблемами Земли в целом и изучением биосферы как глобальной экосистемы.

Кроме того, есть экология человека, экология животных, экология растений и экология микроорганизмов. Появились и такие специальные дисциплины, как социальная экология, изучающая взаимоотношения в системе «человеческое общество - природа», и ее часть - экология человека (антропоэкология), в которой рассматривается взаимодействие человека как биосоциального существа с окружающим миром.

Выделяется теоретическая экология, вскрывающая общие закономерности организации жизни и прикладная экология, изучающая механизмы разрушения биосферы человеком и разрабатывающая способы предотвращения этих процессов и принципы охраны окружающей природной среды и рационального использования природных ресурсов.

В современной экологии, тесно связанной с политикой, экономикой, правом, психологией и педагогикой, все большее внимание уделяется проблемам взаимодействия человека с окружающей природной средой. Выдвижение на первый план этих проблем связано с резким усилением взаимного отрицательного влияния человека и природной среды, возросшей ролью экономических, социальных и нравственных аспектов в связи со многими негативными последствиями научно-технического прогресса. Более широкое толкование получил и сам термин «экология». При этом основополагающим является экологический подход при взаимодействии человеческого общества и природы, направленный на реализацию принципа биоцентричности.

Таким образом, современная экология является комплексной наукой, изучающей сложнейшие проблемы взаимодействия человека с окружающей средой. Актуальность, многогранность и сложность этих проблем привели к «экологизации» многих естественных, технических и гуманитарных наук, в результате чего на стыке экологии с другими отраслями знаний созданы такие направления, как инженерная экология, геоэкология, математическая экология, сельскохозяйственная экология, космическая экология др.

### 3. Методы исследования в экологии

При изучении многообразных процессов, которые происходят в живой природе, экология использует много методов, среди которых главными являются: 1) метод наблюдения и описания, используемый для сбора и описания изучаемых факторов; 2) сравнительный метод, основанный на анализе сходства и различий изучаемых объектов; 3) исторический метод, предназначенный для изучения развития исследуемых объектов; 4) метод эксперимента для изучения явлений природы в определенных условиях; 5)

метод моделирования для описания сложных природных явлений на относительно простых моделях. Существенным преимуществом экспериментов на модели является то, что при этом могут быть воспроизведены такие крайние положения (например, температура), которые в ряде случаев не могут быть воссозданы на самом объекте.

5. Значение экологических знаний для специалистов различных направлений и специальностей

Специалист с высшим образованием - как экономическим, так и техническим - должен:

- понимать суть особенностей Земли как сложной системы; взаимосвязанность природных и социально-экономических факторов в глобальном экологическом кризисе и его отдельных проявлениях;
- понимать взаимосвязь абиотических факторов и биотической компоненты экосистемы, иметь представление о пределах толерантности организмов и популяций и об их экологической нише как обобщенном выражении экологической индивидуальности вида;
- знать основные принципы, закономерности и законы пространственно-временной организации геосистем локального и регионального уровней;
- знать основы биологической продуктивности биосферы;
- иметь представление о воздействии различных технических систем на природную среду и о методах оценки возникающего экологического риска; о мерах по предотвращению экологически опасных ситуаций или катастроф;
- знать назначение и классификацию мониторинга природной среды.

Перечисленные знания и навыки позволят сформировать у специалиста активную природоохранную позицию и добиваться в решении экономических и технических задач оптимальных условий производства и распределения продукции для достижения высоких темпов экономического роста страны и повышения благосостояния населения.

## ЛЕКЦИЯ 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

### 1. Классификация экологических факторов

Экологические факторы - это определенные условия и элементы среды, которые оказывают специфические воздействия на организм. Они подразделяются на абиотические, биотические и антропогенные.

Абиотические факторы - компоненты неживой природы, влияющие на жизнь и распространение живых организмов. Среди них различают физические, химические и эдафические факторы. К физическим факторам относятся температура воздуха, воды, почвы, скорость ветра, влажность воздуха, почвы и др. Химические факторы определяются химическим составом среды, например соленостью воды, содержанием кислорода и т. д. Эдафические, или почвенные факторы, представляют собой совокупность химических, физических и механических свойств почв и горных пород, оказывающих воздействие как на организмы, живущие в них, так и на корневую систему растений.

Биотические факторы - совокупность воздействия жизнедеятельности одних организмов на другие, а также на неживую среду обитания. Например, в лесу под влиянием растительного покрова создается особый микроклимат, или микросреда, где по сравнению с открытым местообитанием создается свой температурно-влажностный режим: зимой здесь на несколько градусов теплее, летом - прохладнее и влажнее.

Антропогенные факторы создаются в результате деятельности человека, приводящей либо к прямому воздействию на живые организмы, либо к изменению среды их обитания вследствие охоты, загрязнения окружающей среды, эрозии почв и др. При этом могут быть выделены техногенные факторы, связанные с использованием технических систем в хозяйственной деятельности человека.

## 2. Общие закономерности действия факторов среды на организмы

Экологические факторы оказывают на живые организмы ограничивающее, раздражающее, модификационное и сигнальное воздействия. Ограничивающее воздействие делает невозможным существование организмов в данных условиях среды обитания. Раздражительное воздействие способствует адаптации организмов к среде обитания. Модификационное воздействие приводит к морфологическим и анатомическим изменениям организмов. Сигнальное воздействие связано с образованием информации об изменениях факторов среды обитания.

Реально действие всех экологических факторов осуществляется совместно или комплексно. Совокупность факторов, воздействующих на жизнедеятельность организмов, включая их развитие и размножение, называется условиями жизни. А в случаях, когда не происходит размножения, может идти речь об условиях существования.

Сфера действия каждого экологического фактора разделяется на зоны оптимума, пессимума, угнетения и пределы выносливости организмов. В зоне оптимума их жизнедеятельность максимальна, а в зоне пессимума она угнетена. За пределами выносливости существование организмов невозможно.

Способность живых организмов переносить в разной степени колебания экологического фактора называется экологической валентностью (толерантностью, устойчивостью, пластичностью). Виды с широкой зоной толерантности называются эврибионтными, а с узкой - стенобионтными.

## 3. Характеристика основных экологических факторов. Лимитирующие факторы

Экологический фактор, количественное значение которого выходит за пределы выносливости вида, называется лимитирующим фактором. Такой фактор будет ограничивать распространение вида даже в том случае, если все остальные факторы будут благоприятными. Лимитирующие экологические факторы определяют географический ареал распространения вида и могут ограничивать развитие организмов, прежде всего из-за недостатка или избытка веществ. Характер действия экологических факторов при определенных

условиях может изменяться, т. е. они могут быть, а могут и не быть лимитирующими.

Немецкий агрохимик Ю. Либих установил закон минимума: урожай (продукция), зависит от фактора, находящегося в минимуме. Однако закон минимума Ю.Либиха имеет ограниченное действие и проявляется только на уровне содержания химических веществ, ибо урожай зависит не от одного, а от совокупного действия всех факторов жизни растений, включая температуру, влажность, освещенность и др.

Несмотря на взаимовлияние различных факторов, они не могут заменить друг друга, что отражается в законе независимости факторов В. Р. Вильямса: условия жизни равнозначны, поэтому ни один из факторов жизни не может быть заменен другим. Например, нельзя действие влажности воды или воздуха заменить действием углекислого газа или солнечного света.

Наиболее полно влияние экологических факторов на организм отражает закон толерантности В. Шелфорда: отсутствие или невозможность процветания определяется недостатком или, наоборот, избытком любого из ряда факторов, уровень которых может оказаться близким к пределам, переносимым данным организмом. Эти два предела называют пределами толерантности. Диапазон толерантности организма не остается постоянным и может, например, сужаться, если какой-либо из факторов близок к одному из пределов.

Адаптация означает приспособление организмов к среде их обитания и всегда развивается под воздействием трех основных факторов - изменчивости, наследственности и естественного отбора. Источником адаптации являются генетические изменения в организме - мутации, возникающие под влиянием как естественных, так и искусственных факторов воздействия на организм. Мутации разнообразны, и их накопление может привести даже к дезинтеграционным явлениям. На историко-эволюционном пути развития на организмы действуют абиотические и биотические факторы в комплексе. Известны как успешные адаптации организмов к этому комплексу факторов, так и безуспешные, приводящие к вымиранию вида.

Температура окружающей среды влияет на температуру организмов, а, следовательно, определяет скорость всех реакций метаболизма. У подавляющего большинства животных температура их собственного тела меняется с изменением температуры окружающей среды (земноводные, пресмыкающиеся, насекомые и др.). Значительно меньшая часть животных имеет постоянную температуру тела, не зависящую от температуры внешней среды, например млекопитающие, имеющие температуру тела 36-37°C, и птицы с температурой тела 40°C. Большое значение температура играет в жизни растений: при повышении температуры на 10°C интенсивность фотосинтеза увеличивается в два раза, но при достижении температуры 30-35°C его интенсивность падает, а при температуре 40-45°C фотосинтез вообще прекращается.

Пределами толерантности для любого вида являются максимальная и минимальная летальные температуры, за пределами которых вид смертельно поражает жара или холод. Обычно все живые существа способны жить при температуре между 0 и +50°C, что обусловлено свойствами протоплазмы клеток. Верхним температурным пределом жизни является температура +(120-140)°C, нижним -(190-273)°C. По отношению к температуре организмы разделяются на криофилов, обитающих в условиях низких температур, и термофилов, обитающих в условиях высоких температур.

Для обеспечения теплового режима организмы могут использовать либо внешний источник тепловой энергии - энергию Солнца или Земли, либо внутренний - тепло, выделяемое при обмене веществ. Терморегуляция живых организмов разделяется на химическую, осуществляемую за счет изменения интенсивности метаболизма физическую, связанную с изменением величины теплоотдачи; и этологическую, заключающуюся в избегании условий с неблагоприятными температурами.

Солнечный свет играет важнейшую роль в жизни организмов, так как является первичным источником энергии жизни на Земле. По своему биологическому действию солнечный свет разделяется на ультрафиолетовые, видимые и инфракрасные лучи. В процессе фотосинтеза участвует лишь часть светового спектра в пределах от 380 до 760 нм, которую называют областью физиологически активной радиации. Внутри нее для фотосинтеза наибольшее значение имеют красно-оранжевые (600-700 нм) и фиолетово-голубые (400-500 нм) лучи, наименьшее - желто-зеленые (500-600 нм). Последние отражаются растениями, что и придает хлорофиллоносным растениям зеленую окраску.

Развитие живой природы по сезонам года, отличающимся интенсивностью солнечной энергии, поступающей на определенную территорию, происходит в соответствии с биоклиматическим законом Хопкинса: сроки наступления различных сезонных явлений (фенодат) зависят от широты, долготы местности и ее высоты над уровнем моря: чем севернее, восточнее выше местность, тем позже наступает весна и раньше осень.

Вода - необходимый компонент фотосинтеза и незаменимая составляющая клеточной протоплазмы. Она обеспечивает протекание в организме реакций обмена веществ и с экологической точки зрения является лимитирующим фактором, как для наземных, так и для водных организмов. Среднее содержание воды в клетках большинства организмов составляет более 70%. В наземно-воздушной среде водный фактор характеризуется количеством осадков, влажностью воздуха, его иссушающими свойствами и доступной площадью водного запаса.

Количество атмосферных осадков обусловлено физико-географическими условиями и неравномерно распределено на земном шаре. Но для организмов важнейшим лимитирующим фактором является распределение осадков по сезонам года. В умеренных широтах даже при достаточном количестве годовых осадков их неравномерное распределение может привести к гибели растений от засухи или, наоборот, от переувлажнения. В тропической зоне организмам



приходится переживать влажные и сухие сезоны, регулирующие их сезонную активность при постоянной почти круглый год температуре.

Влажность воздушной среды обычно характеризуется показателем относительной влажности, т. е. отношением реального давления водяного пара к давлению насыщенного пара при той же температуре. Отсюда следует способность влажности изменять эффекты влияния температуры: понижение влажности ниже некоторого предела при данной температуре ведет к иссушающему действию воздуха.

Иссушающее действие воздуха имеет наиболее важное экологическое значение для растений. Подавляющее большинство растений всасывает воду из почвы с помощью корневой системы. Иссушение почвы затрудняет всасывание. Растения в зависимости от способов их адаптации к влажности разделяются на гидатофиты - водные растения; гидрофиты, - наземно-водные растения; гигрофиты - наземные растения, живущие в условиях повышенной влажности; мезофиты - растения, переносящие незначительную засуху; ксерофиты - растения сухих степей и пустынь, способные накапливать влагу в мясистых листьях и стеблях. Животные по отношению к воде разделяются на такие экологические группы, как гигрофилы (влаголюбивые), ксерофилы (сухлюбивые) и мезофилы (промежуточная группа).

Доступный запас воды для поглощения корневой системой растений зависит прежде всего от количества осадков в данном районе и водопроницаемости поверхностного грунта. даже при большом количестве осадков высокая проницаемость песчаных и песчано-гравийных отложений приведет к быстрой фильтрации воды в глубину и осушению поверхностных слоев почвы, Если естественный источник не обеспечивает достаточный запас доступной влаги, прибегают к искусственным способам его пополнения орошению с помощью ирригационных систем.

Совместное действие температуры и влажности определяет вид климата: морской климат характеризуется высокой влажностью в течение года, что ведет к сглаживанию сезонных колебаний температур; континентальный климат характеризуется высокой сухостью воздуха и резкими колебаниями температур.

Основными экологическими факторами водной среды являются течения и волнения в реках, морях, океанах, действующие практически постоянно. Они могут косвенно влиять на организм, изменяя ионный состав и минерализацию воды, тем самым, изменяя состав и концентрацию питательных веществ, а так же оказывать и прямое действие, вызывающее адаптацию животных и растений к течению. Например, рыбы в спокойных реках имеют сплюснутое с боков тело (лещ, плотва), а в быстрых - округлое (форель).

Рельеф - совокупность неровностей земной поверхности разного масштаба. Различают выпуклые и вогнутые формы рельефа. По размерам рельеф разделяется на макрорельеф с разностью высот от десятков до тысячи метров (горы, равнины, возвышенности и др.), мезорельеф с разностью высот в пределах 10-20 м (холмы, лощины и др.), и микрорельеф с разностью высот от

нескольких сантиметров до 1 м (бугорки, борозды, кочки и др.). Рельеф оказывает косвенное воздействие на живые организмы, перераспределяя солнечную радиацию и осадки в зависимости от экспозиции и крутизны склонов.

К физическим факторам воздушной среды относятся движение воздушных масс и атмосферное давление. Движение воздушных масс может быть спокойным (конвективным) или в виде ветра, вызванного циклонической деятельностью атмосферы Земли. В любом случае обеспечивается перенос на большее или меньшее расстояние спор, пылицы, семян, микроорганизмов, мелких животных и загрязняющих веществ в новые зоны. Атмосферное давление оказывает весьма существенное экологическое воздействие, в особенности на позвоночных животных, которые из-за этого не могут жить выше 6000 м над уровнем моря.

К химическим факторам воздушной среды относится состав атмосферы по объему, представленный в основном азотом - 78,8%, кислородом - 21%, аргоном - 0,9%, углекислым газом - 0,03%. В почвенных и подстилающих их породах, вплоть до уровня грунтовых вод (в зоне аэрации), содержание  $\text{CO}_2$  составляет уже 10%, а кислород становится лимитирующим фактором для аэробов-редуцентов, что приводит к замедлению разложения отмершей органики. В воде содержание кислорода в 20 раз меньше, чем в атмосфере, и здесь он является весьма лимитирующим фактором. Лимитирующее действие  $\text{CO}_2$  в воде выражено неявно, но высокое его содержание обычно ведет к гибели рыб и других животных.

Лимитирующими факторами и ресурсами среды для организмов являются также биогенные соли и элементы, одни из которых требуются организмам в относительно больших количествах и поэтому называются макроэлементами; а другие - в очень малых количествах, они называются микроэлементами. Растения получают их, как правило, из почвы, реже из воды, а животные и человек - с пищей.

Основными биогенными макроэлементами являются фосфор и азот в доступной для каждого организма форме. Фосфор - это важнейший и необходимый элемент протоплазмы, а азот входит во все белковые молекулы. Основным источником азота - атмосферный воздух, а фосфора - лишь горные породы и отмершие организмы. Азот фиксируется большинством растительных и гетеротрофных организмов и включается в биологический круговорот. Фосфора в организмах содержится в процентном отношении больше, чем в исходных природных источниках, и именно поэтому так велика его лимитирующая роль. Недостаток фосфора по своему влиянию на продуктивность живых организмов стоит на втором месте после воды.

Лишь немногим по своему значению уступают азоту и фосфору калий, кальций, сера и магний. Калий входит в состав клеток, играет важнейшую роль в осмотических процессах, в работе нервной системы животных и человека, способствует росту растений. Кальций является составной частью раковин и костей животных, необходим растениям и т. д. Сера входит в состав некоторых

аминокислот, коферментов, витаминов, обеспечивает хемосинтез и др. Магний - необходимая часть молекул хлорофилла, входит в состав рибосом растений и животных.

К биогенным микроэлементам для растений в первую очередь относятся железо, марганец, медь, цинк, бор, кремний, молибден, хлор, ванадий и кобальт. Если в этом наборе ощущается, например, нехватка Mn, Fe, Cl, Zn и V, то не будет полноценным процесс фотосинтеза, а если недостает Mo, B, Co и Fe, то нарушается азотный обмен. Эти микроэлементы необходимы животным и человеку. Их недостаток или избыток при загрязнении вызывает различные болезни.

#### 4. Строение и экологические факторы почв

Почва - геологическое тело, отличающееся от всех похожих на нее глинистых и песчаных образований тем, что обладает плодородием и дает жизнь растениям, а, следовательно, пищу животным и человеку. Почва состоит из твердой, жидкой и газообразной компонент и содержит живые растительные и животные макро- и микроорганизмы. Твердая компонента почв представлена минеральной частью, состоящей из материнских поверхностных слоев пород литосферы, и органической частью - гумусом, образовавшимся в результате разложения отмершей органики. Жидкая компонента почв - вода может находиться в свободной, связанной, капиллярной и парообразной форме. Свободная вода перемещается по порам под действием силы тяжести, связанная адсорбируется поверхностью частиц и образует на них пленку, капиллярная удерживается в тонких порах под действием менисковых сил, а парообразная находится в той части пор, которая свободна от воды.

Плодородие почвы - это ее способность удовлетворять потребность растений в питательных веществах, воздухе, биотической и физико-химической среде, включая тепловой режим, в результате чего обеспечивается урожай сельскохозяйственных культур, а также биогенная продуктивность диких форм растительности. Плодородие почв разделяется на искусственное и естественное: искусственное плодородие - результат агрономического воздействия на почву, а естественное плодородие обусловлено натуральными экологическими факторами почвы. Ключевую роль в плодородии почвы играет сложное органическое вещество - гумус благодаря питательным веществам, в том числе и биогенным элементам, которые он содержит. Содержание гумуса в почвах колеблется от десятых долей до 20-22%. Самые богатые гумусом почвы - черноземы, которые обладают и самым высоким плодородием.

Экологические факторы почв разделяются на физические и химические. К физическим факторам относятся влажность, температура, структура и пористость; к химическим - реакция среды и засоленность почв. Влажность почвы выражается отношением всей массы воды в почве к массе ее твердой компоненты. Доступная же для растений влажность почвы зависит от сосущей силы корневой системы растений и от физического состояния самой воды и водоудерживающей способности почв. Наиболее доступными для корневой системы растений являются свободная и капиллярная формы воды.

Структура и пористость почв определяют их аэрацию и доступность для растений и животных питательных веществ. Частицы почв, связанные между собой молекулярными силами, образуют структуру почвы. Между ними образуются пустоты, называемые пора́ми. Пористость - это доля объема пустот в почве, которая может достигать 50% и более. Структура и пористость почвы обеспечивают ее хорошую аэрацию. В ней активно перемещаются черви, особенно в глинистой, суглинистой и песчаной почвах, увеличивая пористость.

Температура почвы зависит от внешней температуры, но благодаря низкой теплопроводности почвы ее температурный режим довольно стабилен и на глубине 0,3 м амплитуда колебания температуры составляет менее 2 °С. Суточные колебания температур ощутимы до глубины 1 м.

Всю жидкую компоненту почв называют почвенным раствором, содержащим нитраты, бикарбонаты, фосфаты, сульфаты и другие соли, а также водорастворимые органические кислоты, их соли, сахара преимущественно в свободной и капиллярной воде. В связанной воде вещества труднорастворимы. Состав и концентрация почвенного раствора определяют реакцию среды, показателем которой является величина рН - водородный показатель. Наиболее благоприятной для растений и почвенных животных является нейтральная среда - рН = 7. В сухом климате преобладают нейтральные и щелочные почвы, во влажных районах - кислые. Многие злаки (ячмень, пшеница) дают лучший урожай на нейтральных и слабощелочных почвах, каковыми обычно являются черноземы. Засоленными называются почвы с избыточным содержанием водорастворимых солей хлоридов, сульфатов, карбонатов. Среди засоленных почв выделяют солончаки и солонцы с рН = 8-9.

Почвенная биота представлена фауной и флорой. Фауна - дождевые черви, мокрицы, земляные клещи, нематоды и др., которые перераспределяют гумус и биогенные элементы, повышая ее плодородие. Огромную роль играют дождевые черви, количество которых может насчитывать до пяти миллионов особей на гектар черноземной пашни. За несколько лет они пропускают через свой кишечник весь пахотный слой. Флора - это грибы, бактерии, водоросли и другие деструкторы, которые перерабатывают органику до исходных неорганических составляющих. По отношению к кислотности почвы растения разделяются на ауцидофилы, растущие на почвах с рН <6,7; атрофилы (рН = 6,7-7,0); базифилы (рН >7,0); индифферентные виды, т. е. способные обитать на почвах с разными значениями рН.

## ЛЕКЦИЯ 3. ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ

### 1. Характеристика популяций

Вид - это совокупность особей, обладающих наследственным сходством различных особенностей, способных к скрещиванию с образованием плодovитого потомства, приспособленных к определенным условиям жизни и занимающих в природе определенную часть пространства.

Популяция - любая способная к самовоспроизведению совокупность особей одного вида, которая длительно существует на определенной территории относительно обособленно от других совокупностей того же вида.

Ареал - область распространения, или пространство, на котором популяция или вид в целом встречается в течение всей своей жизнедеятельности. Ареал может быть сплошным или разорванным, если между его частями возникают различные географические преграды или пространства, не заселенные представителями данного вида.

По величине ареала и характеру распространения различают космополитов, убиквистов и эндемиков. Космополиты - виды растений и животных, которые встречаются на большей части обитаемой планеты - комнатная муха, серая крыса и др. Убиквисты - виды растений и животных с широкой экологической валентностью, способные существовать в разнообразных условиях среды - тростник обыкновенный, волк и др. Эндемики - виды растений и животных, которые имеют ограниченные ареалы - на островах, в горах, изолированных водоемах.

## 2. Классификация популяций

По размерам занимаемой популяцией территории и степени связи между особями различают элементарные (локальные), экологические и географические популяции. Элементарная популяция - минимальная группировка особей, характеризующаяся практически полной панмиксией.

Экологическая популяция - совокупность пространственно смежных элементарных популяций. Географическая популяция - совокупность групп пространственно смежных экологических популяций.

По способу размножения популяции делятся на панмиктические, клональные и клонально-панмиктические. Панмиктические популяции состоят из особей, размножающихся половым путем, для которых характерно перекрестное оплодотворение. Клональные популяции состоят из особей, для которых характерно только бесполое размножение. Клонально-панмиктические популяции образованы особями с чередованием полового и бесполого размножения.

## 3. Количественные характеристики популяции

Количественные характеристики популяции разделяются на статические и динамические. Статические показатели характеризуют состояние популяции на данный момент и характеризуются численностью, плотностью, а также показателями структуры. Динамические показатели отражают процессы, протекающие в популяции за определенный промежуток времени и характеризуются рождаемостью, смертностью, скоростью роста популяции.

Численность - количество особей в популяции, например количество растений. Плотность - количество особей или биомасса популяции, приходящаяся на единицу площади или объема и способная к значительным изменениям во времени.

Показатели структуры: половой - соотношение полов, размерный - соотношение количества особей разных размеров, возрастной - соотношение

количества особей различного возраста в популяции. Генетическая структура - соотношение в популяции различных генотипов и аллелей. Совокупность генов всех особей популяции называется генофондом. Частота аллеля - это его доля во всей совокупности аллелей данного гена. Согласно закону Харди-Вайнберга относительные частоты аллелей в популяции остаются неизменными из поколения в поколение при соблюдении определенных условий. Однако на популяции всегда действуют факторы, нарушающие генетическое равновесие, в результате чего происходит длительное и направленное изменение генотипического состава популяции, называемое элементарным эволюционным явлением. В то же время без изменения генофонда популяции невозможен эволюционный процесс. К факторам, изменяющим генетическую структуру популяций, относятся мутации, неравная жизнеспособность особей, неслучайное скрещивание, дрейф генов, миграция.

По типу использования пространства все подвижные животные подразделяются на оседлых и кочевых, а по форме совместного существования животных выделяют одиночный образ жизни, семейный, колониями, стаями, стадами.

Рождаемость (скорость рождаемости) - это число особей, рождающихся в популяции за единицу времени. Различают максимальную рождаемость, представляющую максимальную реализацию возможности рождения при отсутствии лимитирующих факторов среды, и фактическую рождаемость - практическую реализацию возможности рождения. При рассмотрении экосистем пользуются другим динамическим показателем - продукцией, или суммой прироста массы всех особей независимо от того, сколько они прожили, из множества популяций биогенного сообщества за определенный промежуток времени.

Смертность (скорость смертности) - это количество особей, погибших в популяции в единицу времени. Но убыль или прибыль организмов в популяции зависит не только от рождаемости и смертности, но и от скорости их иммиграции (вселения) и эмиграции (выселения), т. е. от количества особей, прибывших и убывших в популяции в единицу времени. Различают также максимальную и фактическую смертность.

Продолжительность жизни - длительность существования особи. Она зависит от условий, или факторов жизни. Различают физиологическую и максимальную продолжительность жизни. Физиологическая продолжительность жизни определяется только физиологическими возможностями организма. Теоретически она возможна, если допустить, что в период всей жизни организма на него не оказывают влияния лимитирующие факторы. Максимальная продолжительность жизни - это такая продолжительность жизни, до которой может дожить лишь малая доля особей в реальных условиях среды. Эта величина варьируется в широких пределах: от нескольких минут у бактерий до нескольких тысячелетий у древесных растений (секвойя), т. е. от  $10^3$  до  $10^{11}$  с. Обычно чем крупнее растение или животное, тем дольше их продолжительность жизни, хотя бывают и исключения,

например летучие мыши доживают до 30 лет, что дольше жизни медведя. Средняя продолжительность жизни - это среднее арифметическое продолжительности жизни всех особей популяции. Она значительно колеблется в зависимости от внешних условий.

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

Выживаемость - абсолютное число особей (или процент от исходного числа особей), сохранившихся в популяции за определенный промежуток времени. Выживаемость зависит от ряда причин: возрастного и полового состава популяции, действия тех или иных факторов среды и др. Комплекс свойств популяции, направленный на повышение вероятности выживания и оставление потомства, называется экологической стратегией выживания, т. е. стремлением организмов к выживанию, что является общей характеристикой роста и размножения, включающей темпы роста особей, время достижения половозрелости, плодовитость, периодичность размножения и т. д.

В экологии и демографии широко распространено графическое построение «Кривых выживания» показывающих зависимость числа выживших (из 100 или 1000 особей) от их возраста.

Первый тип выживания «ГИДРА» - характеризуется одинаковой смертностью во всех возрастах. Выражается убывающей геометрической прогрессии (экспоненциальная кривая). Данный тип встречается редко и только у популяций в стабильных оптимальных условиях.

Второй тип выживания «УСТРИЦА» - характеризуется повышенной гибелью особей на ранних стадиях онтогенеза и свойствен большинству растений и животных. У рыб лишь 1-2% доживают до взрослого возраста от количества выметанной икры.

Третий тип выживания «ЧЕЛОВЕК» - отличается высокой смертностью старых особей в пострепродуктивный период онтогенеза. Такой тип смертности наблюдается у насекомых, некоторых крупных животных, населения развитых стран.

Если рождаемость в популяции превышает смертность, то популяция, как правило, будет расти. С увеличением плотности скорость роста популяции постепенно снижается до нуля. При нулевом росте популяция стабильна, т.е. размеры её не меняются. Особи растут и размножаются, смертность и размножение уравновешены.

Гомеостаз популяции - поддержание определенной численности и плотности видов. Изменение численности зависит от абиотических и антропогенных факторов. Но всегда можно выделить ключевой фактор, наиболее сильно влияющий на рождаемость, смертность и миграцию особей. Одним из важнейших ключевых факторов является, например, доступность

пищевых ресурсов. При повышении плотности популяции усиливаются механизмы, снижающие ее плотность, и наоборот.

Факторы, регулирующие плотность популяции, делятся на зависимые и не зависимые от плотности. Зависимые факторы изменяются с изменением плотности, а независимые остаются постоянными при ее изменении. Практически первые - это биотические, а вторые - абиотические факторы.

Многие популяции способны к саморегуляции своей численности, осуществляемой с помощью трех механизмов торможения роста численности:

- при росте численности повышается частота контактов между особями, в результате чего возникает стрессовое состояние, способствующее уменьшению рождаемости и повышению смертности;
- при возрастании плотности происходит изменение генетического состава популяции с заменой быстро размножающихся особей на медленно размножающиеся;
- усиливается миграция в новые Местообитания с худшими условиями жизни, что способствует повышению смертности.

В природе нет «хороших» и «плохих» видов, вследствие чего остро стоит вопрос сохранения биологического разнообразия. Сокращение генофонда живой природы может привести к трагическим последствиям. Поэтому в «Красных книгах» регистрируются исчезающие, редкие, сокращающиеся, неопределенные и безвозвратно исчезнувшие виды. Следует отметить, что деятельность человека может создавать условия для появления новых видов, часто вредных для самого человека: болезнетворных микроорганизмов, вредителей сельскохозяйственных культур и т. д.

## ЛЕКЦИЯ 4. ЭКОЛОГИЯ БИОТИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВ

### 1. Биоценоз.

Биоценоз, или биотическое сообщество - это надорганизменная система, состоящая из растительности, животных и микроорганизмов. Растительный компонент биоценоза называется фитоценозом, животный зооценозом, микробный - микробиоценозом. Взаимодействуя в непрерывном единстве, биоценоз и биотоп образуют биогеоценоз, или экосистему, представляющую собой более высокий уровень организации, чем популяция, являющаяся составной частью биоценоза. К экосистемам можно относить биотические сообщества любого масштаба - от пруда до Мирового океана или от пня в лесу до крупного лесного массива. Поэтому выделяются следующие уровни экосистем: микроэкосистемы (подушка лишайника), мезоэкосистемы (пруд, озеро, степь), макроэкосистемы (континент, океан), биосфера или глобальная экосистема.

Природные экосистемы являются открытыми: они должны получать извне и отдавать наружу вещества и энергию. Например, биосфера Земли часть веществ отдает в Космос, но при этом и получает вещества из Космоса. Однако запасы усваиваемых организмами веществ безграничны, поэтому эти вещества используются организмами многократно в результате вовлечения их



в круговорот. При отсутствии вечного круговорота веществ и энергии жизнь на Земле была бы невозможна. Сложные биологические взаимодействия в экосистемах осуществляются на основе следующих основных компонентов:

- 1) неорганические вещества, участвующие в круговоротах;
- 2) органические соединения, связывающие биотическую и абиотическую части;
- 3) абиотическая среда - воздушная, водная, почвенная и др.;
- 4) продуценты - автотрофные организмы, в основном зеленые растения;
- 5) консументы - гетеротрофы, в основном животные;
- 6) редуценты или сапротрофы (питающиеся гнилью), в основном бактерии и грибы.

Фотосинтезирующие и хемосинтезирующие организмы создают продукцию - органические вещества в количестве 100 млрд. тонн в год. Примерно столько же веществ должно превратиться в  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в результате дыхания растений.

Дыхание - это гетеротрофный процесс окисления накопленного при фотосинтезе органического вещества. Без процессов дыхания и разложения, как и без фотосинтеза, жизнь на Земле была бы невозможна. Различают аэробное дыхание, когда газообразный кислород присоединяет водород; анаэробное дыхание, когда окислителем служат неорганические вещества; и брожение, когда окислителем является органическое вещество.

Продуктивность экосистемы это скорость усвоения продуцентами солнечного света в процессе фотосинтеза и образования органического вещества, которое может быть использовано затем в качестве пищи. Органическая масса, создаваемая продуцентами в единицу времени, называется первичной продукцией, а прирост в единицу времени массы консументов - вторичной продукцией. Все живые компоненты экосистемы составляют общую массу сообщества в целом. Если скорость изъятия первичной продукции консументами отстает от скорости прироста растений, то происходит прирост биомассы продуцентов и возникает избыток мертвого органического вещества, что приводит к заторфовыванию болот, зарастанию мелких водоемов и т. д.

Трофическая структура экосистемы может быть выражена в виде экологической пирамиды, основанием которой служит уровень продуцентов, а последующие уровни питания образуют этажи и вершину пирамиды. Различают следующие виды пирамид: 1) пирамида чисел (Элтона), отражающая численность организмов на каждом уровне; 2) пирамида биомассы, отражающая массу живого вещества; 3) пирамида продукции (энергии), показывающая изменение первичной продукции (энергии) на каждом трофическом уровне.

Пирамида чисел отражает закономерность того, что количество особей неуклонно уменьшается от продуцентов к консументам. Правило пирамиды биомасс гласит, что суммарная масса растений превышает массу всех травоядных, а их масса превышает биомассу хищников. Правило пирамиды

продукции показывает, что на каждом предыдущем трофическом уровне количество биомассы, создаваемой за единицу времени, больше, чем на последующем. Гомеостаз - способность экосистем и их составляющих противостоять изменениям и сохранять равновесие. Экосистема это саморегулирующаяся система с множеством управляющих механизмов на основе положительных и отрицательных связей. Например, в системе «хищник – жертва» положительная обратная связь усиливает отклонение, или чрезмерно увеличивает популяцию жертвы, а отрицательная связь уменьшает отклонение, ограничивая рост популяции жертвы за счет увеличения численности популяции хищника.

## 2. Видовая, пространственная и экологическая структура биоценоза

Для существования сообщества важна не только численность видов, но и видовое разнообразие, которое является основой биологического разнообразия в природе. Под биоразнообразием понимается разнообразие особей в рамках вида, разнообразие видов и экосистем. Разнообразие является основой стабильности в развитии видов, популяций.

Различают видовую, пространственную и экологическую структуру биоценоза.

Видовая структура - число видов, образующих данный биоценоз, и соотношение их численности или массы. Показателями значимости каждого отдельного вида в видовой структуре биоценоза являются:

- обилие вида, т. е. число или масса особей данного вида на единицу площади или объема занимаемого ими пространства;
- частота встречаемости - процентное отношение числа проб или учетных площадок, где встречается вид, к общему числу проб или учетных площадок;
- степень доминирования - отношение числа особей данного вида к общему числу всех особей рассматриваемой группировки.

Видовое разнообразие - число видов в данном сообществе или регионе. Встречаются бедные и богатые видами биоценозы. Видовое разнообразие зависит от возраста сообщества (молодые сообщества беднее, чем зрелые) и от благоприятности основных экологических факторов, например биоценозы высоких широт, пустынь и высокогорий бедны видами. Высоким видовым разнообразием отличаются экотоны - переходные зоны между сообществами, а увеличение здесь видового разнообразия называется краевым эффектом (например, опушки леса).

В сообществе различают доминантные виды, преобладающие по численности, и второстепенные, или малочисленные и редкие. Среди доминантов особо выделяются эдификаторы (строители) - это виды, определяющие микросреду (микроклимат) всего сообщества (как правило, это растения).

Пространственная структура биоценоза - это распределение организмов разных видов в пространстве (по вертикали и по горизонтали). Пространственная структура образуется прежде всего растительной частью

биоценоза. Различают ярусность, или вертикальную структуру биоценоза, и мозаичность, или структуру биоценоза по горизонтали. Например, в широколиственных лесах выделяются следующие ярусы: деревья первой величины - дуб, липа, вяз; второй величины - рябина, яблоня, груша; подлесок кустарниковый - крушина, жимолость, бересклет, высокие травы; более низкие травы. Экологическая структура является соотношением организмов разных экологических групп. Биоценозы со сходной экологической структурой могут иметь разный видовой состав. Это связано с тем, что одни и те же экологические ниши могут быть заняты сходными по экологии, но далеко не родственными видами. Такие виды называются замещающими, или викарирующими. Любая популяция занимает определенное местообитание и определенную экологическую нишу. Местообитание это территория или акватория, занимаемая популяцией, с комплексом присущих ей экологических факторов. Местообитание вида является компонентом его экологической ниши. Применительно к наземным животным местообитание вида называется стацией, местообитание сообщества - биотопом. Экологическая ниша - это место вида в природе, или совокупность всех факторов среды, в пределах которых возможно неограниченно долгое существование вида в природе, включая не только его положение в пространстве и отношение к абиотическим факторам, но и его функциональную роль в сообществе. Для характеристики экологической ниши обычно используются два важных показателя: ширина ниши и степень перекрытия ее соседними. Экологические ниши разных видов могут быть разной ширины и перекрываются в различной степени. Различают фундаментальную экологическую нишу, определяемую только физиологическими особенностями организма, и реализованную, в пределах которой вид реально существует. Иначе говоря, реализованной является та часть фундаментальной ниши, которую данный вид, популяция в состоянии «завоевать в конкурентной борьбе».

Конкуренция - отрицательные взаимоотношения организмов, при которых они соперничают друг с другом за одни и те же ресурсы внешней среды при недостатке последних. Организмы могут соперничать за пищевые ресурсы, полового партнера, убежище, свет и т. д. В целом конкуренция может рассматриваться как отрицательные взаимодействия организмов в борьбе за существование. Различают прямую и косвенную, межвидовую и внутривидовую конкуренцию. Косвенная (пассивная) конкуренция - борьба за потребление ресурсов среды, необходимых различным видам. Прямая (активная) конкуренция - подавление одного вида другим. Внутривидовая конкуренция - это соперничество между особями одного вида, межвидовая конкуренция возникает между особями разных видов и между популяциями, что вредно сказывается на их росте и выживании. Конкуренция проявляется в виде борьбы за экологические ниши и приводит к естественному отбору в направлении увеличения экологических различий между конкурирующими видами и образованию ими разных экологических ниш.

Но часто бывает и так, что через какое-то время после исчезновения одного вида на его месте оказываются другие организмы, другой вид, выполняющие сходную функцию в экосистеме. Эта закономерность называется правилом замещения, или дублирования: у каждого вида в экосистеме есть "дублер". Такую роль обычно выполняют виды менее специализированные и в то же время экологически более гибкие, адаптивные. Так, копытных в степи замещают грызуны; на мелководных озерах и болотах аистов и цапель замещают кулики и т. п. При этом решающую роль играет не систематическое положение, а близость экологических функций групп организмов.

## Лекция 5. Синэкология

### 1. Природные экосистемы

Экологическая система или экосистема – это «объективно существующая часть природной среды, которая имеет пространственно-территориальные границы и в которой (растения, животные и другие организмы) и неживые её элементы взаимодействуют как единое функциональное целое и связаны между собой обменом вещества и энергии» (Закон РФ «Об охране окружающей среды», №7-ФЗ от 10 января 2002, ст.1).

Термин "экосистема" введен в экологию английским ботаником А. Тенсли (1935). Понятие экосистемы не ограничивается какими-то признаками ранга, размера, сложности или происхождения, поэтому оно приложимо как к относительно простым искусственным (аквариум, теплица, пшеничное поле, обитаемый космический корабль), так и к сложным естественным комплексам организмов и среде их обитания (озеро, лес, океан, экосфера).

Различают водные и наземные экосистемы. Все они образуют на поверхности планеты густую пеструю мозаику. При этом в одной природной зоне встречается множество сходных экосистем - или слитых в однородные комплексы, или разделенных другими экосистемами. Например, участки лиственных лесов перемежающиеся хвойными лесами, или болота среди лесов и т. п. В каждой локальной наземной экосистеме есть *абиотический компонент* - *биотоп*, или *экогон* - участок с одинаковыми ландшафтными, климатическими, почвенными условиями; и биотический компонент — *сообщество*, или *биоценоз* - совокупность всех живых организмов, населяющих данный биотоп. Биотоп является общим местом обитания для всех членов сообщества.

Члены сообщества так тесно взаимодействуют со средой обитания, что биоценоз часто трудно рассматривать отдельно от биотопа. Например, участок земли — это не просто "место", на и множество почвенных организмов и продуктов жизнедеятельности растений и животных. Поэтому их объединяют под названием биогеоценоза: «биотоп + биоценоз = биогеоценоз». *Биогеоценоз* - это элементарная наземная экосистема, главная форма существования природных экосистем. Понятие биогеоценоза ввел В.Н.

Сукачев (1942). Для большинства биогеоценозов определяющей характеристикой является определенный тип растительного покрова, по которому судят о принадлежности однородных биогеоценозов к данному экологическому сообществу (сообщества березового леса, мангровой заросли, ковыльной степи, сфагнового болота и т. п.).

Размеры биогеоценозов, выделяемых экологами, различны. Совокупности определенных биогеоценозов образуют главные природные экосистемы, имеющие глобальное значение в обмене энергии и вещества на планете. К ним относят: тропические леса, леса умеренной климатической зоны, пастбищные земли (степь, саванну, тундру, травянистые ландшафты), пустыни и полупустыни, озера, болота, реки, дельты, горы, острова, моря.

### **Состав и функциональная структура экосистемы**

Каждая экосистема имеет собственное материально-энергетическое хозяйство и определенную *функциональную структуру*.

В каждую экосистему входят группы организмов разных видов, различаемые по *способу питания*: автотрофы (фототрофы и хемотрофы), гетеротрофы (сапрофаги, паразиты и хищники).

**Автотрофы** ("самопитающие") - организмы, образующие органическое вещество своего тела из неорганических веществ: двуокиси углерода и воды - посредством процессов фотосинтеза и хемосинтеза.

Автотрофы составляют основную массу всех живых существ и полностью отвечают за образование всего нового органического вещества в любой экосистеме, т. е. являются производителями продукции - продуцентами экосистем, фиксаторами неисчерпаемой космической энергии.

**Гетеротрофы** ("питающиеся другими") - организмы, потребляющие готовое органическое вещество других организмов и продуктов их жизнедеятельности. Это все животные, грибы и большая часть бактерий. У некоторых групп бактерий, так же как и у большинства растений - паразитов и насекомоядных растений, совмещаются автотрофные и гетеротрофные функции. В отличие от автотрофов-продуцентов, гетеротрофы выступают как потребители и деструкторы (разрушители) органических веществ. В зависимости от источников питания и участия в деструкции они также подразделяются на несколько категорий: консументов, детритофагов и редуцентов.

**Консументы** - потребители органического вещества как источника энергии и веществ для роста, развития и размножения. К их числу относятся:

- растительноядные животные или фитофаги, питающиеся живыми растениями (тля, кузнечик, гусь, овца, олень, слон)
- плотоядные животные - зоофаги, поедающие других животных, различные хищники (хищные насекомые, насекомоядные и хищные птицы, хищные рептилии и звери), нападающие не только на фитофагов, но и на других хищников (хищники второго, третьего порядков);
- паразиты, живущие за счет веществ организма-хозяина; это уже не только

животные (черви, насекомые, клещи), но и различные микроорганизмы (вирусы, бактерии, простейшие), а также некоторые грибы и растения;

- симбиотрофы - бактерии, грибы, простейшие, которые, питаясь соками или выделениями организма-хозяина, выполняют вместе с тем и жизненно важные для него трофические функции, например мицелиальные грибы микоризы, участвующие в корневом питании многих растений; клубеньковые бактерии бобовых, связывающие молекулярный азот; микробное население сложных желудков жвачных животных, повышающее переваримость и усвоение поедаемой растительной пищи.

*Детритофаги, и сапрофаги* - организмы, питающиеся мертвым органическим веществом - остатками растений и животных. Это различные гнилостные бактерии, грибы, черви, личинки насекомых, жуки-копрофаги и другие животные — все они выполняют функцию очищения экосистем. Детритофаги участвуют в образовании почвы, торфа, донных отложений водоемов.

*Редуценты* - бактерии и низшие грибы - завершают деструктивную работу консументов и сапрофагов, доводя разложение органики до ее полной минерализации и возвращая в среду экосистемы последние порции двуокиси углерода, воды и минеральных элементов.

Все названные группы организмов в любой экосистеме тесно взаимодействуют между собой, согласуя потоки вещества и энергии. Их совместное функционирование не только поддерживает структуру и целостность биоценоза, но и оказывает существенное влияние на абиотические компоненты биотопа, обуславливая самоочищение экосистемы, ее среды. Это особенно хорошо проявляется в водных экосистемах, где существуют группы организмов-фильтраторов. Известно, например, какую большую роль в очищении воды озера Байкал играет небольшой рачок эпишура.

Важной характеристикой экосистем является разнообразие видового состава. При этом выявляется РЯД ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ:

- чем разнообразнее условия биотопов в пределах экосистемы, тем больше видов содержит соответствующий биоценоз;

- чем больше видов содержит экосистема, тем меньше особей насчитывают соответствующие видовые популяции. В биоценозах тропических лесов при большом видовом разнообразии популяции относительно малочисленны. Напротив, в системах с малым видовым разнообразием (биоценозы пустынь, сухих степей, тундры) некоторые популяции достигают большой численности;

- чем разнообразнее биоценоз, тем больше экологическая устойчивость экосистемы; биоценозы с малым видовым разнообразием подвержены большим колебаниям численности доминирующих видов;

- эксплуатируемые человеком системы, представленные одним или очень малым числом видов (агроценозы с земледельческими монокультурами), неустойчивы по своей природе и не могут самоподдерживаться;

- никакая часть экосистемы не может существовать без другой. Если по какой-либо причине происходит нарушение структуры экосистемы, исчезает

группа организмов, вид, то по закону цепных реакций может сильно измениться или даже разрушиться все сообщество.

Любую экосистему можно уподобить единому механизму, потребляющему энергию и питательные вещества для совершения работы. Питательные вещества первоначально происходят из абиотического компонента системы, в который в итоге и возвращаются либо в качестве отходов жизнедеятельности, либо после гибели и разрушения организмов. Таким образом, в экосистеме происходит постоянный круговорот питательных веществ, в котором участвуют и живой, и неживой компонента. Такие круговороты называются **биогеохимическими циклам**. Движущей силой этих круговоротов служит в конечном счете энергия Солнца; фотосинтезирующие организмы непосредственно используют энергию солнечного света и затем передают ее другим представителям биотического компонента. В итоге создается поток энергии и питательных веществ через экосистему. Необходимо еще отметить, что климатические факторы абиотического компонента, такие как температура, движение атмосферы, испарение и осадки, тоже регулируются поступлением солнечной энергии.

Для того чтобы понять, почему имеет место линейный поток энергии через экосистему, а не ее круговорот и повторное использование (как в случае питательных веществ), необходимо коротко рассмотреть термодинамические законы физики.

Энергия может существовать в виде различных взаимопревращаемых форм, таких как механическая, химическая, тепловая или электрическая энергия. Переход одной формы в другую называется преобразованием энергии, подчиняется законам термодинамики. *Первый закон термодинамики* (закон сохранения энергии) гласит, что энергия может превращаться из одной формы в другую, но не может быть создана или уничтожена.

*Второй закон* утверждает, что при совершении работы энергия не может быть использована на все 100% и часть ее неизбежно превращается в тепло. Тепло есть результат случайного движения молекул, тогда как работа всегда означает неслучайное (т. е. упорядоченное) использование энергии. Понятие работы приложимо к любому процессу, протекающему в живой системе с потреблением энергии, начиная от процессов на клеточном уровне, таких как поддержание электрических градиентов на мембране и синтез белков, и кончая процессами на уровне целого организма (рост, развитие, репарация, размножение). Таким образом, живые организмы - это преобразователи энергии, и каждый раз, когда происходит превращение энергии, часть ее теряется в виде тепла. В итоге вся энергия, поступающая в биотический компонент экосистемы, рассеивается в виде тепла.

**Первоисточником энергии для экосистем служит Солнце.** Солнце - звезда, излучающая в космос огромное количество энергии. Энергия распространяется в космическом пространстве в виде электромагнитных волн, и небольшая часть ее, составляющая примерно  $10,5 \times 10^6$  кДж/м<sup>2</sup> в год, захватывается Землей.

Около 40% этого количества сразу отражается от облаков, атмосферной пыли и поверхности Земли без какого бы то ни было теплового эффекта. Еще 15% поглощается атмосферой (в частности озоновым слоем в ее верхних частях) и превращается в тепловую энергию или расходуется на испарение воды. Оставшиеся 45% поглощаются растениями или земной поверхностью. Большая часть энергии повторно излучается земной поверхностью и нагревает атмосферу; приблизительно две трети энергии поступает в атмосферу этим путем. И только небольшая часть пришедшей от Солнца энергии усваивается биотическим компонентом экосистемы в процессе фотосинтеза.

**Фотосинтез** - единственный процесс в биосфере, ведущий к увеличению свободной энергии биосферы за счет внешнего источника Солнца и обеспечивающий существование как растений, так и всех гетеротрофных организмов, в т. ч. и человека. Принципиальное различие между потоками вещества и энергии в экосистеме заключается в том, что биогенные элементы, составляющие органическое вещество, могут многократно участвовать в круговороте веществ, тогда как поток энергии однонаправлен и необратим.

Из всей энергии проходящей через экосистемы наиболее важна та её часть, которая ассимилируется организмами. Запасенная в продуктах фотосинтеза энергия (в виде различных видов топлива) является основным источником энергии человечества.

*Биологическая продуктивность* - общее количество органического вещества (биомасса) производимое за единицу времени на единицу площади.

*Первичная продуктивность* - биомасса, произведенная в процессе фотосинтеза автотрофами.

*Вторичная продуктивность* - биомасса, полученная гетеротрофами за единицу времени на единицу площади.

Первичная продукция делится на валовую и чистую:

*Валовая первичная продуктивность* - равна общему количеству продуктов фотосинтеза за определенный период (сутки, месяц, сезон)

*Чистая первичная продуктивность* - равна разности между валовой ПП и энергией затраченной на дыхание (процессы жизнедеятельности, размножение и т.п.)

У травянистых растений на дыхание используется 40-50%, а у деревьев 70-80% валовой ПП. Ежегодно в результате фотосинтеза на Земле образуется 170 млрд. т органического вещества и выделяется около 200 млрд. т свободного кислорода, причем две трети ПП производится на суше. Общая площадь наземных экосистем 149 млн. кв. км, морских - 361 млн. кв.км. Наиболее продуктивны влажные тропические леса - их чистая ПП составляет 1000-3500 г/ кв.м/ год. В среднем наземные экосистемы имеют ПП 773г/ кв.м/ год, а морские экосистемы производят 152 г/ кв.м/ год. Вторичная продукция биосферы составляет 3934 млн. т/ год, из них около 75% дают морские сообщества. Человек потребляет лишь 0,2% первичной продукции биосферы, хотя культурные растения дают около 16% от всей ПП суши.



•Автотрофы аккумулируют солнечную энергию и «кормят» всех - так создаются:

*Пищевые цепи* - последовательность групп организмов, каждая из которых (пищевое звено) служит пищей для последующей группы - «кто кого и сколько поедает».

*Пищевые сети* - разветвленные и пересекающиеся пищевые цепи, где один и тот же вид потребляет несколько других. Различают несколько типов пищевых цепей:

•Пастбищные пищевые цепи - *цепи выедания*

а) *цепи эксплуататоров* начинаются с продуцентов: *травяно-полёвка - лисица*. Для такой цепи переход с одного трофического уровня на другой характеризуется увеличением размеров особей, уменьшением плотности популяции, скорости размножения и продуктивности по биомассе.

б) *цепи паразитов* - *яблоня - щитовка - наездник* или *корова - слепень - бактерии - фаги* - характеризуются уменьшением размеров особей при увеличении их численности, скорости размножения и плотности популяции.

•*Детритные пищевые цепи* - цепи разложения, включают детритофагов (черви, клещи, личинки) и редуцентов - опавшие листья - плесневые грибы - бактерии - могут переходить в цепи эксплуататоров или паразитов.

*Трофические уровни* - место каждого звена в пищевой цепи или сети. Первый трофический уровень - образуют продуценты; второй ТУ - фитофаги, первичные консументы; третий ТУ - зоофаги, вторичные консументы. Многие виды питаются не на одном, а нескольких ТУ, например диета серой крысы, бурого медведя или человека. Совокупность трофических уровней различных экосистем моделируется с помощью экологических пирамид.

*Экологические пирамиды* - графическое изображение соотношения трофических уровней, выраженных в единицах массы (пирамиды массы); числа особей (пирамиды чисел Элтона) или заключенной в особях энергии (пирамиды энергии).

Е. Одум в упрощенной модели (рис.1.18 Экологические пирамиды) предложил пищевую цепь ЛЮЦЕРНА - ТЕЛЕНОК - МАЛЬЧИК. Если мальчик в течение года питался только телятиной, то для этого потребовалось бы 4,5 теленка, а для их пропитания необходимо 20 млн. растений люцерны выращенной на площади 4 га.

Результаты расчетов, представлены в виде трех пирамид - чисел, биомассы и энергии - свидетельствуют, что люцерна использует всего 0,24% всей падающей на поле солнечной энергии, теленком усваивается 8% этой продукции и только 0,7% биомассы теленка обеспечивает развитие ребенка в течение года.

Таким образом, показано, что только одна миллионная доля солнечной энергии превращается в биомассу консументов второго порядка.

Следует отметить, что если за сутки продуценты зафиксировали 1000 ккал/ кв. м, то лишь 10 ккал/ кв. м/сут. переходит в биомассу фитофагов и только 1 ккал/ кв. м/сут. в биомассу плотоядных.

В природе в стабильных экосистемах, биомасса изменяется незначительно, т.к. в сообществах полностью используется валовая продукция. Знание количественных показателей энергетики экосистем позволяет учесть возможности изъятия из неё определенного количества биомассы без подрыва продуктивности. Человек создает агроценозы, стремясь получать как можно больше чистой продукции растительности. Однако, необходимо тратить половину растительной массы на корм животным, часть продукции идет в промышленность, теряется в отходах, т.о. расходуется около 90% чистой продукции и человеком используется менее 10%. Вывод: человеком чистая продукция (урожай) агросистем подчиняется тем же закономерностям распределения вещества и энергии между трофическими уровнями, что и в природных экосистемах.

### СТАБИЛЬНОСТЬ И РАЗВИТИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

В природных экосистемах происходят постоянные изменения состояния во времени сообществ, популяций. Изменения могут быть циклическими и направленными. Они вызываются различными причинами:

кратковременные (случайные) - погодными условиями и биотическими воздействиями;

сезонные (особенно в умеренных и высоких широтах) большим годовым ходом температуры;

многолетние (от года к году) - вызваны различными случайными сочетаниями абиотических и биотических факторов.

Однако все эти колебания, как правило, более или менее регулярны и не выходят за границы устойчивости экосистемы - ее обычного размера, видового состава, биомассы, продуктивности, соответствующих географическим и климатическим условиям местности.

Направленные закономерные изменения во времени, структуре и функционировании биоценозов на одной и той же территории, называют *сукцессией* - (succession лат.- наследование, последовательность, смена). Стремясь к поддержанию гомеостаза - способности противостоять изменениям и сохранять динамическое относительное постоянство - экосистемы, тем не менее способны к изменениям, развитию, переходу от более простых к более сложным формам. Последовательный ряд постепенно и закономерно сменяющих друг друга в сукцессии сообществ называют *сукцессионной серией*. Знать принципы процесса сукцессии необходимо для того, чтобы грамотно подходить к восстановлению антропогенных ландшафтов и сохранению искусственных биоценозов на ранних стадиях развития.

Масштабные изменения географической обстановки или типа ландшафта под влиянием природных катастроф или деятельности человека приводит к последовательным изменениям состояния биогеоценозов - вторичным сукцессиям.

*Вторичные сукцессии* - это восстановление экосистемы на территории, где уже существовало, и было разрушено сообщество. Такой вид сукцессии проходит в сравнительно короткий период и не связан с эволюцией видов

Сукцессия завершается стадией равновесного состояния - такое состояние экосистемы называют климаксом (от греч. лестница) - термин введен в 1916 г. Ф. Клементсом, для обозначения конечной (терминальной) стабильной стадии развития экосистем в данной области, что в значительной степени определяется климатом, почвой, биотическими и антропогенными факторами.

Климаксные сообщества характеризуются устойчивым динамическим равновесием между биотическими потенциалами популяций и сопротивлением среды. Как правило, устойчивость экосистемы тем больше, чем больше она по размеру, а также богаче и разнообразнее ее видовой и популяционный состав.

Некоторые агроэкосистемы долгое время остающиеся стабильными, можно рассматривать как антропогенные климаксные биоценозы - например сельское хозяйство Голландии, Бельгии, древняя заливная культура риса. Это возможно, если импорт и чистая продукция уравниваются в среднем дыханием и экспортом (сбор урожая), при этом ландшафт не меняется.

### **Сельскохозяйственные экосистемы – организация и особенности функционирования**

Эволюция человеческого общества сопровождалась целенаправленным изменением природной среды, примером чего являются созданные искусственные биогеоценозы (антропоценозы) – город, фермы, сады, поля, пруды, парки и т.д.

Сельское хозяйство существенно трансформирует природные комплексы. В результате сформировались разнообразные антропогенные сельскохозяйственные системы (пашни, сады, луга, пастбища и т.д.), занимающие около трети суши, в том числе почти 1,5 млрд. га пашни.

*Антропогеоценоз* - биокосная система, компонентами которой являются люди, человеческие поселения и окружающая человека живая и неживая природа. Антропогеоценоз может не ограничиваться пределами населенного пункта. Он может распространяться на всю территорию, которую население эксплуатирует, на все пространство, являющееся объектом хозяйственной деятельности людей.

Под *сельскохозяйственной экологической системой* понимают природный комплекс, преобразованный сельскохозяйственной деятельностью человека. Как биокосные системы, они имеют многоуровневую, иерархическую организацию. Сельскохозяйственной экосистемой наивысшего иерархического уровня считается *агросфера* - поверхность суши, вовлеченная в сельскохозяйственное производство.

*Агросфера* состоит из экосистем низшего уровня - аграрных ландшафтов, которые, в свою очередь, представляют совокупность полевых, пастбищных, ферменных биогеоценозов. В аграрных ландшафтах человек создал природно-технические системы для обитания растений (теплицы, оранжереи и т. д.), млекопитающих животных (коровники, свинарники, конюшни, кошары), птиц

(птичники, птицефабрики), полезных насекомых (ульи для пчел и т.д.). Теплицы и оранжереи, скотные дворы, животноводческие фермы и комплексы, ульи и аквариумы - это природно-технические системы, функционирующие по принципу искусственных биогеоценозов.

*Агросфера* - глобальная экосистема, объединяющая всю территорию Земли, преобразованная сельскохозяйственной деятельностью человека;

*аграрный ландшафт* - экосистема, сформировавшаяся в результате сельскохозяйственного преобразования ландшафта (степного, таежного и т. д.);

*сельскохозяйственная экологическая система* (или сельскохозяйственная экосистема) - экосистема на уровне хозяйства;

*агробиогеоценоз* - поле, сад, бахча, теплица, оранжерея; пастбищный биогеоценоз - природное или культурное пастбище, используемое для выпаса сельскохозяйственных животных;

ферменный биогеоценоз - конюшня, коровник, свинарник, кошара, птичник, животноводческий комплекс, зоопарк, виварий.

*Агроэкосистемы* (агроценозы) - сельскохозяйственные экосистемы, создаваемые с целью получения сельскохозяйственной продукции и регулярно поддерживаемые человеком биотические сообщества, обладающие малой экологической надежностью, но высокой урожайностью (продуктивностью) одного или нескольких из разных видов растений или животных.

*Экологическая надежность* – способность экосистемы относительно полно и самостоятельно восстанавливаться и регулироваться в течение сукцессионного или эволюционного периода её существования.

Несмотря на большое разнообразие, сельскохозяйственные экосистемы разных уровня и иерархии имеют много общего, что отличает их от природных экосистем.

Черты сходства агроценоза и природного биогеоценоза:

- являются открытыми системами, в том числе поглощают солнечную энергию извне);
- внутри каждого из них действуют факторы эволюции (наследственная изменчивость, естественный или искусственный отбор, борьба за существование);
- имеют сходную структуру – состоят из продуцентов, консументов и редуцентов;
- во всех биогеоценозах действует правило экологической пирамиды, имеют место пищевые цепи;
- в основе сообщества лежат продуценты (автотрофные организмы), непосредственно использующие энергию Солнца для синтеза органических веществ.

Таблица 6

Черты отличия агроценоза от природного биогеоценоза

Природный биогеоценоз	Агроценоз
Сложившийся естественным путем видовой состав сообщества–	Искусственный подбор выращиваемых (разводимых)

растения, животные, микроорганизмы	сельскохозяйственных культур (животных)
Видовой состав разнообразный	Видовой состав крайне малочисленный
Численность видов сбалансирована с помощью процессов саморегуляции	Численность одного или нескольких видов преобладает над другими, регулируется человеком
Пищевые цепи длинные, пищевые сети сложные	Пищевые цепи короткие
Органическое вещество остается внутри системы, относительно замкнутый круговорот веществ	Органические вещества удаляются из системы человеком в качестве урожая, разрывается круговорот веществ
Основной источник энергии Солнце	Получают, кроме солнечной, дополнительную энергию (горючее и техника, удобрение и орошение семян), субсидируемые человеком
Устойчивые природные системы, некоторые достигли климакса в закономерном развитии	Упрощенные экосистемы, на ранних стадиях сукцессии, поэтому они не способны к саморегуляции и не могут существовать без поддержки человека
Преобразование почвы осуществляется естественным путем в результате жизнедеятельности организмов	Обработка почвы ведется человеком
Внутри биогеоценозов факторы эволюции действуют активно	Действие факторов эволюции искусственно ослаблено человеком, культурные растения и животные не конкурентно способные с дикой природе

## Биосфера – глобальная экосистема Земли

### 1. Структура биосферы

Биосфера - глобальная экосистема, область обитания живых организмов, состав, структура и энергетика которой определяются и контролируются планетарной совокупностью живых организмов - биотой. Она не образует сплошного слоя с четкими границами, а как бы "пропитывает" другие геосферы планеты, охватывая всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы.

Впервые термин «биосфера» был введен в науку австралийским геологом Э. Зюссом в 1875 г.

Развитие учение о биосфере принадлежит великому русскому ученому В. И. Вернадскому (1926, 1987).

По новейшим данным, масса Земли составляет  $6 \cdot 10^{21}$  т, объем -  $1,083 \cdot 10^{12}$  км<sup>3</sup>, площадь поверхности - 510,2 млн. км<sup>2</sup>. Она состоит из концентрических оболочек (геосфер) - внутренних и внешних. К внутренним относятся ядро, мантия, а к внешним - литосфера (земная кора), гидросфера, атмосфера и сложная оболочка Земли - биосфера. Размеры, а, следовательно, и все природные ресурсы нашей планеты ограничены. Земля и окружающая ее среда в сегодняшнем ее виде сформировались в результате закономерного развития всей солнечной системы примерно за 4,7 млрд. лет. Солнечное тепло - одно из главных слагаемых климата Земли, основа для развития многих геологических процессов. Огромный тепловой поток исходит из глубины Земли

Наша планета имеет неоднородное строение и состоит из концентрических оболочек (геосфер) – внутренних и внешних. К внутренним относятся ядро, мантия, а к внешним – литосфера(земная кора), гидросфера, атмосфера.

Литосфера (от греч. «литос» - камень) - каменная оболочка Земли, включающая земную кору мощностью (толщиной) от 6 (под океанами) до 80 км (горные системы). Земная кора сложена горными породами, среди которых более 70% магматических пород, 17% метаморфических (преобразованных давлением и температурой) и чуть больше 12% приходится на осадочные породы. Она является важнейшим ресурсом для человечества: содержит топливно-энергетическое сырье, рудные и нерудные полезные ископаемые, естественные строительные материалы. Взаимодействие абиотической части биосферы - воздуха, воды и горных пород и органического вещества - биоты, обусловило формирование почв и осадочных пород.

Атмосфера - (от греч. «атмос» - пар) - газообразная оболочка планеты, состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли. Земля, получая космическую пыль и метеоритный материал, теряет самые легкие газы: водород и гелий. Общая масса атмосферы -  $5,15 \cdot 10^{15}$  т.

Атмосфера Земли насквозь пронизывается мощной радиацией Солнца, определяющей тепловой режим поверхности планеты, вызывающей диссоциацию молекул атмосферных газов и ионизацию атомов. Атмосферу делят на тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу, экзосферу. В формировании природной среды Земли велика роль тропосферы - нижний слой атмосферы до высоты 8-10 км в полярных, 10-12 - в умеренных и 16-18 км в тропических широтах. В тропосфере происходят глобальные вертикальные и горизонтальные перемещения воздушных масс, во многом определяющие круговорот воды, теплообмен, перенос пылевых частиц и загрязнений. Обширная часть разреженной верхней атмосферы состоит преимущественно из ионов. Эта область обозначается как ионосфера. Большая часть массы атмосферы имеет относительно однородный азотно-кислородный состав. В тропосфере во взвешенном состоянии присутствуют также твердые и жидкие частицы, которые, как правило, называют аэрозолями. Главными составными частями атмосферы являются азот, кислород, аргон и углекислый газ.

Одним из важнейших компонентов атмосферы является озон ( $O_3$ ). На высоте от 10 до 50 км, с максимумом концентрации на высоте 20 - 25 км, расположен слой озона, защищающий Землю от чрезмерного ультрафиолетового облучения, губельного для организмов. Его образование и разложение связаны с поглощением ультрафиолетовой радиации Солнца. Для образования озона необходимы свободные атомы кислорода, которые возникают при разложении молекул кислорода ( $O_2$ ) под действием квантов излучения в ультрафиолетовой области: озон образуется при столкновении  $O + O_2 = O_3$ .

Выше 40 км по мере поднятия в более высокие горизонты атмосферы увеличивается доля атомарного кислорода. А выше 150 км практически весь кислород диссоциирован на атомы. Атомарный кислород легко ионизируется излучением Солнца. Диссоциация молекул азота происходит выше, чем у кислорода примерно с высоты 200 км, а выше 300 км азот полностью диссоциирован и состоит из изолированных атомов. На высотах 150-200 км в атмосфере происходит диффузное разделение газов. Выше - возрастает пропорция легких газов. Так во внешних слоях атмосферы наиболее распространены атомы и ионы водорода, концентрация которых в нижних слоях земной атмосферы очень мала.

Гидросфера (от греч. «гидора» - вода) - водная оболочка Земли. Ее подразделяют на поверхностную и подземную. Объем гидросферы не превышает 0,13% объема земного шара. Мировой океан составляет 96,53% от общего объема гидросферы, подземные воды - 1,69% (23,4 млн. км<sup>3</sup>), остальное - воды рек, озер и ледников. От всех водных ресурсов Земли соленые воды составляют 98%, пресные - около 2% (28,25 млн. км<sup>3</sup>). Основная часть пресных вод сосредоточена в ледниках, воды которых пока используются очень мало. На долю пресных вод, пригодных для водоснабжения, приходится всего 0,3% (4,2 млн. км<sup>3</sup>).

Гидросфера играет огромную роль в формировании природной среды нашей планеты. Весьма активно она влияет на атмосферные процессы (нагревание и охлаждение воздушных масс, насыщение их влагой и т.д.).

Вследствие высокой подвижности воды проникают повсеместно в различные природные образования. Они находятся в виде паров и облаков в земной атмосфере, формируют океаны и моря, существуют в замороженном состоянии в высокогорных районах континентов и в виде мощных ледниковых панцирей покрывают полярные участки суши. Атмосферные осадки проникают в толщи осадочных пород, образуя подземные воды. Вода способна растворять в себе многие вещества, в связи с этим воды гидросферы можно рассматривать в качестве естественных растворов разной степени концентрации. Наиболее чистые атмосферные воды содержат 10-50 мг/л растворенных веществ. Морская (океаническая) вода представляет собой раствор, содержащий в 1 кг в среднем 35 г вещества. Можно считать, что в морской воде присутствуют все химические элементы таблицы Менделеева. Однако преобладающая часть растворенных веществ образована немногими химическими элементами: Na, Mg, Ca, Cl, S. Они находятся в морской воде в виде ионов.

## 2. Биомасса и продуктивность экосферы

Судя по оценкам биомассы и продуктивности биомов, суммарная биомасса экосферы (в расчете на сухое вещество) составляет около 1,4 трлн. т, ежегодная продукция биомассы в 10 раз меньше. Эти данные приблизительны, т. к. биомасса и продукция микроорганизмов оцениваются по косвенным данным. Живое вещество экосферы на 98,6% представлено биомассой наземных растений, которые в основном определяют и химический состав суммарной биомассы.

Согласно В.И. Вернадскому вещество биосферы состоит из:

- *живого вещества* - биомассы современных живых организмов;
- *биогенного вещества* - всех форм детрита, а также торфа, угля, нефти и газа биогенного происхождения;
- *биокосного вещества* - смесей биогенных веществ с минеральными породами небиогенного происхождения (почва, илы, природные воды, газо- и нефтеносные сланцы, битуминозные пески, часть осадочных карбонатов);
- *косного вещества* - горных пород, минералов, осадков, не затронутых прямым биогеохимическим воздействием организмов.

По данным, основанным на содержании энергии или углерода, количества живого, биогенного и биокосного вещества в биосфере соотносятся как 1:20:4000.

В понятие биосферы следует включать только те элементы и характеристики, которые находятся под контролем биоты, и не следует включать компоненты природы, относящиеся к геологическому прошлому. Таким образом, к биосфере относятся вся совокупность живых организмов и все вещества, которые находятся под контролем потребления, трансформации и продуцирования живыми организмами (т. е. современное «биогенное вещество»).

## 3. Биогеохимические принципы В.И.Вернадского

Учение В.И. Вернадского о биосфере - это целостное фундаментальное учение, органично связанное с важнейшими проблемами сохранения и развития жизни на Земле, знаменующее собой принципиально новый подход к изучению планеты как развивающейся саморегулирующейся системы в прошлом, настоящем и будущем. Сущность учения В.И.Вернадского заключена в признании исключительной роли «живого вещества», преобразующего облик планеты. По словам В.И. Вернадского, «на земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а потому более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом».

Роль живого вещества в биосфере Вернадский базирует на трех основных положениях, которые назвал *биогеохимическими принципами*.

*1 принцип:* биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению. Прогрессивная эволюция любой экосистемы ведет к увеличению суммарного протока энергии



через нее. Эта закономерность проявляется в способности живого к распространению, развитию, во «всюдности жизни» (выражение В.И. Вернадского).

*II принцип:* эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию устойчивых в биосфере форм жизни, идет в направлении, усиливающем биогенную миграцию атомов. Согласно этому принципу преимущества в ходе эволюции получают те организмы, которые приобрели способность усваивать новые формы энергии или "научились" полнее использовать химическую энергию, запасенную в других организмах.

*III принцип:* живое вещество находится в непрерывном химическом обмене с космической средой, его окружающей, и создается и поддерживается на нашей планете космической энергией Солнца. Этот принцип очень важен для понимания тех процессов, которые обычно называют самоорганизацией биологических структур.

#### 4. Круговорот веществ в природе

*Большой круговорот веществ в природе* (геологический) обусловлен взаимодействием солнечной энергии с глубинной энергией Земли и перераспределяет вещества между биосферой и более глубокими горизонтами Земли. Символом круговорота веществ является спираль: каждый новый цикл круговорота не повторяет в точности старый, а вносит что-то новое, что со временем приводит к весьма значительным изменениям. Круговорот воды в целом играет основную роль в формировании природных условий на нашей планете. С учетом транспирации воды растениями и поглощения ее в биогеохимическом цикле, весь запас воды на Земле распадается и восстанавливается за два миллиона лет.

*Малый круговорот веществ в биосфере (биогеохимический)*, в отличие от большого, совершается лишь в пределах биосферы. Сущность его - в образовании живого вещества из неорганических соединений в процессе фотосинтеза и в превращении органического вещества при разложении вновь в неорганические соединения. Этот круговорот для жизни биосферы - главный, и он сам является порождением жизни. Изменяясь, рождаясь и умирая, живое вещество поддерживает жизнь на нашей планете, обеспечивая биогеохимический круговорот веществ.

Круговороты отдельных веществ В.И. Вернадский назвал *биогеохимическими циклами*. Суть цикла в следующем: химические элементы, поглощенные организмом, впоследствии его покидают, уходя в абиотическую среду, затем, через какое-то время, снова попадают в живой организм и т.д. Такие элементы называют *биофильными*. Этими циклами и круговоротом в целом обеспечиваются важнейшие *функции живого вещества* в биосфере. В.И. Вернадский выделяет пять таких функций:

- первая функция - *газовая* - основные газы атмосферы Земли, азот и кислород, биогенного происхождения, как и все подземные газы - продукт разложения отмершей органики;
- вторая функция - *концентрационная* - организмы накапливают в своих

телах многие химические элементы, среди которых на первом месте стоит углерод, среди металлов первый кальций, концентраторами кремния являются диатомовые водоросли, йода - водоросли - ламинария, фосфора - скелеты позвоночных животных;

- третья функция - *окислительно-восстановительная* - метаболизм организмов основан на биохимических реакциях с изменением степени окисления веществ, универсальными окислителями выступают атомы кислорода и восстановителями - водорода;

- четвертая функция - *энергетическая* - существование живого вещества обусловлено превращениями энергии; аккумуляция энергии происходит лишь в реакциях фотосинтеза и затем расходуется в процессах размножения, роста и перемещения в пространстве («расползание») живого вещества;

- пятая функция - *биогеохимическая деятельность* - охватывает все разрастающееся количество вещества земной коры, в том числе таких концентраторов углерода, как уголь, нефть, газ и др.

Все эти циклические процессы движутся солнечной энергией, естественно, расходуя ее. В связи с этим следует отметить лишь один-единственный на Земле процесс, который не тратит, а, наоборот, связывает солнечную энергию и даже накапливает ее, - это создание органического вещества в результате фотосинтеза. В связывании и запасании солнечной энергии заключается основная планетарная функция живого вещества на Земле.

### Основные виды антропогенных воздействий на биосферу

Биосфера - весьма динамичная планетарная экосистема, которая постоянно изменялась под воздействием различных природных процессов. В результате длительной эволюции биосфера выработала способность к саморегуляции и нейтрализации негативных процессов. Достигается это посредством сложного механизма круговорота веществ в природе. Главным событием эволюции биосферы явилось приспособление организмов к изменяющимся внешним условиям путем изменения внутривидовой информации. Гарантом динамической устойчивости биосферы в течение миллиардов лет служила естественная биота.

Однако в последний геологический период планетарная экосистема, адаптированная к воздействию природных факторов, все в большей степени стала испытывать влияние новых, небывалых по силе, мощности и разнообразию воздействий. Вызваны они человеком, а потому называются антропогенными. Под *антропогенными воздействиями* понимают деятельность, связанную с реализацией экономических, военных, рекреационных, культурных и других потребностей и интересов человека и вносящую физические, химические, биологические и другие изменения в окружающую природную среду. Основными видами вмешательства человека в экологические процессы являются: упрощение экосистем и разрыв

биологических циклов, концентрация рассеянной энергии в виде теплового загрязнения, рост числа ядовитых отходов от химических производств, введение в экосистему новых видов, появление генетических изменений в организмах растений и животных.

подавляющая часть антропогенных воздействий носит целенаправленный характер, т. е. осуществляется человеком сознательно во имя достижения конкретных целей. Последствия антропогенных воздействий можно разделить на положительные и отрицательные (негативные). К положительным воздействиям человека на биосферу можно отнести воспроизводство природных ресурсов, восстановление запасов подземных вод, полезащитное лесоразведение, рекультивацию земель на месте разработок полезных ископаемых и некоторые другие мероприятия. Отрицательное воздействие проявляется в вырубке леса на больших площадях, истощении запасов пресных подземных вод, засолении и опустынивании земель, резком сокращении численности и исчезновении некоторых видов животных и растений.

Главнейшим и наиболее распространенным видом отрицательного воздействия человека на биосферу является ее загрязнение, т. е. поступление в окружающую природную среду любых твердых, жидких и газообразных веществ, микроорганизмов или энергии в виде звуков, шумов, излучений в количествах, вредных для здоровья человека, животных, состояния растений и экосистем. Источниками антропогенного загрязнения являются промышленные предприятия, предприятия теплоэнергетики, транспорт, сельскохозяйственное производство и другие объекты. Под влиянием урбанизации в наибольшей степени загрязнены территории крупных городов и промышленных агломераций. По своей природе загрязнения разделяются на *химические, физические и биологические*. По масштабам распространения загрязнения могут быть локальными, региональными и глобальными.

Количество загрязняющих веществ в мире огромно, но наиболее распространенными из них являются оксиды серы, углерода и азота, тяжелые металлы, канцерогенные вещества, радионуклиды.

Воздействие человека на биосферу достигло к настоящему времени беспрецедентных размеров. Современное состояние планеты оценивается как приближенное к глобальному кризису. Особенно возросли темпы роста загрязнений, причем не только в количественном, но и в качественном отношении. Негативные тенденции этих воздействий на человека и биоту носят не только локальный, но и глобальный характер.

## ЛЕКЦИЯ 6.

### АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРУ

#### 1. Загрязнение атмосферного воздуха

Значение атмосферного воздуха для всего живого на Земле огромно: человек может находиться без пищи пять недель, без воды - пять дней, а без

воздуха всего лишь пять минут. При этом воздух должен иметь определенную чистоту и любое отклонение от нормы опасно для здоровья.

Атмосферный воздух выполняет и сложнейшую защитную экологическую функцию, предохраняя Землю от абсолютно холодного Космоса и потока космических и солнечных излучений. В атмосфере идут глобальные метеорологические процессы, формируются климат и погода, задерживается основная масса метеоритов, Кроме того, атмосфера обладает способностью к самоочищению. Оно происходит при вымывании аэрозолей из атмосферы осадками, турбулентном перемещении приземного слоя воздуха, отложении загрязняющих веществ на поверхности земли и др. Однако в современных условиях возможности природных систем самоочищения атмосферы серьезно подорваны. Под воздействием антропогенных загрязнений в атмосфере стали проявляться весьма нежелательные экологические последствия, в результате чего атмосферный воздух уже не в полной мере выполняет свои защитные, терморегулирующие и жизнеобеспечивающие экологические функции.

Крупнейшие глобальные экологические проблемы современности – «парниковый эффект», разрушение озонового слоя, выпадение кислотных дождей - связаны с антропогенным загрязнением атмосферы. Охрана атмосферного воздуха - ключевая проблема оздоровления окружающей природной среды.

Под *загрязнением атмосферного воздуха* следует понимать любое изменение его состава и свойств, которое оказывает негативное воздействие на здоровье человека и животных, состояние растений и экосистем. Загрязнение атмосферы может быть естественным (природным) и антропогенным (техногенным). *Естественное загрязнение* воздуха вызвано такими природными процессами, как вулканическая деятельность, ветровая эрозия, массовое цветение растений, дым от лесных и степных пожаров и др. Антропогенное загрязнение связано с выбросом различных загрязняющих веществ в процессе деятельности человека. По своим масштабам оно значительно превосходит природное загрязнение атмосферного воздуха. В зависимости от масштабов распространения выделяют местное, региональное и глобальное загрязнения атмосферы. *Местное* загрязнение характеризуется повышенным содержанием загрязняющих веществ на небольших территориях - город, промышленный район, сельскохозяйственная зона и др. При *региональном* загрязнении в сферу негативного воздействия вовлекаются значительные пространства, но не вся планета. *Глобальное* загрязнение связано с планетарным изменением состояния атмосферы.

По агрегатному состоянию выбросы вредных веществ в атмосферу классифицируются на газообразные (оксиды серы, оксиды азота и углерода, углеводороды и др.), жидкие (кислоты, щелочи, растворы солей и др.), твердые (органическая и неорганическая пыль, сажа, смолистые вещества и др.). *Главные загрязнители атмосферного воздуха* - оксиды серы ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ), оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ), оксиды углерода (CO) и твердые частицы. На их долю приходится

около 98% в общем объеме выбросов вредных веществ. Помимо этого в атмосфере городов и поселков наблюдается еще более 70 наименований вредных веществ, среди которых формальдегид, фтористый водород, соединения свинца, аммиак, фенол, бензол, сероуглерод и др.

Основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха на территории России вносят теплоэнергетика (тепловые и атомные электростанции, промышленные и городские котельные), предприятия черной и цветной металлургии, нефтедобычи и нефтехимии, автотранспорт и производство стройматериалов. Основной объем выбросов загрязняющих веществ в США, Великобритании и ФРГ приходится на автотранспорт (50 - 60%), тогда как на долю теплоэнергетики - только 16-20%.

В процессе сжигания твердого или жидкого топлива в установках теплоэнергетики в атмосферу выделяется дым, содержащий продукты полного (диоксид углерода и пары воды) и неполного (оксиды углерода, серы, азота, угле- водороды) сгорания. Перевод установок с твердого на жидкое топливо (мазут) снижает выбросы золы, но практически не уменьшает выбросы оксидов серы и азота. Наиболее экологично газовое топливо, которое в три раза меньше загрязняет атмосферный воздух, чем мазут, и в пять раз меньше, чем уголь. При выплавке стали в атмосферу выбрасываются твердые частицы, оксиды серы и углерода, а также марганец, свинец, фосфор, мышьяк, пары ртути, фенолы, формальдегид, бензол, аммиак и др. На разнообразных химических производствах атмосферный воздух загрязняют оксиды серы и азота, соединения фтора, аммиак, хлористые соединения, сероводород, неорганическая пыль и др.

Интенсивное загрязнение атмосферного воздуха отмечается также при добыче и переработке минерального сырья, на нефте- и газоперерабатывающих заводах, при сжигании мусора и горении пород в породных отвалах. В сельских районах источниками загрязнения атмосферного воздуха являются животноводческие и птицеводческие фермы, промышленные комплексы по производству мяса.

Выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания (особенно карбюраторных) содержат такие токсичные соединения, как бензапирен, альдегиды, оксиды азота и углерода и особо опасные соединения свинца при применении этилового бензина.

Под трансграничными загрязнениями понимают загрязнения, перенесенные с территории одной страны на территорию другой. Только в 1994 г. на европейскую часть России из-за ее невыгодного географического положения выпало с дождем 1204 тыс. т соединений серы от Украины, Германии, Польши и других стран. В то же время в других странах от российских источников загрязнения выпало только 190 тыс. т серы, т. е. в 6,3 раза меньше.

## 2. Экологические последствия глобального загрязнения атмосферы

Загрязнение атмосферного воздуха воздействует на здоровье человека и на окружающую природную среду различными способами - от прямой и немедленной угрозы (смог и др.) до медленного и постепенного разрушения различных систем жизнеобеспечения организма. Так, диоксид серы, соединяясь с влагой, образует серную кислоту, которая разрушает легочную ткань человека и животных. Особенно четко эта связь прослеживается при анализе детской легочной патологии и степени концентрации диоксида серы в атмосфере крупных городов. Пыль, содержащая диоксид кремния ( $SiO_2$ ), вызывает тяжелое заболевание легких - силикоз. Оксиды азота раздражают и разъедают слизистые оболочки глаз, легких, участвуют в образовании ядовитых туманов. Особенно опасны они, если содержатся в загрязненном воздухе совместно с диоксидом серы и другими токсичными соединениями. В таких случаях даже при малых концентрациях загрязняющих веществ возникает эффект синергизма, т. е. усиление токсичности всей газообразной смеси. При остром отравлении оксидом углерода (угарный газ) появляются общая слабость, головокружение, тошнота, сонливость, потеря сознания, возможен летальный исход. Однако из-за низкой концентрации CO в атмосферном воздухе он, как правило, не вызывает отравлений, хотя и очень опасен для лиц, страдающих анемией и сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Среди взвешенных, твердых частиц наиболее опасны частицы размером менее 5 мкм, которые способны проникать в лимфатические узлы, задерживаться в альвеолах легких, засорять слизистые оболочки.

Несмотря на незначительные по объему выбросы свинца, бензопирена, фосфора, кадмия, мышьяка, кобальта, они угнетают кроветворную систему, вызывают онкологические заболевания, снижают сопротивление организма инфекциям и т. д. Пыль, содержащая соединения свинца и ртути, обладает мутагенными свойствами и вызывает генетические изменения в клетках организма.

Антропогенные выбросы загрязняющих веществ в больших концентрациях и в течение длительного времени отрицательно влияют на животных, состояние растений и экосистем в целом, и возможны случаи массового отравления диких животных, птиц, насекомых. В растения токсичные вещества поступают различными способами: выбросы вредных веществ действуют как непосредственно на зеленые части растений, попадая через устьица в ткани, разрушая хлорофилл и структуру клеток, так и через почву на корневую систему. Особенно опасен для растений диоксид серы, под воздействием которого гибнут многие деревья, и в первую очередь хвойные - сосна, ель, пихта, кедр.

Наблюдаемое в настоящее время изменение климата, которое выражается в постепенном повышении среднегодовой температуры, начиная со второй половины XX в., многие связывают с накоплением в атмосфере так называемых «парниковых газов» - диоксида углерода ( $CO_2$ ), метана ( $CH_4$ ), хлорфторуглеродов (фреонов), озона ( $O_3$ ), оксидов азота ( $NO_x$ ) и др.

Парниковые газы, и в первую очередь  $\text{CO}_2$ , препятствуют длинноволновому тепловому излучению с поверхности Земли, поэтому атмосфера, насыщенная парниковыми газами, действует, как крыша теплицы: она пропускает внутрь большую часть солнечного излучения, но почти не пропускает наружу тепло, излучаемое Землей.

В связи со сжиганием все большего количества ископаемого топлива (нефти, газа, угля) концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере постоянно увеличивается. За счет выбросов в атмосферу от промышленных производств и бытовых установок растет содержание фреонов. На 1 —1,5% в год увеличивается содержание метана за счет выбросов из подземных горных выработок, гниения биомассы и др. В меньшей степени, но растет содержание в атмосфере и оксидов азота. Следствием увеличения концентрации этих газов, создающих «парниковый эффект», является нарушение климатического равновесия и рост средней глобальной температуры воздуха у земной поверхности. По расчетам, к 2100 г. температура на Земле станет выше на 2-4°C. Такие масштабы потепления будут сопоставимы с потеплением, происшедшим на Земле после ледникового периода, а значит, экологические последствия могут быть катастрофическими. В первую очередь, это связано с предполагаемым повышением уровня Мирового океана вследствие таяния полярных льдов, сокращения горного оледенения, затоплением приморских равнин в более чем 30 странах, деградацией многолетнемерзлых пород, заболачиванием обширных территорий и др.

Однако возможны и положительные экологические последствия глобального потепления. Повышение  $\text{CO}_2$  в атмосфере и связанное с ним увеличение фотосинтеза, а также увеличение увлажнения климата могут привести к росту продуктивности как естественных фитоценозов (лесов, лугов, саванн и др.), так и агроценозов (культурных растений, садов, виноградников и др.).

По вопросу о степени влияния парниковых газов на глобальное потепление климата нет единого мнения. Некоторые ученые считают, что наблюдаемое в последнее время потепление климата на 0,3-0,6°C могло быть обусловлено преимущественно природной изменчивостью климатических факторов, поэтому нет никаких оснований для утверждения концепции «парникового» потепления и выдвижения задачи по сокращению выбросов парниковых газов с целью предотвращения нежелательных изменений глобального климата. Скорее всего, важнейшим фактором антропогенного воздействия на глобальный климат является деградация биосферы, а, следовательно, в первую очередь необходимо заботиться о сохранении биосферы как основного фактора глобальной экологической безопасности.

На конференции ООН в Киото (Япония) в 1997г. рядом стран был подписан Киотский протокол, по которому страны-участницы должны выбрасывать в атмосферу антропогенный углекислый газ не более чем они выбрасывали его в 1990г. Но очевидно, что ощутимый экологический эффект может быть получен лишь при сочетании этих мер с глобальным направлением

экологической политики - максимально возможным сохранением сообществ организмов, природных экосистем и всей биосферы Земли.

*Озоновый слой (озоносфера)* охватывает весь земной шар и располагается на высотах от 10 до 50 км с максимальной концентрацией озона на высоте 20-25 км. Насыщенность атмосферы озоном постоянно меняется в любой части планеты, достигая максимума весной в приполярных областях. Впервые истощение озонового слоя с понижением содержания озона до 50%, получившее название «озоновой дыры», было обнаружено в 1985г. над Антарктидой. С тех пор результаты наблюдений подтверждают повсеместное уменьшение озонового слоя практически на всей планете.

Снижение концентрации озона ослабляет способность атмосферы защищать все живое на Земле от жесткого ультрафиолетового излучения. Живые организмы весьма уязвимы для ультрафиолетового излучения, ибо энергии даже одного фотона этих лучей достаточно, чтобы разрушить химические связи в большинстве органических молекул. Неслучайно поэтому в районах с пониженным содержанием озона отмечаются многочисленные солнечные ожоги и наблюдается рост заболеваемости людей раком кожи. Установлено также, что растения под влиянием сильного ультрафиолетового излучения постепенно теряют свою способность к фотосинтезу, а нарушение жизнедеятельности планктона приводит к разрыву трофических цепей биоты водных экосистем.

Пока до конца не установлены основные причины разрушения озонового слоя. Предполагается как естественное, так и антропогенное происхождение «озоновых дыр». Последнее, по мнению некоторых ученых, более вероятно и связано с повышенным содержанием хлорфторуглеродов (фреонов). Поднимаясь в атмосферу, фреоны разлагаются с выделением оксида хлора, губительно действующего на молекулы озона. для предотвращения отрицательного воздействия на озоновый слой вместо фреонов внедряются новые виды хладагентов, например гидрохлорфторуглероды с низким потенциалом разрушения озонового слоя. Согласно протоколу Монреальской конференции (1987), пересмотренному затем в Лондоне (1991) и Копенгагене (1992), предусматривалось значительное снижение выбросов хлорфторуглеродов.

Кислотные дожди образуются при промышленных выбросах в атмосферу диоксида серы и оксидов азота, которые, соединяясь с атмосферной влагой, образуют серную и азотную кислоты. В результате дождь и снег оказываются подкисленными -  $\text{pH} < 5,6$ . Максимальная зарегистрированная кислотность осадков в Западной Европе -  $\text{pH} = 2,3$ .

Под действием кислотных осадков из почвы выщелачиваются не только жизненно необходимые растениям питательные вещества, но и токсичные тяжелые и легкие металлы - свинец, алюминий и др. Впоследствии чего они сами или образующиеся при их участии токсичные соединения усваиваются растениями и другими почвенными организмами, что ведет к весьма негативным последствиям. Например, возрастание в подкисленной воде



содержания алюминия всего лишь до 0,2 мг/дм<sup>3</sup> летально для рыб, резко сокращается развитие фитопланктона, так как фосфаты, активизирующие этот процесс, соединяются с алюминием и становятся менее доступными для усвоения. Алюминий уменьшает темпы роста деревьев. Воздействие кислотных дождей снижает устойчивость лесов к засухам, болезням, природным загрязнениям, что приводит к еще более выраженной их деградации как природных экосистем.

Негативное воздействие кислотных осадков на природные экосистемы проявляется и в закислении озер. Особенно интенсивно оно происходит в Канаде, Швеции, Норвегии и на юге Финляндии, потому что значительная часть выбросов серы в промышленно развитых странах выпадают именно на их территории. Закисление озер не только опасно для популяций различных видов рыб, но часто влечет за собой постепенную гибель планктона, многочисленных видов водорослей и других его обитателей, в результате чего озера становятся практически безжизненными.

Ильяс Исхакович Шигапов

**ЭКОЛОГИЯ:**

краткий курс лекций

для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» - Димитровград: Технологический институт – филиал УлГАУ, 2019.- 42 с.