

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**«Саратовский государственный аграрный университет**  
**имени Н. И. Вавилова»**

## **ЭКОЛОГИЯ**

**краткий курс лекций**  
**для аспирантов 3 года обучения**

Направление подготовки  
**05.06.01 Науки о земле**  
Профиль подготовки  
**Экология**

**Саратов 2014**

УДК 574

ББК 28.080

Э-40

Э-40	<p><b>Экология:</b> краткий курс лекций для аспирантов 3 года обучения направления подготовки 05.06.01 Науки о земле профиль подготовки Экология / Сост.: И.В.Сергеева // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – 94 с.</p> <p>Краткий курс лекций по дисциплине «Экология» составлен в соответствие с рабочей программой дисциплины и предназначен для аспирантов направления подготовки 05.06.01 Науки о земле профиль подготовки «Экология».</p> <p>Краткий курс лекций содержит теоретический материал по основным вопросам экологии и охраны окружающей среды, подробно рассматриваются вопросы взаимодействия общества и природы, основополагающие документы регулирующие природопользование, и охрану окружающей среды, как на макро, так и на микро уровнях.</p> <p>Курс знакомит с основными законами, принципами и правилами в сфере природопользования и охраны окружающей среды, системой управленческих органов, их функциями и задачами. Направлен на формирование у аспирантов умений действовать в рамках экологических законов, способности оценивать экологическую ситуацию и находить механизмы охраны окружающей природы и предлагать более прогрессивные формы регулирования взаимодействия природы и общества.</p>
------	--

	УДК 574 ББК 28.080
--	-----------------------

© Сергеева И.В., 2014

© ФГБОУ ВПО «Саратовский», 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Экология» относится к обязательным дисциплинам вариативной части ОПОП ВО. Краткий курс лекций по дисциплине «Экология» составлен в соответствие с рабочей программой дисциплины и предназначен для аспирантов направления подготовки 05.06.01 Науки о земле профиль подготовки «Экология».

В курсе подробно рассматриваются вопросы взаимодействия общества и природы, основные правовые документы, регулирующие природопользование, и охрану окружающей среды. Курс предполагает, изучение проведения оценки экологического состояния структурно-функциональной организации экосистем, разработки с учетом экологических критериев нормативов эксплуатации экосистем, включая нормы изъятия растительных, животных и других ресурсов; прогнозирования изменения экосистем; разработки рекомендаций по восстановлению нарушенных экосистем.

В результате изучения дисциплины аспирант должен знать: современные информационные технологии, методы получения, обработки и хранения научной информации.

Аспирант должен уметь: самостоятельно формировать научную тематику, организовывать и вести научно-исследовательскую деятельность по избранной научной специальности.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у аспирантов общепрофессиональных и профессиональных компетенций:

«Способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях» (УК-1);

«Способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий» (ОПК-1);

«Способностью использовать базовые знания о структуре и функционировании популяций, сообществ, экосистем, биогеоценозов в пространстве и времени в естественных и измененных человеком условиях в профессиональной деятельности» (ПК-1);

«Способностью разрабатывать принципы и механизмы, обеспечивающие устойчивое развитие человеческого общества при сохранении биоразнообразия, стабильного состояния природной среды и создании безопасной и комфортной среды жизнедеятельности» (ПК-2).

## Лекция 1

### ЭКОЛОГИЯ КАК НАУКА

#### 1.1 Понятие экологии, задачи, связь с другими дисциплинами

Термин «экология» (от греч. *oikos* - дом, родина и *logos* - учение – наука о местеобитании) впервые введен в 1866 г. немецким биологом, профессором Йенского университета Эрнест Геккелем (1834-1919). Экология – это наука, изучающая взаимоотношения организмов между собой и с окружающей средой.

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

Предметом экологии является совокупность, или структура, связей между организмами и средой.

Главный объект изучения в экологии - экосистемы, т. е. единые природные комплексы, образованные живыми организмами и средой обитания. Кроме того, в область ее компетенции входит: изучение отдельных видов организмов (организменный уровень), их популяций, т. е. совокупностей особей одного вида (популяционно-видовой уровень), и биосферы в целом (биосферный уровень).

Основной, традиционной частью экологии как биологической науки является общая экология, которая изучает общие закономерности взаимоотношений любых живых организмов и среды (включая человека как биологическое существо).

В составе общей экологии выделяют следующие основные разделы:

- **аутэкологию**, исследующую индивидуальные связи отдельного организма (виды, особи) с окружающей его средой;

- **демоэкологию (популяционную экологию)**, в задачу которой входит изучение структуры и динамики популяций отдельных видов. Популяционную экологию рассматривают и как специальный раздел аутэкологии;

- **синэкологию (биоценологию)** - изучающую взаимоотношение популяций, сообществ и экосистем со средой.

Кроме того, экология классифицируется по конкретным объектам и средам исследования, т.е. различают экологию животных, экологию растений и экологию микроорганизмов.

Таким образом, современная экология не ограничивается только рамками биологической дисциплины, трактующей отношения главным образом животных и растений, она превращается в междисциплинарную науку, изучающую сложнейшие проблемы взаимодействия человека с окружающей средой. Актуальность и многогранность этой проблемы, вызванной обострением экологической обстановки в масштабах всей планеты, привела к «экологизации» многих естественных, технических и гуманитарных наук.

Например, на стыке экологии с другими отраслями знаний продолжается развитие таких новых направлений, как инженерная экология, геоэкология, математическая экология, космическая экология и т. д.

Из приведенных выше понятий и направлений следует, что задачи экологии весьма многообразны.

В общетеоретическом плане к ним относятся:

- разработка общей теории устойчивости экологических систем;
- изучение экологических механизмов адаптации к среде;

- исследование регуляции численности популяций;
- изучение биологического разнообразия и механизмов его поддержания;
- исследование продукционных процессов;
- моделирование состояния экосистем и глобальных биосферных процессов.

Основные прикладные задачи, которые экология должна решать в настоящее время, следующие:

- прогнозирование и оценка возможных отрицательных последствий деятельности человека для окружающей среды;
- улучшение качества окружающей среды;
- сохранение, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов;

Таким образом, экология становится одной из важнейших наук будущего и, «возможно, само существование человека на нашей планете будет зависеть от ее прогресса» (Ф. Дре, 1976).

## 1.2 История развития экологии.

### *1 период - Предыстория*

В истории развития экологии можно выделить три основных этапа.

XVIII-XIX вв. были временем появления тех ростков экологии, которые пышно расцвели в следующем столетии. В эти годы формируются представления об адаптациях (приспособлениях) организмов к условиям среды, зарождаются идеи популяционной экологии и представления о биогенном круговороте веществ (экосистемный подход). Зарождение экологии связано с рядом крупных исторических фигур, которые создали предпосылки для ее расцвета в XX в.

**К. Линней (1707-1778)** - великий натуралист, посвятивший свою жизнь идее создания системы знаний о разнообразии живых организмов. При описании видов Линней указывал на их связь с условиями среды и сведения о распространении, т. е. был одним из первых аутэкологов. В работах Линнея упоминаются растительные сообщества, которые позднее будут использоваться как маркеры границ экосистем.

Линней развивал представления об «экономии природы». Он считал, что в природе существует созданное Богом равновесие, которое достигается взаимными отношениями всех естественных тел. Для поддержания этого равновесия наряду с размножением и существованием организмов необходимо и их разрушение. По Линнею, гибель одного организма делает возможным существование других. Идея равновесия входит в фундамент теории экологии с той лишь разницей, что современный эколог считает это состояние экосистем формирующимся не «сверху» (Богом), а «снизу» (в результате сложного процесса естественного отбора).

**Ж.Б. Ламарк (1744-1829)** - выдающийся биолог-эволюционист, который сформулировал представление об адаптациях — приспособлениях организмов к условиям среды. С именем Ламарка связаны истоки концепции биосферы как «глобального результата» переработки организмами неорганического вещества. Ламарк призывал к изучению законов, по которым живет природа, и считал, что человек наносит себе (и природе) зло именно потому, что не знает или игнорирует эти законы.

Ламарк независимо от Лавуазье различал две функциональные группы организмов биосферы: продуценты-растения и консументы-животные (разумеется, также без использования этих терминов). А.М. Гиляров (1999) подчеркнул, что Ламарк считал все живые существа способными создавать сложные соединения, но растения в качестве исходного материала используют находящиеся в «свободном состоянии» основные элементы (т.е. неорганические вещества), а животные могут использовать только

соединения, изначально образованные растениями (органические вещества). Однако признавая «постоянное разрушение сложных веществ» одним из основных законов природы, Ламарк, в отличие от Лавуазье, не писал о специальных группах разрушающих организмов, считая, что разрушение - это чисто физический процесс.

Таким образом, в работах Ламарка мы видим истоки и аутэкологического (приспособление видов к условиям среды), и экосистемного (круговорот веществ) подходов.

**А. Гумбольдт (1769-1859)** - великий путешественник, внесший вклад в аутэкологию, развив представления Теофраста о жизненных формах и о климатической зональности. Вслед за Ламарком, хотя, видимо, и без влияния его идей, Гумбольдт пришел к понятию биосферы. Он писал о необходимости построения целостной картины мира. Процесс познания природы, по его мнению, может быть достигнут лишь путем объединения знания о всех явлениях и существах, которые предлагает поверхность Земли, поскольку «в этой грандиозной последовательности причин и эффектов ничто не может быть рассмотрено в изоляции» (Humboldt, 1807, цит. по: Гиляров, 1999).

**К. Рулье (1814-1858)** - профессор Московского университета, практически полностью очертивший круг задач экологии, хотя и не предложивший термина для обозначения этой науки. Он, в частности, писал: «Ни одно органическое существо не живет само по себе; каждое вызывается к жизни и живет только постольку, поскольку находится во взаимоотношении с относительно внешним для него миром» (Рулье, 1850; цит. по: Шилов, 1998).

**Ч. Дарвин (1809-1882)** - вклад этого выдающегося английского естествоиспытателя в историю экологии вряд ли нуждается в доказательстве. Опираясь на идеи Мальтуса, он создал учение об естественном отборе, который исключает перенаселение в природе за счет дифференцированного выживания и размножения особей и одновременно служит основным механизмом адаптации организмов к условиям среды. Дарвин объяснил отличие естественного отбора от искусственного отбора, который человек ведет исходя из полезности для себя растений и животных. В итоге искусственного отбора культурные растения и животные теряют свою приспособленность к жизни в естественных условиях, оказываются обреченными на сосуществование с человеком и, как правило, не могут вернуться в дикую природу.

**Э. Геккель (1834-1919)** - как уже отмечалось, ему принадлежит термин «экология». Кроме того, Геккель интуитивно подошел к понятиям экологической ниши и пищевой цепи и, в частности, описал цепь «пальмы - насекомые - насекомоядные птицы - хищные птицы - клещи - паразитические грибы». Геккелем был предложен и термин «бентос».

**В.В. Докучаев (1846-1903)** - рассматривал природный феномен почв как результат взаимодействия комплекса факторов почвообразования, главными из которых являются климат, растительность и материнская порода. По существу Докучаев подошел к трактовке почвы как основного элемента экосистемы. С его именем связано рождение генетической классификации почв, отражающей явления широтной зональности и вертикальной поясности, вызванные изменениями климата. Он описал зональный ряд почв от подзолов и серых лесных до черноземов, каштановых и бурых пустынных почв. Ученик Докучаева В.И. Вернадский назвал своего учителя «русским самородком».

## ***2 период - История***

В XX столетии теоретический арсенал экологии быстро пополнялся, поэтому этот период называют «золотым веком» теории экологии. В первой половине XX в.

формировались экологический лексикон и система представлений об особенностях отношений организмов и условий среды на разных уровнях организации:

- особи;
- популяции (более или менее ограниченной в пространстве совокупности особей одного вида с числом, достаточным для самоподдержания);
- сообщества (совокупности организмов разных видов одной или нескольких систематических групп в пределах одного местообитания);
- экосистемы (совокупности организмов и условий среды, включая и самую большую экосистему Земли - биосферу).

Для экологии этого периода был характерен «романтический» дедуктивно-гипотетический подход, руководствуясь которым исследователи стремились вывести общие законы отношений организмов и условий среды. В дальнейшем, особенно в новейший период истории экологии, проверка этих «законов» на различных природных объектах показала, что большинство из них не являются универсальными. Тем не менее костяк теории современной экологии, безусловно, развивался под влиянием достижений экологии рассматриваемого периода, и ее теоретические основы не претерпели каких-либо принципиальных, тем более революционных, изменений до наших дней.

Понятия, принципы и закономерности, родившиеся в этот период, составляют теоретический фундамент экологии и подробно обсуждаются в следующих главах учебника. Поэтому здесь мы ограничимся лишь их перечислением с указанием авторов и ссылок на соответствующие разделы учебника. При этом мы отойдем от хронологической последовательности появления элементов теоретической экологии, которая, учитывая сравнительно небольшую продолжительность периода, не имеет существенного значения.

1. Принципы индивидуальности экологии видов и непрерывного изменения (континуума) состава сообществ (и экосистем) вдоль градиентов среды. Независимо сформулированы россиянином Л.Г. Раменским (1884-1953) и американцем Г. Глисоном (1882-1975). В дальнейшем эти принципы были развиты американскими экологами Дж. Кертисом (1913-1961), Р. Уиттекером (1920-1981) и Р. Макинтошем.

2. Понятие экосистемы как совокупности сосуществующих видов и условий среды их обитания. Предложено А. Тенсли (1871-1955)).

3. Концепции экологической сукцессии (процесса изменения состава экосистемы под влиянием жизнедеятельности составляющих ее организмов) и климакса (от англ. *climax*) как устойчивого равновесного с климатом состояния, к которому «стремится» любая экосистема. Сформулированы Ф. Клементсом (1874-1945), в дальнейшем развиты А. Тенсли и Р. Уиттекером.

4. Концепция экологической ниши как «профессии» вида в экосистеме, которая включает: место «работы»; ресурсы, необходимые для выполнения «работы»; график «работы»; тип выпускаемой «продукции» и характер отношений с другими «работниками», участвующими в совместном «производственном» процессе. Разработана Ч. Элтоном (1900-1991) и Дж. Хатчинсоном (1903-1991).

5. Логистическая (S-образная) кривая роста численности популяции при ограниченных ресурсах со сменой трех фаз: медленного, быстрого и медленного роста. Описана Р. Перлем (1879-1940). В дальнейшем выяснилось, что эта кривая была открыта еще в 1838 г. бельгийским математиком П.Ф. Ферхюльстом.

6. Математическая модель взаимоотношений «хищник - жертва». Предложена А.Д. Лоткой и В. Вольтеррой (1860-1940). Суть ее заключается в том, что при пульсации

численности популяций жертв и хищников пики численности хищников запаздывают по отношению к пикам численности их жертв.

7. Математические модели конкуренции. Предложены также В. Вольтеррой и А. Лоткой, но подтверждены русским ученым Г.Ф. Гаузе (1910—1986) в экспериментах с инфузориями. Гаузе сформулировал принцип конкурентного исключения: не могут сосуществовать два вида, занимающих одну экологическую нишу.

8. Концепция К- и r-отбора и соответственно К-стратегов и r-стратегов, различающихся по вкладу в репродуктивное усилие и специализированных для жизни в условиях нестабильных (с флуктуирующими ресурсами) и стабильных местообитаний. Разработана Р. Макартуром (1930-1972) и Э. Уилсоном. Как оказалось, еще в 1887 г. аналогичную систему из двух типов стратегий под названием «капиталисты» и «пролетарии» предложил Дж. Макклиод. Однако работа Макклиода оставалась незамеченной вплоть до начала 90-х годов XX в.

9. Концепция S-, S- и R-стратегий, отражающих отношения организмов к благоприятности условий среды и интенсивности нарушений. Предложена Л.Г. Раменским в 1935 г., свои ценобиотические типы он назвал виолентами, патентами и эксплерентами. Спустя 40 лет эти типы были переоткрыты Дж. Граймом и получили приведенные буквенные обозначения.

10. Функциональный подход к экосистеме как «энергетической установке». Связан с именами Р. Линдемана (1915-1942), предложившего «правило 10%» для оценки эффективности перехода энергии с одного трофического уровня на другой, и Г.Г. Винберга (1905-1987), автора основного метода измерения биологической продукции водных экосистем.

11. Теория «островной биогеографии». Разработана Р. Макартуром и Э. Уилсоном, которые рассматривали число видов на острове как результат формирования равновесия между процессами вселения на остров новых видов и вытеснения уже прижившихся. В дальнейшем как острова стали рассматривать любые экосистемы-изоляты (массив леса среди пашни, высокогорную тундру, озеро и т.д.).

12. Концепция биосферы как «живой оболочки» планеты. Наиболее полно разработана В.И. Вернадским (1864-1945), обосновавшим геологическую роль жизни на Земле. Близкие представления сформулировал Дж. Лавлок в концепции Геи (Гея — богиня Земли).

Все перечисленные «краеугольные камни» фундамента теории экологии, за исключением принципа индивидуальности экологии видов, в той или иной мере тяготеют к «мифу» о высоком уровне целостности экологических явлений и наличии достаточно «жестких» связей между особями, популяциями, экосистемами и условиями среды. Этот подход (методология) получил название органицизма, так как при таком взгляде усматривается сходство явлений надорганизменного уровня с организмами (Гиляров, 1988).

### ***3 период - Современность***

Периодом современной экологии считаются последние тридцать лет XX в. и начало XXI в. (Гиляров, 1995, 1998; Wu, Loucks, 1995; Тутубалин и др., 2000). Главные особенности этого периода хорошо выражают заголовки статей Дж. Лотона (Lawton, 1999) и А.М. Гилярова (Ghilarov, 2001) «Изменение характера экологии XX столетия: от универсальных законов к универсальной методологии». Г.С. Розенберг (Розенберг и др., 1999), характеризуя смену парадигм в экологии, подчеркивает, что экология стала более субъективной, пространство и время перестали быть простыми и «экологический

мир» стал динамичным. Впрочем, в последние годы появляются и более оптимистические оценки современного состояния экологии. Так, П.В. Турчин (2002) считает, что законы в экологии все-таки существуют, по крайней мере, в популяционной экологии.

Принцип экологической индивидуальности видов и их независимого распределения по градиентам среды в соответствии с симметричной колоколовидной кривой оказался не соответствующим действительности. В ряде случаев кривые распределения были асимметричными и даже полимодальными, что свидетельствовало о зависимости распределений видов друг от друга.

Как оказалось, наиболее продуктивными и богатыми видами могут быть не только климаксовые (устойчивые) но и сообщества, которые меняются в направлении климакса. Конвергенция всего разнообразия экосистем природного района в одну климаксовую экосистему просто невозможна, в каждом природном районе есть несколько климаксовых экосистем. Сукцессии, ведущие к климаксу, оказались стохастическими, а не жестко детерминированными процессами, в ходе которых виды сменяют друг друга в четкой последовательности. В ходе сукцессии не обязательно происходит улучшение условий, повышение биологической продукции и видового разнообразия, возможно ухудшение условий среды и соответственно снижение биологической продукции и видового богатства.

Самой «элегантной» математической моделью «хищник — жертва» отказались «подчиняться» большинство пар хищников и жертв в реальных экосистемах. Во-первых, хищники, как правило, переключаются на потребление других жертв, что не предусмотрено моделью. Во-вторых, на динамику численности популяций хищников и жертв действует множество других факторов, которые не учтены моделью (паразиты, биологические ритмы и т.д.).

«Число Линдемана» (10%) оказалось слишком приблизительным выражением эффективности перехода энергии с одного трофического уровня на другой. Если такая эффективность наблюдается в звене «растение - фитофаг», то на высших трофических уровнях она может превышать 50%.

Принцип конкурентного исключения, согласно которому в одной экологической нише не могут сосуществовать два вида, также оказался не универсальным. Во многих случаях при наличии сдерживающего фактора (нарушение, абиотический стресс, влияние конкурента и т.д.) виды могут не расходиться по разным нишам. Кроме того, несколько видов могут поочередно занимать одну и ту же нишу.

Далекой от реальности оказалась и модель формирования биоразнообразия на островах. Разные виды имеют разные шансы попасть на разные острова или быть вытесненными из их экосистем.

Стало очевидным, что разнообразие биологических объектов, как популяционного, так и экосистемного уровня, столь велико, что крайне сложно отыскать всеобщие законы, которые бы объясняли происходящие процессы, пространственные закономерности и позволяли прогнозировать их. Для сужения сферы их действия (определения областей экстраполяции) экологам потребовалось ввести понятия биологического пространства и биологического времени.

Первое измерение связано с размером особей и их подвижностью (не может быть одно пространство у тли, зайца и слона), второе - с продолжительностью жизненного цикла (он также различается у планктонной зеленой водоросли, ветвистоусого рачка, плотвы и сома).

Такое многоуровневое биологическое шкалирование сделало представления экологов более реалистичными. Стало ясно, что популяция или фрагмент сообщества, стабильные в одном масштабе, могут быть нестабильными в другом масштабе (нередко стабильность в крупном масштабе является суммой нестабильностей в мелком масштабе). При этом в последние годы усиливаются подходы «макроэкологии» (Brown, Maurer, 1989), т.е. анализа экологических закономерностей в глобальном масштабе, при котором погашаются «шумы», мешающие выявлению наиболее существенных закономерностей.

Для «новых» экологов экологический мир оказался сложно организованной иерархией в осях биологического пространства и биологического времени, стохастичным, с очень «мягкими» связями между особями и популяциями, динамичным, постоянно отклоняющимся от состояния экологического равновесия.

Таким образом, к концу XX в. стала очевидной сложность создания системы «универсальных законов» экологии, и родилась новая «универсальная методология». Внимание исследователей переключилось на изучение более частных пространственных и временных закономерностей, «механизмов» организации популяций и экосистем. Для выполнения этих исследований имелись все необходимые предпосылки: в экологии уже сформировался развитый понятийный аппарат и был накоплен огромный массив эмпирических данных, которые можно сопоставлять с новыми материалами и вовлекать в повторную обработку часто с изменением ранее сформулированных выводов.

Экология стала «полиморфной» (Mcintosh, 1980) и «гетерогенной» (Ghilarov, 2001). В ней сохраняется тот плюрализм взглядов и, соответственно, методов исследования, который сформировался к середине XX в.: развиваются аутэкологический, популяционный и экосистемный подходы.

«По-видимому, экологическая теория сможет охватить существующую в природе реальность, только когда перестанет трактовать громадное разнообразие ситуаций, в которых оказываются организмы, популяции, сообщества и экосистемы, как некий «шум», мешающий выявлению наиболее существенных закономерностей, и будет рассматривать его как основной предмет своего изучения и важнейший источник информации» (Гиляров, 1986, с. 82).

### **1.3 Экологические проблемы России**

В XIV-XVII вв. на южных границах Русского государства существовали «засечные леса», своеобразные охраняемые территории, на которых были запрещены хозяйственные рубки.

История сохранила более 60 природоохранных указов Петра I. При нем же началось изучение богатейших природных ресурсов России.

В 1805 г. в Москве было основано общество испытателей природы. В конце XIX - начале XX в. возникло движение за охрану редких объектов природы. Трудями выдающихся ученых В. В. Докучаева, К. М. Бэра, Г. А. Кожевникова, И. П. Бородин, Д. Н. Анучина, С. В. Завадского и других были заложены научные основы охраны природы.

Движение за охрану природы зародилось в России еще до 1917 г., причем существовали различные взгляды на его необходимость. Одна из концепций, основывающаяся преимущественно на эстетических и этических критериях,

представлена в работах А. П. Семенова-Тянь-Шанского. Основа этой концепции - в убежденности, что человечество представляет собой элемент, само существование которого разрушает присущую природе гармонию.

В другой концепции (Г. А. Кожевникова и В. В. Станчинского) природа представлена как некая четкая структура, характеризующаяся взаимозависимостью между составляющими ее биологическими компонентами и относительной равновесностью, а человечество рассматривалось как нечто чуждое гармоничным и исконно существующим природным системам. Приверженцы этой концепции были глубоко обеспокоены тем, что цивилизация с большой скоростью разрушает равновесие в природных системах и рискует разрушить саму себя.

Сторонники третьей, утилитарной концепции исповедовали принцип устойчивого урожая и максимальной эффективности использования природных ресурсов. Они были склонны к узкому толкованию понятия «ресурсы» и руководствовались критериями сиюминутной хозяйственной выгоды. Живое делили на «полезное» и «вредное» и последнее обрекали на истребление. Прагматики не учитывали целостность экологических систем и были восприимчивы к целям и методам, навязываемым политическим руководством.

Начало природоохранной деятельности Советского государства совпало с рядом первых декретов, начиная с «Декрета о земле» от 26 октября 1917 г., который заложил основы природопользования в стране. Именно в этот период зарождается и получает законодательное выражение основной вид природоохранной деятельности - охрана природы.

Впервые годы советской власти возобладал экологический подход к охране природы. Были организованы заповедники, представлявшие собой уникальные учреждения, с функциями центров экологических исследований, а также эталонов определенных природных зон.

Несмотря на первоначальные успехи, положение экологически ориентированной охраны природы не было по-настоящему устойчивым. Главными препятствиями стали новые приоритеты и задачи пятилетних планов. Появились идеи преобразования и покорения природы. Был сформирован образ человека как «венца эволюции». Прогресс в развитии человечества стали отождествлять с его полным господством над всем ходом жизни на планете.

Анализ положения России на экологической карте мира показывает, что она является одной из восьми стран, состояние природной среды в которой определяет состояние биосферы в целом. Помимо России, к числу таких стран относят США, Японию, Германию, Китай, Индию, Индонезию и Бразилию.

По современным данным ООН Россия находится на четвертом месте в мире по видовому разнообразию наземных экосистем. Она имеет 99 заповедников и 33 национальных парка (к сожалению, занимающих всего 2% территории страны). Это - наследство будущих поколений россиян, шанс на сохранение жизнеспособности страны.

Здоровье природной среды и здоровье населения России необходимо внести в число приоритетов государственной политики нашей страны. Столь же необходимо грамотное отношение к проблемам здоровья каждого отдельного человека.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Кто ввел в науку термин «экология» и дайте определение экологии?

2. Какой принцип лег в основу классификации экологии?
3. Перечислите этапы исторического развития экологии как науки.
4. Кто был основателем научной систематики растений и животных?
5. Назовите три основных взгляда на охрану природы в нашей стране.
6. Какое положение Россия занимает на экологической карте мира?
7. Почему возрос интерес к экологии в конце XX века?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.
4. **Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.
5. История биологии с древнейших времен до начала XX века. – М.: Наука, 1972. – 563 с.
6. История биологии с начала XX до наших дней. М.: Наука, 1975. – 660 с.
7. **Розенберг, Г.С.** Экология в картинках: учебное пособие / Розенберг, Г.С. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007. – 218 с.

### *Дополнительная*

1. **Базилевская, Н.А.** и др. Краткая история ботаники / Базилевская, Н.А. и др. – М.: Наука, 1968. – 310 с.
2. **Новиков, Г.А.** Очерк истории экологии животных / Новиков, Г.А. – М.: Наука, 1980. – 287 с.
3. **Очерки по истории экологии.** – М.: Наука, 1970. – 291 с.
4. **Трасс, Х.Х.** Геоботаника. История и современные тенденции развития / Трасс, Х.Х.. – Л.: Наука, 1976. – 252 с.

## Лекция 2

### ЭКОСИСТЕМЫ И ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ

#### 2.1 Понятие об экосистеме

Раздел экологии изучающий функционирование и строение экосистем называется системной экологией. Через изучение функционирования и строения экосистем как фундаментальной единицы достигается изучение всей биосферы в целом.

В современной теории экологии изучение свойств, структуры, особенностей существования и динамики изменения экосистем - важнейшие вопросы. Для изучения биосферы особенно большое значение имеет выявление закономерности функционирования элементарных составляющих частиц.

Для обозначения Элементарной единицы, из которых состоит биосфера, всеобщее признание получили два термина:

Экосистема - основная функциональная единица в экологии, поскольку в нее входят и организмы, и неживая среда - компоненты, взаимно влияющие на свойства друг друга и необходимые для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на Земле.

Термин «экосистема» впервые был предложен в 1935 г. английским экологом А. Тэнсли (A. G. Tansley) (Артур Тенсли (15 августа 1871 - 25 ноября 1955) - британский ботаник, считается одним из первых в мире экологов.), но, разумеется, само представление об экосистеме возникло значительно раньше.

Итак, примерно на рубеже XIX и XX веков биологи начали серьезно рассматривать идею о том, что природа функционирует как целостная система независимо от того, о какой среде идет речь: пресноводной, морской или наземной. Вопрос о том, в какой мере экосистемы подчиняются законам функционирования целостных систем (например, хорошо изученных сейчас физических систем) и насколько они способны к самоорганизации, подобно организмам, до настоящего времени остается открытым, и изучение его продолжается. Польза системного подхода к решению реальных проблем, связанных с окружающей средой, лишь сейчас привлекла серьезное внимание.

На упрощенной блоковой модели схематически представлено взаимодействие трех основных компонентов:

- сообщества,
- потока энергии
- круговорота веществ.

Биогеоценоз – предложенный в 1942 году русским ученым В.Н.Сукачевым – это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений, имеющая свою особую специфику взаимодействия этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и другими явлениями природы, представляющая собой внутреннее противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении и развитии.

#### 2.2 Классификация экосистем

Экологи не пришли к единой классификации типов экосистем, существуют различные классификации.

В зависимости от размера:

1. Микроэкосистема
2. Мезоэкосистема

- 3. Макроэкосистема
- 4. Глобальная экосистема

### Биомная классификация

Естественные экосистемы: Наземные, Пресноводные, Морские экосистемы

#### По степени вмешательства человека различают:

- Природные (естественные) экосистемы
- Полуестественные экосистемы
- Антропогенные (искусственные) экосистемы

### 2.3 Структура, свойства и функции экосистем

Каждая экосистема имеет два основных функциональных блока:

Биотический – живые организмы

Абиотический – неживая среда

Каждая из этих частей влияет на другую и обе необходимы для поддержания жизни в том виде, в каком она существует на Земле.

Биотический блок имеет четко выраженную функциональную биоструктуру, которая является одинаковой для всех экосистем. Она обязательно включает следующие биокомпоненты:

1. **продуценты** (автотрофные организмы) – главным образом это зеленые растения способные фиксировать солнечную энергию, использовать простые неорганические вещества и синтезировать сложные органические.

Все остальные живые организмы являются гетеротрофами.

2. **консументы** – самая многочисленная группа организмов, выделяют:

- а) консументы 1-го порядка – фитофаги, питаются растениями.
- б) консументы 2-го порядка – употребляют в пищу растительные формы.
- в) консументы 3-го порядка – питаются плотоядными.

Разновидностью консументов являются сапрофаги – питающиеся мертвым органическим веществом.

3. **редуценты** – бактерии и грибы, которые благодаря своей жизнедеятельности превращают органические останки в неорганические вещества.

Такая биотическая структура является типичной для всех экосистем наземных и водных. Абиотический блок состоит из климата во всех его многообразных проявлениях и геологической среды (почв и грунтов). Биотоп – это то, откуда биоценоз черпает средства для существования и куда выделяет продукты жизнедеятельности.

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

1) верхний *автотрофный* (самостоятельно питающийся) *ярус*, или «зеленый пояс», включающий растения или их части, содержащие хлорофилл, где преобладают фиксация энергии света, использование простых неорганических соединений и накопление сложных органических соединений,

2) нижний *гетеротрофный* (питаемый другими) *ярус*, или «коричневый пояс» почв и осадков, разлагающихся веществ, корней и т. д., в котором преобладают использование трансформация и разложение сложных соединений.

С биологической точки зрения в составе экосистемы удобно выделять следующие компоненты:

- 1) *неорганические вещества* (C, N, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и др.), включающиеся в круговороты;

2) *органические соединения* (белки, углеводы, липиды, гумусовые вещества и т. д.), связывающие биотическую и абиотическую части;

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

4) *продуцентов*, автотрофных организмов, в основном зеленые растения, которые могут производить пищу из простых неорганических веществ;

5) *макроконсументов* или *фаготрофов* (от греч. phagos - пожиратель), - гетеротрофных организмов, в основном животных, питающихся другими организмами или частицами органического вещества;

6) *микрoконсументов*, *сапротрофов* (от греч. sargos - гнилой), *деструкторов*, или *осмотрофов* (от греч. osmos - толчок, давление), - гетеротрофных организмов, в основном бактерий и грибов, получающих энергию либо путем разложения мертвых тканей, либо путем поглощения растворенного органического вещества, выделяющегося самопроизвольно или извлеченного сапротрофами из растений и других организмов.

В результате деятельности сапротрофов высвобождаются неорганические элементы питания, пригодные для продуцентов; кроме того, сапротрофы поставляют пищу макроконсументам и часто выделяют гормоноподобные вещества, ингибирующие или стимулирующие функционирование других биотических компонентов экосистеме. Организмы, участвующие в различных процессах круговорота, частично разделены в пространстве; автотрофные процессы наиболее активно протекают в верхнем ярусе («зеленом поясе»), где доступен солнечный свет. Гетеротрофные процессы наиболее интенсивно протекают в нижнем ярусе («коричневом поясе»), где в почвах и осадках накапливаются органические вещества. Кроме того, эти основные функции компонентов экосистемы частично разделены и во времени, поскольку возможен значительный временной разрыв между продуцированием органического вещества автотрофными организмами и его потреблением гетеротрофами.

Термин «детрит» (продукт распада; от лат. deterere - изнашиваться) заимствован из геологии, где им обычно называют продукты разрушения горных пород. «Детритом», если это специально не оговорено, называют органическое вещество, вовлеченное в процесс разложения.

Установленная законом периодичность проявляется в том, что величины индекса сухости меняются в разных зонах от 0 до 4-5 и трижды между полюсами и экватором они близки к единице, причем именно в этих случаях наблюдают наибольшую биологическую продуктивность ландшафтов.

Экосистемы, как и виды живого, подчиняются закону конкурентного исключения, поэтому:

свободных экологических ниш ни в рамках отдельных экосистем, ни в рамках живого покрова планеты нет; эти ниши могут быть выработаны лишь при достаточно заметном природном или антропогенном изменении среды обитания.

## **2.4 Закономерности географического распространения экосистем**

По мере продвижения с севера на юг увеличивается удельное количество энергии Солнца, попадающей на единицу поверхности Земли, что позволяет жить большему количеству видов, накапливаться более значительной биомассе, повышаться продуктивности экосистем суши. Средняя интенсивность биохимических процессов на

севере и в тропиках различается существенно. С учетом правил формирования экосистем и взаимодействия видов живого в биоценозах в каждом случае видов столько, сколько необходимо для усвоения и переработки приходящей от Солнца энергии.

Количество экосистем в естественной природе невелико. Для тропиков характерно однообразие биоценозов. Пестрый растительный покров тянется на десятки и сотни километров, хотя два одинаковых дерева рядом увидеть трудно. Огромные пространства тундры также однородны, хотя не отличаются разнообразием видов. Однообразна и естественная тайга, хотя здесь формируется большее количество экосистем. В степях и пустынях число экосистем не выше, чем в таежной полосе.

А. А. Григорьев и М. И. Будыко сформулировали *периодический закон географической зональности*, со сменой природных поясов аналогичные ландшафтные зоны и их некоторые общие свойства периодически повторяются.

### Вопросы самоконтроля

1. Классификация экосистем по масштабам.
2. Классификация экосистем по степени вмешательства человека.
3. Биомная классификация экосистем.
4. Определение экосистем.
5. Экосистема и ее структура.
6. Биотическая структура экосистем.
7. Какие функции выполняет экосистема?
8. Закономерности распространения экосистем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### Основная

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.
4. **Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.
5. **Розенберг, Г.С.** Экология в картинках: учебное пособие / Розенберг, Г.С. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007. – 218 с.

#### Дополнительная

1. **Денисов, В. В., Гутенев В.В., Луганская И.А.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010. - 726 с.
2. **Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.
3. **Коробкин, В. И., Передельский Л.В.** Экология. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.
4. **Николайкин, Н. И.** Экология: Учебник/ Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. - М.: Дрофа, 2004. - 624 с.

5. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Учебное пособие / С.И. Калмыков, Ю.М. Мохонько, А.Л. Пономарева и др.; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 182 с.
6. **Пехов, А. П.** Биология с основами экологии: учебник / А. П. Пехов. - СПб.: Лань, 2007. - 688 с.
7. **Половцев, О. П.** Экология и окружающая человека среда: Учебное пособие / О.П. Половцев, С.И. Калмыков; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 280 с.
8. **Пузанова, Т. А.** Экология. – М.: Экономика, 2010. - 288 с.
9. **Розанов, С. И.** Общая экология / С.И. Розанов. - Санкт-Петербург: Лань, 2003. - 288 с.

## Лекция 3

### ФАКТОРИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

#### 3.1 Организм и среда

Аутэкология, изучающая взаимоотношения представителей того или иного вида с окружающей его средой, в основном опирается на исследования процессов адаптации видов к окружающей среде, в особенности к абиотическим факторам парных взаимодействий (организм — фактор). Именно поэтому ее часто называют факториальной экологией. Аутэкологические исследования характерны как для биологической экологии, так и экологии человека, где широко применяются физиолого-гигиеническое нормирование факторов среды и исследования ее экстремальных воздействий на организм.

Среда — комплекс природных тел и явлений, с которыми организм находится в прямых или косвенных взаимоотношениях. В широком смысле это материальные тела, явления и энергия, воздействующие на организм.

##### 3.1.1 Влияние среды на организм

Влияние среды на организм. Организм, испытывая потребность в притоке вещества, энергии и информации, полностью зависит от среды. Уместно здесь привести закон, открытый российским ученым К.Ф. Рулье: результаты развития (изменений) любого объекта (организма) определяются соотношением его внутренних особенностей и особенностей той среды, в которой он находится. Этот закон, иногда называемый первым экологическим законом жизни, имеет общее значение, так как в равной мере относится к живой и неживой материи, а также к социальной сфере.

Эволюционно возникшее приспособление организмов к условиям среды, выражающееся в изменении их внешних и внутренних особенностей, носит название адаптации. Способность к адаптациям — одно из основных свойств жизни вообще, поскольку обеспечивает саму возможность ее существования, возможность организмов выживать и размножаться. При этом адаптации способны проявляться на самых разных уровнях: от биохимии клеток и поведения отдельных организмов до строения и функционирования сообществ и экосистем.

Каждый организм реагирует на окружающую среду в соответствии со своей генетической конституцией. Правило соответствия условий среды генетической предопределенности организма гласит: до тех пор, пока среда, окружающая определенный вид организмов, соответствует генетическим возможностям приспособления этого вида к ее колебаниям и изменениям, этот вид может существовать. Согласно этому правилу тот или иной вид живого возник в определенной среде и в той или иной степени смог приспособиться к ней. Дальнейшее его существование возможно лишь в ней или в близкой к ней среде. Резкое и быстрое изменение условий среды обитания может привести к тому, что генетический аппарат вида не сможет приспособиться к новым условиям жизни. Сказанное в полной мере относится и к человеку.

На предел воздействия организмов на среду обитания описывает другой экологический закон жизни (Ю.Н. Куражковский): каждый вид организмов, потребляя из окружающей среды необходимые ему вещества и выделяя в нее продукты своей

жизнедеятельности, изменяет ее таким образом, что среда обитания становится непригодной для его существования. Таким образом, организмы испытывают воздействие постоянно меняющихся условий среды, но и сами способны изменять эти условия.

### **3.2 Экологические факторы среды**

Экологический фактор — это любое условие среды, способное оказывать прямое или косвенное влияние на живой организм хотя бы на протяжении одной из фаз его индивидуального развития. В свою очередь, организм реагирует на экологический фактор специфическими приспособительными реакциями, т.е. адаптируется к ним.

Экологические факторы весьма разнообразны, имеют разную природу и специфику действия они могут быть необходимы для организмов или, наоборот, вредны для них, способствовать или препятствовать выживанию и размножению. Их подразделяют на абиотические и биотические, антропоические.

Абиотические факторы. В это все свойства неживой природы, прямо или косвенно влияющие на живые организмы (свет, температура, радиация, давление, влажность воздуха, солевой состав воды, рельеф местности и т.д.). Биотические факторы — это прямые и опосредованные формы воздействия живых существ друг на друга. Любой организм в реальных условиях постоянно испытывает на себе самое различное влияние других существ. Антропоические факторы — факторы, которые возникают в ходе непосредственного (прямого) воздействия человека на что-то. Весьма часто употребляют термин «антропогенный фактор». Под ним понимают фактор, косвенно обязанный своим происхождением деятельности (настоящей и прошлой) человека. В последние годы антропогенные факторы, учитывая силу их воздействия, выделяют как отдельную категорию экологических факторов. В последние годы антропогенные факторы, учитывая силу их воздействия, выделяют как отдельную категорию экологических факторов. Один и тот же фактор среды имеет различное значение в жизни совместно обитающих организмов разных видов. Так, сильный ветер в зимнее время весьма неблагоприятен для крупных животных, особенно обитающих открыто (лоси), но не действует на более мелких, обычно укрывающихся в норах или под снегом.

### **3.3 Законы минимума и толерантности. Лимитирующий фактор.**

Существование и выносливость организма часто оказываются чувствительными к двум или большему числу факторов окружающей среды. В таких случаях решающее значение будет принадлежать такому фактору или ресурсу, который имеется в минимальном, с точки зрения потребностей организма, количестве. Эта идея легла в основу так называемого закона минимума, сформулированного немецким химиком Ю. Либихом (1840 г.): выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей. Суть этого закона легко понять на таком примере. Величина урожая определяется количеством в почве того из элементов питания, потребность растения в котором удовлетворена меньше всего, т.е. данный элемент находится в минимальном количестве. Урожай будет возрастать пропорционально вносимым дозам до тех пор, пока не окажется в минимуме другое вещество.

Выявление наиболее слабого звена цепи очень важно в экологическом прогнозировании, планировании и экспертизе проектов. Упомянутое правило позволяет рационально производить замену дефицитных веществ и воздействий на менее дефицитные, что важно, например, в процессе эксплуатации природных ресурсов, а также в сельском хозяйстве.

Из практики известно, что сам факт существования организма может определяться не минимальным значением, а, наоборот, избытком любого из факторов. Впервые мысль об этом высказал американский ученый В. Шелфорд (1913 г.); она легла в основу закона толерантности: лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которыми определяет величину выносливости (толерантности) организма к данному фактору. Смысл закона толерантности очевиден: все хорошо в меру.

Уточним, что лимитирующими факторами называются все факторы, уровень которых приближается к пределам выносливости организма или превышает их.

Таким образом, для организмов характерны экологический минимум и экологический максимум, они реагируют сходным образом на оба пессимальных значения фактора. Их выносливость к воздействиям в диапазоне между этими двумя величинами называют пределом толерантности вида.

Учение о лимитирующих факторах облегчает изучение сложных ситуаций во взаимоотношениях организмов и среды их обитания. При этом следует понимать, что не все факторы среды имеют одинаковое экологическое значение. Так, молекулярный кислород, являясь фактором физиологической необходимости для всех животных, с экологической точки зрения становится лимитирующим лишь в определенных местообитаниях. Если в водоеме гибнет рыба (особенно в жаркое время), то в первую очередь должна быть измерена концентрация кислорода в воде: она резко падает с возрастанием температуры. В случае же гибели птиц следует искать другую причину, так как содержание кислорода в воздухе относительно постоянно и достаточно с точки зрения требований наземных организмов.

Экологическая валентность организмов. Этот показатель характеризует диапазон адаптированности (приспособленности) вида к разнообразным условиям среды.

Относительная степень толерантности выражается рядом терминов, в которых используются приставки «стено» — узкий, и «эври» — широкий. Так, эврибионтные и стенобионтные живые организмы В организмы соответственно широкой и узкой приспособленности. Примерами эврибионтных организмов являются волк, бурый медведь, тростник, способные жить в разнообразных условиях; стенобионтные — форель, живущая только в чистой проточной воде, глубоководные рыбы и др.

По отношению к конкретным факторам среды виды организмов подразделяют на: эвритермные и стенотермные, способные переносить значительные колебания температуры (песцы в тундре) или, наоборот, требующие строго определенных значений температуры (тепловодные рачки); эвригидрвные и стеногидридные, характеризующиеся противоположной реакцией на колебания влажности; эвригалинные и стеногалинные, обладающие разной адаптацией к степени засоления среды; эвриойкные и стеноойкные, способные жить в разных местах и предъявляющие жесткие требования к выбору местообитания.

Экологические валентности вида по отношению к разным факторам могут быть весьма разнообразными, что создает чрезвычайное многообразие адаптаций в природе. Совокупность экологических валентностей по отношению к разным факторам среды составляет экологический спектр вида.

Приспособление организмов к неблагоприятным условиям среды

Экологические факторы среды могут выступать как:

- 1) раздражители (вызывают приспособительные изменения физиологических и биохимических функций);
- 2) ограничители (обуславливают невозможность существования в данных условиях);
- 3) модификаторы (вызывают анатомические и морфологические изменения организмов);
- 4) сигналы (свидетельствуют об изменениях других факторов среды).

В процессе приспособления к неблагоприятным условиям среды организмы смогли выработать три основных пути избегания последних.

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

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

### Вопросы для самоконтроля

1. Закономерности воздействия факторов на организм
2. Лимитирующие факторы
3. Оценка устойчивости организмов к внешним воздействиям

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.
4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природо-пользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.
5. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.
6. **Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

*Дополнительная*

7. **Денисов, В. В., Гутенев В.В., Луганская И.А.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010. - 726 с.
8. **Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.
9. **Коробкин, В. И., Передельский Л.В.** Экология. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.
- Николайкин, Н. И.** экология: Учебник/ Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. - М.: Дрофа, 2004. - 624 с.
10. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Учебное пособие / С.И. Калмыков, Ю.М. Мохонько, А.Л. Пономарева и др.; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 182 с.
11. **Пехов, А. П.** Биология с основами экологии: учебник / А. П. Пехов. - СПб.: Лань, 2007. - 688 с.
12. **Половцев, О. П.** Экология и окружающая человека среда: Учебное пособие / О.П. Половцев, С.И. Калмыков; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 280 с.
13. **Пузанова, Т. А.** Экология. – М.: Экономика, 2010. - 288 с.
14. **Розанов, С. И.** Общая экология / С.И. Розанов. - Санкт-Петербург: Лань, 2003. - 288 с.
15. **Шилов, И. А.** Экология. – М.: Высшая школа, 2009. – 512 с.

## Лекция 4

### АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ

#### 4.1 Периодические, непериодические факторы среды

Ряд свойств среды остаются относительно постоянными на протяжении длительных периодов времени: сила тяготения, солнечная постоянная, солевой состав океана, свойства атмосферы. Другие экологические факторы (температура, влажность, ветер, хищники, паразиты и т.д.) изменчивы во времени и пространстве. При этом особенности среды обитания определяют, как уже указывалось, степень и характер изменчивости каждого из факторов. Так, например, температура меняется существенно на поверхности суши, но практически постоянна на дне океана или в глубине пещер.

А.С. Мончадский предложил оригинальную классификацию экологических факторов. Он исходил из того, что приспособительные реакции организмов к тем или иным факторам среды определяются степенью постоянства воздействия этих факторов, т.е. их периодичностью. С учетом вышеизложенного выделяются первичные и вторичные периодические факторы, а также непериодические факторы.

К первичным периодическим факторам относят явления, связанные в основном с вращением Земли: суточная смена освещенности, смена времен года. Эти факторы, которым свойственна правильная периодичность, действовали задолго до появления жизни на Земле и возникающие живые организмы должны были адаптироваться к ним.

Вторичные периодические факторы — следствие первичных периодических: например, влажность, температура, осадки, динамика растительной пищи (для животных), содержание растворенных газов в воде.

К непериодическим факторам относятся факторы, не имеющие правильной периодичности, цикличности. Таковы почвенно-грунтовые факторы, разного рода стихийные явления. Уточним, что «непериодично» лишь само тело почвы, составляющие ее компоненты, но динамика таких свойств почвы, как влажность, температурный режим, может определяться первичными периодическими факторами и в свою очередь оказываться периодичной.

Антропогенное воздействие на среду проявляется, прежде всего, в изменении режима множества биотических и абиотических факторов, переходе их зачастую за те пределы, которые отвечают экологическим требованиям живых организмов. Это обстоятельство и послужило причиной исчезновения многих видов растений и животных с лица Земли.

##### 4.1.1 Общий характер действия экологических факторов

Несмотря на многообразие влияния экологических факторов, можно выявить общий характер их воздействия на организм.

При небольших значениях или при чрезмерном воздействии фактора жизненная активность организма заметно угнетается. Наиболее эффективно действие фактора не при минимальных или максимальных его значениях, а при некотором его значении, оптимальном для данного организма. Диапазон действия, или зона толерантности (выносливости), экологического фактора ограничен соответствующими крайними пороговыми значениями (точки минимума и максимума) данного фактора, при которых возможно существование организма. Точка на оси абсцисс, которая соответствует

наилучшему показателю жизнедеятельности организма, означает оптимальную величину фактора — это точка оптимума. Так как определить оптимальное значение фактора с высокой точностью бывает трудно, говорят о диапазоне значений последнего — о зоне оптимума или зоне комфорта. Таким образом, три точки (оптимума, минимума и максимума) составляют три кардинальные точки, которые определяют возможные реакции организма на данный фактор. Крайние участки кривой, выражающие состояние угнетения при недостатке или избытке фактора, называют зонами пессимума. Рядом с критическими точками лежат сублетальные величины фактора, а за пределами зоны толерантности — летальные значения фактора, при которых наступает гибель организма.

Условия среды, в которых какой-либо фактор (или совокупность факторов) выходит за пределы зоны комфорта и оказывает угнетающее действие, в экологии часто называют экстремальными. Рассмотренные выше закономерности воздействия экологических факторов на живые организмы и характер ответных реакций последних известны как «правило оптимума».

При резком ухудшении условий среды организмы разных видов могут приостанавливать свою жизнедеятельность и переходить в состояние так называемой скрытой жизни. Например, некоторые мелкие организмы могут полностью высыхать на воздухе, а затем возвращаться к активной жизни после пребывания в воде. Это состояние мнимой смерти называется анабиозом. Переход в состояние глубокого анабиоза, при котором практически полностью останавливается обмен веществ существенно расширяет возможности выживания организмов в самых экстремальных условиях. Известно, что высушенные семена и споры растений, а также некоторые мелкие животные (коловратки, нематоды) способны выдержать температуры ниже — 200°C.

Примерами скрытой жизни могут быть оцепенение насекомых, зимний покой растений, спячка позвоночных животных, сохранение семян и спор в почве, а мелких существ — в пересыхающих водоемах. Некоторые бактерии, в том числе и болезнетворные, многие годы могут находиться в неактивном состоянии, пока не возникнут благоприятные условия для их «пробуждения» и последующего размножения.

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

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

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

Избегание, уход от действия крайних температур или недостатка влаги свойственен организмам в той или иной мере и при активном, и при пассивном пути адаптации к среде. Описанные пути приспособления характерны и по отношению к другим экологическим факторам среды. Наиболее часто приспособление вида к среде осуществляется определенным сочетанием всех трех возможных путей адаптации.

## **4.2 Примеры адаптации к тем или иным факторам среды.**

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

Морфологический тип приспособления животного или растения, при котором они имеют внешнюю форму, отражающую способ взаимодействия со средой обитания, называют жизненной формой вида.

При этом разные виды могут иметь сходную жизненную форму, если ведут близкий образ жизни. Примерами здесь могут служить кит (млекопитающее), пингвин (птица) и акула (рыба).

Физиологические адаптации проявляются, например, в особенностях ферментативного набора в пищеварительном тракте животных, определяемого составом пищи. Так, верблюд способен обеспечивать потребности во влаге путем биохимического окисления собственного жира.

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

## **4.3 Основные абиотические факторы и их влияние на организмы**

Существует ряд экологических факторов абиотической природы, влияние которых на живые организмы почти везде практически одинаково. К ним, например, относится сила тяготения (гравитация), являющаяся константой среды жизни, одним из важнейших ее условий. Она определяет форму тел организмов, особенно многоклеточных. Диоксид углерода в атмосфере и гидросфере определяет явление фотосинтеза. В основу всей жизни. Однако в связи с тем, что действие их не создает локальных различий в условиях жизни, оно во многих работах, которые направлены на практические цели, не рассматриваются. В каждой среде обитания на организмы действует своя совокупность абиотических факторов. Некоторые из них играют важную роль во всех трех основных средах (в воде, почве и на суше) или в двух.

### **4.3.1 Солнечный свет**

Условия жизни организмов определяются общим потоком излучения в окружающей их среде. Организмы, которые живут на поверхности планеты или вблизи нее, воспринимают поток энергии, состоящий из солнечного излучения и длинноволнового теплового излучения от соседних тел. Именно эти два фактора

обуславливают климатические условия среды — температуру, скорость испарения воды, движения воздуха и воды.

Характеристика солнечной радиации. Солнечная радиация, поступающая на поверхность Земли, составляет около 99,8% в общем балансе энергии планеты. Она поддерживает тепловой баланс Земли, обеспечивает водный обмен организмов, создание и превращение органического вещества автотрофным звеном биосферы. Все это в конечном итоге делает возможным формирование среды, которая способна удовлетворить жизненные потребности организмов.

Излучение Солнца, приходящее к верхней границе биосферы, равно 8,3 Дж/см<sup>2</sup> в 1 мин. Эта величина носит название солнечной постоянной. Примерно 19% солнечной энергии поглощается при прохождении через атмосферу (облаками, аэрозолями, диоксидом углерода, водяными парами, озоном и кислородом), 34% отражается обратно в космическое пространство. Следовательно, лишь 47% ее достигает земной поверхности в виде прямой и рассеянной радиации. Прямая солнечная радиация (24%) — это совокупность электромагнитного излучения с длинами волн от 0,1 до 30000 нм. Рассеянная радиация (23%) представляет собой отраженные лучи, т.е. это рассеянная небосводом диффузная радиация.

Совокупность прямой и рассеянной компонент солнечной радиации называют суммарной радиацией, ее численное значение в средних широтах может достигать 4,6 кДж/см<sup>2</sup> в сутки (около 3,2 Дж/см<sup>2</sup> в 1 мин). Суммарная радиация создает для ее обитателей так называемый световой режим.

Излучение, которое достигает почвы или растительного покрова, подразделяется на коротковолновое (300—4000 нм) и длинноволновое (более 4000 нм). Ультрафиолетовые лучи короче 290 нм, губительные для живых организмов, поглощаются озоновым слоем и до поверхности планеты практически не доходят.

Наибольшее значение для жизнедеятельности организмов имеет коротковолновая радиация; она в свою очередь условно разделяется на ультрафиолетовую (менее 400 нм), видимую (400—760 нм) и близкую инфракрасную (760—4000 нм) радиацию.

Длинноволновые УФ-лучи, которые обладают большой энергией фотонов, характеризуются высокой химической активностью. В больших дозах они вредны для организмов, в малых необходимы многим из них. УФ-лучи в диапазоне 250—300 нм оказывают мощное бактерицидное действие, а при длине волны 200—400 нм вызывают у человека загар, который является защитной реакцией кожи.

В пределах видимого участка спектра выделяют фотосинтетически активную радиацию (длина волн 380—710 нм), ее энергия поглощается пигментами листа и имеет решающее значение в жизни растений, обеспечивая фотосинтез.

Важными с экологической точки зрения характеристиками света являются продолжительность воздействия (длина дня), интенсивность (в энергетических величинах), спектральный состав лучистого потока.

#### **4.3.2 Адаптационные ритмы жизни.**

Из-за осевого вращения Земли и движения вокруг Солнца развитие жизни на планете происходило в условиях регулярной смены дня и ночи, а также чередования времен года. Подобная ритмичность создает в свою очередь периодичность, т.е. повторяемость условий, в жизни большинства видов. При этом вполне закономерно изменяется и действие большого числа экологических факторов: освещенности, температуры, влажности, давления атмосферного воздуха, всех компонентов погоды.

Проявляется регулярность в повторении как критических для выживания периодов, так и благоприятных.

К указанным ритмам организмы приспособлены таким образом, что их физиологическое состояние и поведение изменяются в полном соответствии с циклическими изменениями внешней среды. Для жизнедеятельности разных видов организмов выделяют суточные, годовые и приливо-отливные ритмы.

Суточные ритмы приспособливают организмы к смене дня и ночи. При этом суточный ритм может влиять на многие процессы в организме. Так, у человека около ста физиологических характеристик подчиняются суточному циклу: кровяное давление, температура тела, частота сокращения сердца, ритм дыхания, выделение гормонов и многие другие. Отметим, что постоянные нарушения суточной ритмики организма человека в условиях ночного бодрствования, космических полетов, подводного плавания и т.п. представляют собой опасность для здоровья.

Годовые ритмы приспособливают организмы к сезонной смене условий. Благодаря этому, например, самые уязвимые для многих видов процессы размножения и выращивания молодняка приходятся на наиболее благоприятный сезон.

Имеющие место кратковременные изменения погоды (зимние оттепели, летние заморозки) не нарушают, как правило, годовых ритмов растений и животных. Поэтому следует подчеркнуть, что основным экологическим периодом, на который реагируют организмы в своих годовых циклах, является не случайное изменение погоды, а фотопериод, т.е. изменение в соотношении дня и ночи.

Общеизвестно, что длина светового дня закономерно изменяется в течение года, и именно это служит весьма точным сигналом приближения весны, лета, осени и зимы. Способность организмов реагировать на изменение длины дня называется фотопериодизмом.

В процессе эволюции выработались характерные временные циклы с определенной последовательностью и длительностью периодов размножения, роста, подготовки к зиме, т.е. биологические ритмы жизнедеятельности организмов в определенных условиях среды. Чередование света и темноты растения воспринимают листьями. Под влиянием продолжительности дня в растениях образуются гормоны, которые влияют на цветение, образование клубней, корнеплодов. Животным также свойственен фотопериодизм. Так, наступление и прекращение брачного периода, плодовитость, линька, наступление зимней спячки, миграция происходят под влиянием этого явления.

Приливо-отливные ритмы. Виды организмов, обитающие в прибрежной или донной части мелководья (на литорали), в которую свет проникает до дна, находятся в условиях очень сложной периодичности внешней среды. На 24-часовой цикл колебания освещенности и других факторов накладывается еще чередование приливов и отливов. В течение лунных суток (24 ч 50 мин) наблюдаются 2 прилива и 2 отлива. Дважды в месяц (новолуние и полнолуние) сила приливов достигает максимальной величины.

Этой сложной ритмике подчинена жизнь организмов, обитающих в прибрежной зоне. Так, самки рыбы атерина в самый высокий прилив откладывают икру у кромки воды, закатывая ее в песок. При отливе икра остается созревать в нем. Выход мальков происходит через полмесяца, он совпадает со временем следующего высокого прилива.

Интенсивность света влияет на первичное продуцирование органического вещества фотоавтотрофами. При этом фотосинтетическая деятельность как у наземных, так и у водных фотоавтотрофов связана с интенсивностью света линейной зависимостью вплоть до оптимального уровня светового насыщения.

Ультрафиолетовые лучи имеют самую высокую энергию квантов и соответственно наибольшую фотохимическую активность. У растений и животных УФ-лучи способствуют синтезу некоторых биологически активных соединений, например витаминов.

Видимый свет для фототрофных и гетеротрофных организмов имеет разное экологическое значение. У зеленых растений сформировался светопоглощающий пигментный комплекс, способствующий осуществлению процесса фотосинтеза, возникновению яркой окраски цветков, которая привлекает опылителей. Свет влияет на деление и растяжение клеток, ростовые процессы и на развитие растений, определяет сроки цветения и плодоношения. Для животных чрезвычайно важна роль видимого света, его спектральных участков и плоскости поляризации в целях пространственной ориентации, в регуляции многих физиолого-биохимических процессов.

Инфракрасные, или тепловые, лучи несут основное количество (до 45%) тепловой энергии. При этом наиболее легко поглощается тепло водой, количество которой в организмах, как известно, весьма значительно. В свою очередь это приводит к нагреванию всего организма, что имеет особенно важное значение для холоднокровных животных (например, рептилий). В отношении растений важнейшая функция ИК-лучей состоит в осуществлении транспирации, с помощью которой из листьев водяными парами отводится излишек тепла, а также создаются условия для проникновения диоксида углерода через устьица листьев в процессе фотосинтеза.

Элементы светового режима весьма переменчивы; они зависят от географического положения, высоты над уровнем моря, от рельефа, состояния атмосферы, характера земной поверхности, состояния и структуры растительности, от времени суток, сезона года, солнечной активности и глобальных изменений, которые могут происходить в атмосфере.

### **4.3.3 Температура.**

Из всего комплекса факторов температура занимает по своей значимости второе место после света почти во всех средах обитания. Экологическое значение тепла состоит прежде всего в том, что температура окружающей среды определяет температуру организмов, она также оказывает непосредственное влияние на скорость и характер протекания всех химических реакций, определяющих обмен веществ. Ко многим из них может быть применен закон Вант-Гоффа, согласно которому при повышении температуры на 10°C они ускоряются в 2—3 раза.

Температурными границами существования жизни на Земле являются такие, когда еще сохраняются свойства, нормальное строение и функционирование прежде всего молекул ферментных белков. В среднем, это интервал температур от около 0 до 50°C. Температура влияет на количество потребляемой пищи, а также на плодовитость, она определяет предпочтительность местообитания, длительность развития и число поколений в году.

Температурные условия среды теснейшим образом связаны с действием солнечного света, но определяются не только им. Существенное влияние на температурный режим местности оказывают свето- поглотительная способность почвы, ее теплопроводность, теплоемкость, ночное выхолаживание, влагоемкость, а также облачность, ближние теплые или холодные морские течения. Из-за аккумуляции тепла почвой и водоемами весной и летом и постепенной отдачи его с наступлением осени и зимы значительно сглаживаются сезонные перепады температур в средних и высоких широтах, у морских

берегов, в результате чего огромные массы воды являются резервуаром летнего тепла. Выравнивание температурных контрастов происходит также на протяжении суток, при смене дня и ночи.

Любой организм способен существовать лишь в определенном диапазоне температуры, ограниченном нижней и верхней летальной (смертельной) температурой. Оптимальной будет  $T_a$  температура, которая наиболее благоприятна для жизнедеятельности и роста. Для каждого вида можно определить также температуры оцепенения от жары и от холода. Большинство организмов, встречающихся в районах с континентальным климатом, относится к эвритермным.

Адаптации организмов к температуре. Живые организмы в ходе длительной эволюции выработали разнообразные приспособления, которые позволяют регулировать обмен веществ при изменениях температуры окружающей среды. Это достигается: 1) различными биохимическими и физиологическими перестройками в организме, к которым относятся изменение концентрации и активности ферментов, обезвоживание, понижение точки замерзания растворов тела и т.д.; 2) поддержанием температуры тела на более стабильном температурном уровне, чем температура среды обитания, что позволяет сохранить сложившийся для данного вида ход биохимических реакций.

### Вопросы для самоконтроля

1. Понятие популяция и ее структура.
2. Структуры популяции: возрастная, половая, пространственная, генетическая, экологическая.
3. Понятие динамики численности популяции и ее основные типы (стабильный, лабильный, эфемерный).
4. Формы стресса.
5. Динамика численности популяции и ее типы.
6. Численность популяции и ее динамика.
7. Основные экологические стратегии выживаемости.
8. Экологические стратегии
9. Факторы динамики численности популяции.
10. Регуляция плотности популяции
11. Кривые выживания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009.– 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.
4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природо-пользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.

**5. Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.

**6. Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

*Дополнительная*

**1. Денисов, В. В., Гутенев В.В.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010 - 726 с.

**2. Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.

**3. Коробкин, В. И., Передельский Л.В.** Экология. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.

**4. Николайкин, Н. И.:** Учебник/ Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. - М.: Дрофа, 2004. - 624 с.

5. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Учебное пособие / С.И. Калмыков, Ю.М. Мохонько, А.Л. Пономарева и др.; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 182 с.

**5. Пехов, А. П.** с основами экологии: учебник / А. П. Пехов. - СПб.: Лань, 2007. - 688 с.

**7. Половцев, О. П.** Экология и окружающая человека среда: Учебное пособие / О.П. Половцев, С.И. Калмыков; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 280 с.

**8. Пузанова, Т. А.** Экология. – М.: Экономика, 2010. - 288 с.

**9. Розанов, С. И.** Общая экология / С.И. Розанов. - Санкт-Петербург: Лань, 2003. - 288 с.

## Лекция 5

### ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ

#### 5.1 Статические характеристики

Популяционная экология изучает динамику популяционных процессов (скорости рождаемости и смертности; возрастную и половую структуры; динамику численности и пр.). Все популяционные изменения изучаются в тесной связи с действием совокупности биотических и абиотических факторов среды.

Прежде чем остановиться на проблемах популяционной экологии, определим (в рамках системного подхода) элемент этой системы (этой науки). Элемент — это то, что принимается далее неделимым в данной системе. Рассматривая аутэкологическую систему, мы ее элементом считали особь. В популяционной экологии таким элементом будет популяция. Это не означает, что особь или популяцию далее разделить невозможно.

В системе физиологических исследований особь распадается на отдельные органы и процессы, происходящие в них и между ними. В аутэкологии популяции и виды распадаются на особи. От особи до вида (Нгоро-Нгоро — кратер потухшего вулкана, в котором ныне организован заповедник). Существует много определений популяции, мы же приведем едва ли не самое простое. Его предложил Эрик Пианка (1968). Популяцией называется группа особей одного вида, живущих на определенной территории и способных обмениваться генетической информацией.

Популяция обладает определенными признаками, такими, как плотность, рождаемость, возрастной состав, характер пространственного распределения и пр. Рассмотрим вкратце некоторые из популяционных характеристик.

#### 5.2 Пространственное распределение

Особи, составляющие популяцию, могут по-разному распределяться в пространстве. Это зависит от благоприятных физических условий для гнездования, кормности территории, наличия конкурентов и т. д. Встречается равномерное распределение особей по всей территории. Оно связано обычно с острой внутривидовой конкуренцией за пищу. Этот тип распределения по территории встречается у хищных рыб. Он же отмечен и у пластинчатожаберного моллюска — тилины, живущего на песчаных пляжах по берегу Ла-Манша. Равномерное распределение особей в природе встречается не часто.

В однородной среде организмы обычно распределяются случайным образом. У них не образуется никакой склонности к скоплениям. Так распределяются в муке малые мучные хрущаки и их личинки. Обычно случайное распределение организмов с ростом их плотности переходит в конгрегационное (личинки собираются отдельными компаниями).

Это распределение пятнами или группами. Оно наиболее распространено в природе. Группы могут располагаться случайно или образовывать скопление. Особенно хорошо изучено пространственное размещение деревьев в лесу. Если лес однородный, то вначале деревья располагаются скоплениями. Далее, в результате внутривидовой конкуренции, лес изреживается и распределение приходит к равномерному. В

смешанных лесах подавляемые виды обычно имеют пятнистое распределение, а массовые виды — равномерное.

### 5.3 Плотность популяции

Она определяется количеством особей, приходящимся на единицу площади или объема. Плотность — важная характеристика популяции, она характеризует роль вида в сообществе. Существует много способов определения плотности популяций у животных и растений. Можно проводить прямой подсчет особей. Их считают обычно, привязывая к учетному маршруту. Сумма отмеченных особей относится к длине маршрута, поэтому результаты такого учета обычно выражаются дробными цифрами. Учетчик движется по одному и тому же маршруту ежедневно или один раз в более длительный срок и регистрирует всех особей, которых он увидел. Так учитывают в открытых ландшафтах крупных млекопитающих. Записывая всех увиденных животных по обе стороны маршрута на 150-метровой полосе степного участка национального парка Альберта в Африке, получили следующие цифры: слонов на километр маршрута — 0,22; бегемотов — 1,5; буйволов — 25,0; болотных козлов — 40,6; тростниковых козлов — 0,16 и т. д. Так рассчитывают абсолютную численность животных.

Демографическая структура популяции (вертикальная линия разделяет самок и самцов, по горизонтали вправо и влево — число особей. Площадь каждого прямоугольника показывает число особей каждой возрастной группы)

График периодического изменения численности (название стадий цикла — пик, спад и пр.)

Плотность, переведенная на определенную площадь, дает представление о численности организмов. О ней можно узнать и по косвенным данным — по числу животных, попавших в ловушку. Часто соотносят число особей с числом поставленных ловушек и числом суток их стояния. Такие данные называются относительной численностью. Сами по себе о плотности животных они не говорят, но, стандартно взятые из года в год или от сезона к сезону, они покажут динамику численности животных на данной территории.

Получить представление о числе организмов можно и по следам их деятельности. Такие следы учитывают либо на маршрутах, либо на участках, где расположены учетные площадки. Есть и другие способы, например, анализ добычи хищных птиц. По погадкам (непереваренные компоненты пищи, отрываемые птицами) можно получить представление о численности видов жертв этих хищников. Погадки разбирают и по костям и фрагментам шкурок считают количество съеденных грызунов.

### 5.4 Рост популяций

Он определяется двумя противоположными процессами — рождаемостью и смертностью. Данные такого рода в свободно живущей популяции получить трудно. Обычно пользуются косвенными показателями. Представление о росте популяции дает так называемая пирамида возрастов. Для ее построения всех отловленных особей из этой популяции распределяют по возрастным группам. Считается, что эта выборка особей дает представление о популяции в целом. Соотношение возрастных групп показывает возможности роста или сокращения популяции. При этом ориентируются на соотношение репродуктивных и нерепродуктивных возрастов. Если в изучаемой популяции преобладают старики и дети, то ее рост, очевидно, замедлен или

прекращается. Могут иметь значение и половые соотношения (соотношение самцов и самок). Чаще всего один из полов преобладает над другим. Все это сказывается на росте популяции.

Посмотрим, как это происходит в популяции человека. При повышении благосостояния неминуемо будет уменьшаться детская смертность и увеличиваться продолжительность жизни. Следовательно, в популяции станет расти доля детей и стариков. Это нерепродуктивные возраста, поэтому численность особей в таком благополучном обществе будет расти очень медленно и, наконец, стабилизируется, что мы и видим в развитых европейских странах.

### 5.5 Колебания численности популяции

У живой материи необычайно высокая способность к распространению. В.И. Вернадский реализацию этой способности называл давлением жизни. Ч. Дарвин, иллюстрируя такое давление жизни, приводил пример с бактерией Коли. Она через каждые 20 минут разделяется на две. При таком темпе размножения достаточно 36 часов, чтобы этот микроорганизм покрыл весь земной шар. Простейшие мало уступают микроорганизмам в интенсивности размножения, особенно в благоприятных условиях. Одна инфузория туфелька могла бы за несколько дней произвести такую массу особей, которая в 10 тысяч раз превышает объем нашей планеты. Все это могло бы произойти при отсутствии тормозящих причин. В природе же имеется множество факторов, ограничивающих рост популяции и часто сводящих его на продолжительное время к нулю. Неравномерность действия таких ограничивающих факторов приводит к колебаниям численности. Изменения численности могут быть случайными, когда происходит какая-нибудь катастрофа и вымирание особей. Это может быть наводнение, засуха или извержение вулкана. Могут такие изменения быть и постоянными, происходящими под действием какого-нибудь периодического фактора. Такой фактор может находиться как внутри, так и вне популяции.

Непериодические изменения численности — это внезапные ее понижения или повышения, такие, например, как массовое размножение и расселения в районе Большого Барьерного рифа морской звезды «Герновый венец». С 1966 года наблюдалось увеличение ее численности, и она достигла плотности более одной особи на метр рифа. Поедая кораллы, эта звезда угрожает жизни рифа. Она уже «очистила» почти 40-километровую полосу на нем у острова Гуам, причем на это понадобилось менее трех лет. К непериодическим колебаниям можно отнести и такие, которые связаны с вселением популяции в новое местообитание или расширение ее ареала. Наличие «свободных мест» обеспечивает очень быстрое расселение попадающих в них новых видов. Несколько кроликов, завезенных в Австралию, в течение короткого срока образовали там популяцию, исчисляемую миллионами особей. Примерно так же повела себя ондатра, акклиматизированная в нашей стране. Она быстро заняла огромную территорию и стала на ней массовым промысловым видом.

Периодические колебания численности изучены значительно лучше. Это прежде всего динамика численности некоторых арктических млекопитающих и птиц. Периоды изобилия пушных зверей известны, благодаря статистике торговой фирмы «Компания Гудзонова залива». Она ежегодно регистрировала число шкур, поступающих от охотников. Оказалось, что у зайца-беляка период колебания численности равен приблизительно девяти годам. Циклические колебания с периодом в четыре года характерны для обитателей тундры: песца, полярной совы, а также лемминга,

составляющего кормовую базу для предыдущих видов. В нашей стране данные заготовок пушнины также дали возможность оценить колебания численности многих животных. Это водяная полевка в Барабинской низменности, белка во многих районах лесной зоны страны. Это такие промысловые птицы, как глухарь, тетерев, рябчик. В зоне пустынь испытывают циклические колебания численности местные грызуны, что хорошо известно по данным наблюдений противочумных станций. Характерны такие колебания и для насекомых. Так, периоды максимального обилия сосновой пяденицы в Германии наступают в среднем один раз в 12 лет, а листовенничной листовертки — каждые 10 лет. Периодическими являются и сезонные колебания численности организмов. Они связаны с тем, что один из сезонов года оказывается особенно благоприятным для вида организмов или для какой-нибудь стадии развития их. Так, у палеарктических грызунов максимальная численность обычно наблюдается осенью, по окончании периода размножения. У калифорнийского перепела максимальная численность достигается каждый год в августе.

Колебания численности — традиционная проблема популяционной экологии и требует специального изучения, поэтому далее мы посвятим ей целый раздел.

На этом мы закончим рассмотрение признаков популяции. Нужно сказать, что сведения о любом из таких признаков занимают целую область экологических исследований. Особенное значение в последнее время приобретают работы по изучению традиционных демографических характеристик: половая и возрастная структуры, динамика численности.

### Вопросы самоконтроля

1. Почему популяционная экология носит такое название?
2. Чем популяционная экология отличается от аутэкологии?
3. Как могут особи популяции распределяться в пространстве?
4. Что определяет пространственное распределение популяции?
5. Что такое плотность популяции и как ее посчитать?
6. Чем отличается относительная численность от абсолютной?
7. Что влияет на рост популяции?
8. Велики ли возможности увеличить численность у популяции?
9. Отчего каждая популяция не распространяется на весь мир?
10. Как можно узнать о колебаниях численности в природных популяциях?

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. — 3-е изд., стереотип. — М. : Академия, 2008. — 256 с.: ил. — ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". — Саратов, 2009.— 300 с. — ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. — 4-е изд., перераб. — М. : Академия, 2010. — 432 с.: ил. — ISBN 978-5-7695-5189-5.
4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природо-пользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. — 8-е изд., испр. — М. : Академия, 2008. — 208 с.: ил. — ISBN 978-5-7695-5537-4.

**5. Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.

**6. Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

*Дополнительная*

**1. Денисов, В. В., Гутенев В.В.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010 - 726 с.

**2. Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.

**3. Коробкин, В. И., Передельский Л.В.** Экология. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.

**4. Николайкин, Н. И.:** Учебник/ Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. - М.: Дрофа, 2004. - 624 с.

5. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Учебное пособие / С.И. Калмыков, Ю.М. Мохонько, А.Л. Пономарева и др.; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 182 с.

**5. Пехов, А. П.** с основами экологии: учебник / А. П. Пехов. - СПб.: Лань, 2007. - 688 с.

**7. Половцев, О. П.** Экология и окружающая человека среда: Учебное пособие / О.П. Половцев, С.И. Калмыков; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 280 с.

**8. Пузанова, Т. А.** Экология. – М.: Экономика, 2010. - 288 с.

**9. Розанов, С. И.** Общая экология / С.И. Розанов. - Санкт-Петербург: Лань, 2003. - 288

с.

## Лекция 6

### ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИИ

#### 6.1 Понятие термина популяция

Популяция – любая способная к самовоспроизведению совокупность особей одного вида, более или менее изолированная в пространстве и времени от других аналогичных совокупностей одного и того же вида. Популяция – именно та ячейка биоты, которая является основой её существования: в ней происходит самовоспроизводство живого вещества, она обеспечивает выживание вида благодаря наследственности адаптационных качеств, она дает начало новым популяциям и процессам видообразования, т.е. является элементарной единицей эволюционного процесса, тогда как вид есть его качественный этап.

Известно, что важнейшими являются количественные характеристики, которые позволяют решить большинство проблем качественного характера. Выделяют две группы количественных показателей – статические и динамические.

#### 6.2 Статические показатели популяций

Статические показатели характеризуют состояние популяции на данный момент времени. К статическим показателям популяции относятся их численность, плотность и показатели структуры. Численность – это поголовье животных или количество растений, например деревьев, в пределах некоторой пространственной единицы – ареала, бассейна реки, акватории моря, области, района. Плотность – число особей, приходящихся на единицу площади, например, плотность населения – количество человек приходящихся на один квадратный километр, или для гидробионтов – это количество особей на единицу объема, на литр или кубометр. Показатели структуры: половой – соотношение полов, размерный – соотношение количества особей различных размеров, возрастной – соотношение количества особей различного возраста в популяции.

Численность тех или иных животных определяется различными методами. Например, подсчетом с самолета или вертолета при облетах территории. Численность гидробионтов определяют путем отлавливания их сетями (рыбы), для микроскопических (фитопланктон, зоопланктон) применяют специальные мерные емкости. Численность человеческой популяции определяется путем переписи населения всего государства, его административных подразделений. Значение численности и структуры населения (этнической, профессиональной, возрастной, половой) имеет большое экономическое и экологическое значение.

Плотность популяции определяется без учета неравномерности распределения особей на площади или в объеме, получаем среднюю плотность животных, деревьев, людского населения на единицу площади или микроскопических водорослей в единице объема. Территориальные границы могут быть весьма подвижны. Достаточно надежно определяются границы у немигрирующих животных (грызуны, моллюски), которые создают так называемые локальные популяции. У подвижных границы трудно определить, например у лося, а затем у птиц, которые легко мигрируют и расселяются на больших территориях. Ограничивают возможность расселения как биотические, так и абиотические факторы. Из биотических факторов среды таковыми являются прежде

всего пресс хищников и конкурентов, нехватка пищевых ресурсов, а влияние абиотических определяется толерантностью популяции к факторам среды.

Важнейшим условием существования популяции или ее экотипа является их толерантность к факторам среды. Толерантность у разных особей и к разным частям спектра разная, поэтому толерантность популяции значительно шире, чем у отдельных особей. И так, свойства популяции уже значительно отличаются от свойств отдельных особей, что особенно наглядно проявляются в динамике популяций.

### 6.3 Динамические характеристики популяций

Естественные популяции это не раз и навсегда застывшая совокупность особей, а динамическое единство находящихся во взаимоотношениях организмов. Изменение в численности, структуре и распределении популяций как реакция на условия окружающей среды называется динамикой популяции. Динамические характеристики популяций отражают временные процессы, протекающие в них с определенной скоростью. Динамика популяций в упрощенном варианте может быть описана такими показателями, как рождаемость и смертность. Это наиболее важные популяционные характеристики, на основании анализа которых можно судить об устойчивости и перспективном развитии популяции.

Рождаемость - одна из основных характеристик популяции. Она определяется как число особей, рожденных в популяции за некоторый промежуток времени (час, день, месяц, год). При этом термин «рождаемость» характеризует появление особей любых видов, независимо от способов появления их на свет: будь это прорастание семян подорожника или овса, появление детенышей из яиц у курицы или черепахи, рождение потомства у слона, кита, либо человека. Экологи различают максимальную рождаемость в условиях отсутствия лимитирующих экологических факторов (добиться этого практически весьма сложно). Под максимальной рождаемостью понимается теоретически возможный максимум скорости образования новых особей в идеальных условиях.

Размножение организмов сдерживается только их физиологическими особенностями. Например, теоретическая скорость размножения различных видов во многих случаях может быть довольно высокой. Если мы примем за основу такой показатель, как время захвата видом всей поверхности Земли, то для бактерии холеры *Vibrio cholerae* он будет составлять 1,25 сут, для диатомовой водоросли *Nitzschia putrida* - 16,8, для домашней мухи *Musca domestica* - 366, для курицы - около 6 тыс., для слона - 376 тыс. сут. Максимальная рождаемость постоянна для данной популяции. Как уже сказано выше, любая популяция теоретически способна к неограниченному росту своей численности. Показатель такого неограниченного роста отражает биотический потенциал - теоретический максимум потомков от одной пары (или одной особи) за единицу времени (за год или за весь жизненный цикл) при реализации способности организмов увеличивать численность в геометрической прогрессии.

Биотический потенциал многих организмов, прежде всего наиболее мелких, огромен, и если бы ничто не сдерживало рост их популяций, то они чрезвычайно быстро заселили бы собой всю Землю. Обычно биотический потенциал тем выше, чем ниже уровень организации организмов. Так, дрожжевые клетки, размножающиеся простым делением, при наличии условий для реализации биотического потенциала могли бы освоить все пространство земного шара за несколько часов; гриб дождевик, приносящий до 7,5 млрд. спор, уже во втором поколении освоил бы всю планету.

Крупным организмам с низким потенциалом размножения потребовалось бы для этого несколько десятилетий или столетий. Однако реализация биотического потенциала ограничивается действием различных экологических факторов и может проявляться только в отдельных случаях и в течение коротких промежутков времени. Например, если быстроразмножающиеся организмы (насекомые, микроорганизмы) осваивают какой-либо субстрат или среду, где нет конкурентов.

Такие условия создаются, в частности, при освоении экскрементов крупных животных насекомыми, при размножении организмов в средах, богатых питательными веществами, например в загрязненных органическими и биогенными веществами водоемах и т.п. В этом случае увеличение численности идет по J-образной кривой. Такой тип роста носит название экспоненциального. Близкий к экспоненциальному тип роста характерен в настоящее время для популяции человека. Он обусловлен прежде всего резким снижением смертности в детском возрасте. Для большинства же популяций и видов выживаемость характеризуется кривой, которая отражает высокую смертность молодых особей или их зачатков (яйца, икринки, споры, семена и т.п.). Такая кривая носит название логистической. В отличие от максимальной, экологическая, или реализованная рождаемость (или просто рождаемость) характеризует прирост или увеличение численности популяции при фактических или специфических условиях среды.

Реализованная рождаемость - величина непостоянная, она зависит от параметров популяции и специфических физических условий среды. Обычно рождаемость выражают числом особей, родившихся за некоторый промежуток времени. Число особей, родившихся за определенное время, называется абсолютной, или общей рождаемостью. Удельная рождаемость определяется числом особей, родившихся за определенное время в расчете на одну особь в популяции. Единица времени зависит от темпов и скорости размножения организма. Для бактерий это может быть час, для насекомых - сутки или месяц, для большинства млекопитающих данный процесс растягивается на месяцы. Предположим, что в городе с населением 100 тыс. жителей родилось 8 тыс. человек. Абсолютная рождаемость составит 8 тыс. в год, а удельная - 0,08, или 8 %. Различие между абсолютной и удельной рождаемостью легко проиллюстрировать на примере. Популяция из 20 простейших в некотором объеме воды увеличивается путем деления. Через 1 ч ее численность возросла до 100 особей. Абсолютная рождаемость при этом составит 80 особей в 1 ч, а удельная рождаемость (средняя скорость изменения численности на особь в популяции) - 4 особи в 1 ч при 20 исходных.

Смертность - величина, обратная рождаемости. Это число погибших в популяции особей за единицу времени. Подобно рождаемости, смертность можно выразить числом особей, погибших за данный период (число смертей в единицу времени) или же в виде удельной смертности для всей популяции или ее части. При определении смертности популяции учитываются все погибшие особи независимо от причины смерти (умерли ли они от старости или погибли в когтях хищника, отравились ли ядохимикатами или замерзли от холода и т.д.).

#### **6.4 Продолжительность жизни**

Продолжительность жизни вида зависит от условий (факторов) жизни. Различают физиологическую и максимальную продолжительность жизни. Физиологическая продолжительность жизни - это такая продолжительность жизни, которая определяется

только физиологическими возможностями организма. Теоретически она возможна, если допустить, что в период всей жизни организма на него не оказывают влияние лимитирующие факторы.

Максимальная продолжительность жизни – это такая продолжительность жизни, до которой может дожить лишь малая доля особей в реальных условиях среды. Эта величина варьирует в широких пределах: от нескольких минут у бактерий до нескольких тысячелетий у древесных растений (секвойя), т.е. от 10<sup>3</sup> до 10<sup>11</sup> секунд. Обычно, чем крупнее растение или животное, тем больше их продолжительность жизни, хотя бывают и исключения (летучие мыши доживают до 30 лет, это дольше, например, жизни медведя).

Смертность и рождаемость у организмов весьма существенно изменяется с возрастом. Только увязав смертность и рождаемость с возрастной структурой популяции, удастся вскрыть механизмы общей смертности и определить структуру продолжительности жизни. Такую информацию можно получить с помощью таблиц выживания.

Таблицы выживания, или еще их называют демографическими таблицами, содержат сведения о характере распределения смертности по возрастам. Демография изучает размещение, численность, состав и динамику народонаселения, а эти таблицы она использует для определения ожидаемой продолжительности жизни человека. Таблица выживания бывают динамические и статистические.

Динамические таблицы строятся по данным прямым наблюдений за жизнью когорты, т.е. большой группы особей, от рожденных в популяции за короткий промежуток времени относительно общей продолжительности жизни изучаемых организмов, и регистрации возраста наступления смертности всех членов данной когорты. Такие таблицы требуют длительного наблюдения, месяцами или годами. Но практически невозможно такую таблицу сделать для долго живущих животных или для человека – для этого может потребоваться более 100 лет. Поэтому пользуются другими таблицами - статические.

Статические таблицы выживания составляются по данным наблюдений за относительно короткий промежуток времени за смертностью в отдельных возрастных группах. Зная численность этих групп, можно рассчитать смертность, специфическую для каждого возраста.

Такие таблицы представляют собой как бы временной срез через популяцию. Если в популяции не происходит существенных изменений в смертности и рождаемости, то статические и динамические таблицы совпадают. Данные таблиц выживания позволяют построить кривые выживания, или кривые дожития, так как отражается зависимость количества доживших до определенного возраста особей от продолжительности этого интервала с самого момента отражения организмов.

Выделяют три типа основных кривых выживания, к которым в той или иной мере приближается все известные кривые.

Кривая I типа, когда на протяжении всей жизни смертность ничтожно мала, резко возрастает в конце ее, характерна для насекомых, которые обычно погибают после кладки яиц (ее и называют кривой дрозофилы), к ней приближаются кривые выживания человека в развитых странах, а также некоторых крупных млекопитающих.

Кривая III типа – это случаи массовой гибели особей в начальный период жизни. Гидробионты и некоторые другие организмы, не заботящиеся о потомстве, выживают за счет огромного числа личинок, икринок, семян и т.п. Моллюски, прежде чем

закрепиться на дне, проходят личиночную стадию в планктоне, где личинки гибнут в огромных количествах, поэтому кривую III называют еще кривой устрицы.

Кривая II типа (диагональная) характерна для видов, у которых смертность остается примерно постоянной в течение всей жизни. Такое распределение смертности не столь уж редкое явление среди организмов. Встречается оно среди рыб, пресмыкающихся, птиц, многолетних травянистых растений.

Реальные кривые выживания часто представляют собой некоторую комбинацию указанных выше основных типов. Например, у крупных млекопитающих, да и у людей, живущих в отсталых странах, кривая I вначале круто падает за счет повышенной смертности сразу после рождения.

## 6.5 Типы динамики численности

Выделяют сезонный, многолетний, периодический и устойчивый типы динамики численности. Сезонный тип динамики численности характерен для видов с резко возрастающей плотностью популяций в течение одного сезона. Он свойствен небольшим по размеру организмам, которые дают многочисленное и быстро созревающее потомство и способны поэтому в короткий срок резко увеличить свою численность. К таким организмам относятся представители планктона — дафнии, циклопы, коловратки, а среди наземных — многие виды насекомых, грызунов и однолетних травянистых растений. Например, домашние мухи появляются весной после зимовки в небольшом количестве, однако потомство одной их пары при средней плодовитости самки около 100 яиц за 5—6 поколений может быть очень многочисленным. В действительности этого не происходит из-за гибели значительной части отложенных яиц, личинок и куколок. И тем не менее численность мух от поколения к поколению сильно увеличивается.

Многолетний тип динамики численности охватывает период в несколько лет и характеризуется фазой минимума, или депрессии, фазой подъема, или нарастания, и фазой максимума, или массовой вспышки, после которой численность снижается, и многолетний цикл повторяется вновь. У разных видов продолжительность полного цикла различна и охватывает период от 2 до 10 лет. Такой тип динамики численности имеют саранча, колорадский жук, обитатели тундры — лемминги. Знание циклов динамики численности видов-вредителей позволяет прогнозировать их массовое появление и рассчитывать время для борьбы с ними.

Устойчивый тип динамики численности характерен для видов с более или менее постоянной численностью в течение длительного периода времени. Этот тип динамики свойствен, как правило, крупным животным с большой продолжительностью жизни, поздним наступлением половозрелости, дающим малочисленное с высокой выживаемостью потомство. Примером могут служить копытные млекопитающие, китообразные, крупные орлы, некоторые пресмыкающиеся.

Изменение численности сопровождается перестройкой возрастной структуры. Когда численность увеличивается, что происходит при наличии достаточного количества необходимых ресурсов (пищи, пространства), отмечается возрастание доли молодых особей (т.е. значительно возрастает рождаемость как абсолютная, так и относительная). Рост численности популяции в конечном счете приводит к уменьшению ресурсов, необходимых особям. Спад численности сопровождается уменьшением доли особей младших возрастов и повышением смертности и продолжается вплоть до наступления

следующего благоприятного периода, обуславливающего очередное увеличение численности.

## 6.6 Причины динамики численности

Факторы, вызывающие изменение численности, разнообразны. Их подразделяют на две группы: не зависящие и зависящие от плотности популяции. К не зависящим от плотности популяции относят преимущественно абиотические факторы. Они действуют на популяцию при любой ее численности. Например, особо суровые зимы вызывают гибель зимующих особей капустной белянки вне зависимости от того, большое или малое количество особей составляет эту популяцию в данный зимний период. Или наоборот, благоприятные условия зимовки могут способствовать повышению численности особей как в малочисленных популяциях, так и в больших. Следовательно, разнообразные абиотические факторы среды могут вызвать значительные колебания численности популяции.

К зависящим от плотности популяции принадлежат биотические факторы — естественные враги (хищники, паразиты, возбудители болезней) и пищевые ресурсы. Их количество изменяется вместе с изменением численности популяции. Установлено, что как только плотность популяции того или иного вида хищников увеличивается, численность популяции его основной жертвы начинает снижаться. Такой же эффект на популяцию хозяина оказывают и паразиты. Как правило, чем выше плотность популяции, тем сильнее влияние этих факторов. Без них численность популяции могла бы неограниченно увеличиваться, что привело бы к полному уничтожению источников корма. Таким образом, особенность действия факторов зависящих от плотности, заключается в сглаживании резких колебаний численности, благодаря чему численность популяции поддерживается на определенном оптимальном уровне.

Одним из механизмов регулирования численности является плодовитость. Она снижается при уменьшении пищевой обеспеченности, которое наблюдается при увеличении численности популяции. Снижение плодовитости особей приводит к понижению рождаемости, а следовательно, к замедлению темпов роста популяции. Важную роль в регуляции плотности популяции играют поведенческие факторы, в частности территориальность. Наличие у особей определенного вида своего индивидуального участка, который обозначается разными способами (мочой, секретом пахучих желез, царапинами на деревьях, звуками и др. ), ограничивает рост численности их популяций, так как особи, не имеющие собственного участка, не участвуют в размножении. Таким образом, популяции подвержены воздействию комплекса абиотических и биотических факторов, которые приводят в действие механизмы регуляции их численности. Поэтому в не нарушенных деятельностью человека природных сообществах редко происходит неудержимый рост численности, истощение ресурсов и гибель популяций.

Численность естественных популяций не остается постоянной, так как изменчивы условия окружающей их среды. Диапазон изменчивости численности различен у разных видов. Он обусловлен степенью изменчивости условий среды обитания, а также биологическими особенностями конкретного вида. Выделяют три наиболее часто встречаемых типа динамики численности: сезонный, многолетний периодический и устойчивый. Регуляция численности в природных условиях осуществляется не зависящими и зависящими от плотности популяции факторами.

## Вопросы для самоконтроля

1. Закономерности, управляющие динамикой численности популяций.
2. Ч- и К- структуры
3. Скорость популяционного роста

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.
4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природо-пользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.
5. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.
6. **Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

### *Дополнительная*

1. **Денисов, В. В., Гутенев В.В.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010 - 726 с.
2. **Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.
3. **Коробкин, В. И., Передельский Л.В.** Экология. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.
4. **Николайкин, Н. И.:** Учебник/ Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. - М.: Дрофа, 2004. - 624 с.

## Лекция 7

### ЭКОЛОГИЯ СООБЩЕСТВ

#### 7.1 Понятие термина сообщество

Совокупность популяций совместно обитающих видов обычно называют сообществом (а если виды эти систематически и экологически близки между собой, то — таксоценом). Когда такое сообщество очень разнообразно в видовом отношении, то есть включает всех животных, растения, грибы и микроорганизмы какого-либо однородного по своим условиям участка среды, то его называют биоценозом.

Пространство, в котором находится биоценоз, называют биотопом. Это не просто пустое пространство, а участок воды или суши с определенным типом рельефа, климатом, геоморфологией. Получается, что биотоп — это дом, а биоценоз — его население. Совокупность биоценоза и биотопа чаще всего называют экосистемой.

Таким образом, экосистема состоит из двух компонентов. Один из них органический — это населяющий ее биоценоз, другой — неорганический, то есть биотоп, дающий пристанище биоценозу.

Термин «биоценоз» был предложен К. Мебиусом в 1877 году, когда он изучал устричные банки и живущие там организмы. Его определение биоценоза было таким: «Объединение живых организмов, соответствующее по своему составу, числу видов и особей некоторым средним условиям среды. Объединение, в котором организмы связаны взаимной зависимостью и сохраняются благодаря постоянному размножению в определенных местах... Если бы одно из условий отклонилось на некоторое время от обычной средней величины, изменился бы весь биоценоз... Биоценоз также претерпел бы изменение, если бы число особей данного вида в нем увеличилось или уменьшилось благодаря деятельности человека, или же один вид полностью исчез бы из сообщества, или, наконец, в его состав вошел новый...» Со времен К. Мебиуса в термин «биоценоз» начали вкладывать и другое содержание. Появились различные толкования этого термина. Сам же термин остался центральным в биоценологии, и очень многие исследователи старались его поточнее определить. Отсюда возникали очень сложные определения, такие, как у К.Р. Элли. Он определил биоценоз как «естественное объединение организмов, которое в единстве со своим местообитанием достигло такого уровня выживаемости, что приобрело относительную независимость от смежных объединений того же ранга; в этих пределах (при наличии солнечной энергии) его можно считать самостоятельным». Синонимами термина «биоценоз» часто являются «ассоциация» и «сообщество».

Сообщество — это совокупность популяций разных видов, сосуществующих в пространстве и времени. (Бигон и др., 1989). Биоценозы относят к трем типам: наземные, пресноводные и морские.

#### 7.2 Характеристики сообществ

После того как очерчены границы биоценоза, уточнен список видов, входящих в его состав, приступают к его описанию. Для этого исследователи выделяют характеристики, описывающие основные свойства биоценозов. Число характеристик может быть различным. Мы познакомимся лишь с некоторыми из них, наиболее часто употребляемыми.

Прежде всего это обилие. Обилием называют число особей на единицу объема, то есть это аналог плотности в популяционном исследовании. Обилие меняет свое значение в зависимости от сезона, года или колебаний численности. Эта характеристика меняется от одного биоценоза к другому. Точно определить обилие невозможно, поэтому для его оценки пользуются качественным описанием. Так, в ботанике приняты пять степеней обилия: 0 — отсутствие, 1 — редко и рассеяно, 2 — не редко, 3 — обильно, 4 — очень обильно. Когда зоолог, используя какой-нибудь способ отлова животных, оценивает обилие их, то пользуется соотношением пойманных животных ко времени лова или количеству ловушек. Это так называемое относительное обилие.

Вторая характеристика — частота. Ее оценивают соотношением числа особей одного вида к общей численности организмов в данном сообществе. Частоту обычно выражают в процентах.

Очень важной характеристикой биоценоза является постоянство его состава. Все виды сообщества разделяют на постоянные, добавочные и случайные. Постоянные встречаются в половине проб, взятых из этого биоценоза. Добавочные встречаются не менее чем в четверти всех проб. Если же вид обнаруживается менее чем в четверти всех проб, то его относят к случайным. Кроме того, в любом сообществе обязательно имеются один или несколько видов, которые по числу особей превосходят прочих, их называют доминирующими. Правда, численное доминирование многие исследователи заменяют функциональным. Оно определяется по влиянию, которое вид оказывает на сообщество. Так, несколько крупных жвачных окажут на луг больше влияния, чем многочисленные насекомые-фитофаги. Поэтому таких жвачных назовут доминирующими видами. Используют для описаний и смешанный показатель — обилие-доминирование. Он сочетает плотность вида с занимаемой им площадью местообитания.

Еще одна характеристика биоценоза — верность местообитанию. Это показатель, выражающий степень привязанности вида к биоценозу. Он определяет частоту встречаемости данного вида в данном сообществе. Виды, свойственные исключительно данному биоценозу или наиболее обильно в нем представленные, называют характерными (или энценозными). Так, характерный вид песчаной пустыни — ушастая круглоголовка, а глинистой — такырная. Имеются виды предпочитающие (тихоценные), иначе их еще называют преферентные.

Они встречаются в нескольких рядом расположенных биоценозах, но предпочитают один из них. Таков, например, карась, живущий в реках, речках, прудах, озерах и даже болотах. Предпочитает же он озера. Бывают, наконец, виды чуждые, их еще называют ксеноценными. Это случайно попавшие в данное сообщество виды, обычно они ему не принадлежат. Так, в луговом сообществе в Барабинской низменности среди прочих грызунов может изредка появляться степная пеструшка — житель остепненных участков, характерный вид для сухих степей. В пойме реки Оби отмечают иногда узкочерепную полевку, хотя она тоже в основном степной зверек.

Виды индифферентные (убикивисты) способны существовать с равным успехом в нескольких биоценозах. К таким видам можно отнести обыкновенную лисицу, которая обычна в лесу, в тундре, в степи и даже в пустыне.

Как правило, в любом нашем биоценозе характерных видов меньше, чем преферентных или чуждых. Зато по количеству особей характерные преобладают над всеми остальными видами. Этим видов может быть много, но численность их популяций невелика

### 7.3 Структура биоценоза

Всякий биоценоз имеет свою собственную структуру. Она определяется расположением особей различных видов по отношению друг к другу как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Это пространственная структура. Распределение по вертикали соответствует ярусности. В различных биоценозах она выражена в разной степени.

У растений ярусность вызвана конкуренцией за свет и воду, а у животных — за пищу. Лучше всего ярусность выражена в лесу. Там можно выделить ярус мхов и лишайников. Он обычно располагается на уровне почвы, отчасти и на стволах. Ярус травянистой растительности бывает различной высоты (в сибирской тайге — до двух метров). Часто ботаники только у травянистых растений выделяют несколько ярусов. Следующий ярус в лесу — кустарниковый. Он достигает восьмиметровой высоты и тоже может быть разделен. Последний лесной ярус (1-й ярус леса), древесный, состоит из высоких деревьев. В соответствии с ярусностью растительности распределяются в лесу и животные. Там есть виды, связанные с почвой, целая группа видов, населяющая лесную подстилку. Группы видов обитают на траве и на кустарниках. Даже дерево обычно заселено на различной высоте от комля до вершины разными видами животных.

Ярусность (горизонты) существует и в почве. Ее определяет характер залегания корневой системы различных растений. В водной среде тоже различают ярусы: плавающая растительность, растущая в толще воды и придонная. Соответственно и животные разделяются на обитающих: на поверхности (водомерки, вертячки), в толще воды (гладыши, гребляки) и на дне водоема (водяные скорпионы, беззубки, личинки ручейников).

Горизонтальная структура биоценозов тоже неоднородна. Чередуются пространства с голой почвой и покрытые растениями. В размещении животных также прослеживается горизонтальная структура. Довольно часто животные на территории располагаются скоплениями. Сообщества могут быть подвержены значительным сезонным изменениям. Иногда за счет миграций животных они могут сильно изменяться даже в течение суток. В толще воды животные и растения обычно совершают вертикальные суточные миграции. Такие перемещения известны для океанских рыб и ракообразных, в пресноводных водоемах — для фитопланктона. Активность ряда видов подразделяют на дневную и ночную, поэтому в биоценозе в зависимости от времени суток может оказываться различным состав активных животных. Еще более показательна сезонная изменчивость. Она сказывается и на физиологическом состоянии организмов (цветение, сбрасывание листьев, диапауза, миграция). Кроме того, ее можно наблюдать и на изменениях видового состава, потому что многие виды активны только в более или менее ограниченный период.

### 7.4 Изучение экосистем

В природе в любом пространстве обитает большое число видов. Совокупность их отношений оказывается необычайно сложна и разнообразна. Только теоретически можно представить и рассмотреть все связи организмов, населяющих биосферу, практически же это неосуществимо. Тем не менее задача эта решается при некотором упрощении. Жизнь на Земле хотя и сосредоточена в разнообразных местообитаниях, но на большом протяжении сохраняет свою однородность. Часто такие местообитания

хорошо выражены и их можно рассматривать отдельно, изучать структуру и межвидовые отношения.

Как вы уже знаете, подобное местообитание называется биотопом. Он характеризуется определенными физическими и химическими условиями. Хотя у экологов и существует детализированное понятие «биотоп», все же чаще они ограничиваются интуитивным представлением о нем. Примерами могут быть озеро, луг, лес. Все эти местообитания достаточно однородны. В характеристику (и в название) биотопа часто включают не только физико-химические свойства среды, но и его растительность. Это связано со значительным влиянием растений на всю экосистему, в том числе и на ее физико-химические условия. Однако не нужно забывать, что термин «биотоп» обозначает только неживую среду.

Совокупность живых организмов, населяющих биотоп, как говорилось выше, называется биоценозом. Очевидно, что растения также являются компонентами биоценоза и вступают в межвидовые отношения с прочими организмами экосистемы. Мы помним, что совокупность биотопа и населяющего его биоценоза определяют как экосистему или биогеоценоз.

В экосистеме виды взаимодействуют друг с другом в относительно замкнутом круговороте. Однако он никогда не бывает абсолютно замкнутым, потому что осуществляется обмен с соседними экосистемами, поэтому экосистема — открытая система. Рассмотрим конкретную экосистему, чтобы представить себе, как она «устроена». Наиболее удобной для этого будет относительно изолированная система, такая, как озеро. Строго говоря, и само озеро можно подразделить на несколько различных местообитаний, но такие различия неизбежны в пределах любой экосистемы, и при первом знакомстве их можно не учитывать.

Флора озера, превосходящая по массе, как и в других экосистемах, все прочие организмы, состоит из двух неравных групп. Одна из них, меньшая, — это цветковые растения. Часть из них растет на берегу, часть — в воде. Другая группа — микроскопические водоросли: диатомовые, перидинеи, вольвоксовые — играет большую роль в жизни водоема. Эти водоросли, составляющие основную массу фитопланктона, являются питанием для большинства водных организмов. Именно они вместе с другими зелеными растениями создают органическое вещество из неорганического, используя для этого энергию солнечного излучения. Их называют продуценты. Рассматривая выше организм как ресурс, мы уже познакомились с цепями питания.

Итак, продуценты производят органическое вещество, а далее оно трансформируется в пищевых цепях и сетях. Многочисленные потребители органики, поедая друг друга, образуют пищевые цепи — очередность поеданий. Так, тля пьет растительный сок, тлю поедает муравей, его — трясогузка, далее — кошка, вот и получилась цепочка. Между тем тлю едят очень многие животные: божьи коровки, златоглазки, личинки мух-журчалок и т. д., так что пищевая цепь уже на тле может соединиться с другими пищевыми цепями. Поэтому-то в любой экосистеме обязательно существует целая пищевая сеть, объединяющая все цепи. Вспомнив все это, вернемся к биоценозу нашего озера.

Фитопланктоном питаются микроскопические организмы, носящие общее название — зоопланктон. (В некоторых озерах фитопланктон едят и рыбы.) Все эти животные, питающиеся непосредственно растениями, относятся к группе первичных консументов. Они неспособны создавать органическое вещество из неорганического и только перерабатывают уже готовую органику. Зоопланктон, в свою очередь, служит пищей

для более крупных животных — личинок насекомых, молоди рыб, то есть вторичных консументов. Каждая из этих групп организмов может быть названа трофическим уровнем. Организмы из разных трофических уровней также связаны между собой. Они образуют пищевую цепь.

Чем проще устроена экосистема, чем меньше в ней членов, тем больше зависимость между звеньями в пищевых цепях и тем короче эти цепочки. Нарастает видовое разнообразие, усложняется биоценоз и пищевые цепи удлиняются, усложняются. Хищники здесь (консументы второго и третьего порядков) имеют «в запасе» несколько видов жертв, да и сами могут служить добычей другим хищникам более высоких порядков. Пищевые цепи ветвятся, соединяясь между собой разнообразием хищников, а также паразитов и редуцентов, и преобразуются в общую сложную пищевую сеть.

Кроме продуцентов и консументов, в экосистеме всегда имеются деструкторы, или их еще называют редуцентами. Дело в том, что консументы, как первичные, так и следующих порядков, не могут полностью разлагать органическое вещество. Они обязательно оставляют непереваренные остатки — экскременты. За их счет и могут существовать пищевые цепи деструкторов. В озерных сообществах экскрементами таких крупных животных, как рыбы, жуки-водолюбы, крупные моллюски, питается большое число видов детритофагов. Среди них преобладают равноногие ракообразные, личинки хирономид, которых часто называют червями. После их пищеварительных каналов органические остатки достаются бактериям. Они-то и разлагают все это окончательно до минеральных веществ, вновь используемых растениями. Без деструкторов не смог бы осуществляться кругооборот веществ в экосистеме. Так что их деятельность не менее важна, чем у зеленых растений.

## 7.5 Как функционирует экосистема

Для ясного понимания того, как устроена и функционирует экосистема, необходимо ее изучить. Это включает в себя работу в трех направлениях:

1. Необходимо установить границы экосистемы.
2. Проанализировать ее пищевые цепи.
3. Рассмотреть обмен веществ и энергии.

Установление границ экосистемы и анализ пищевых цепей в ней часто затруднительны. Во-первых, экосистема может оказаться неоднородной и распадаться на несколько относительно самостоятельных систем. Во-вторых, она может развиваться циклично или как-то иначе, то есть экосистема изменяется в пространстве и во времени, поэтому ее границы и структура непостоянны. По протяженности тоже имеются большие различия. Отдельной экосистемой может быть и гниющее дерево и тундра, раскинувшаяся на огромной территории. Последнюю часто называют формацией, или биомом. При установлении границ тундры требования иные, чем в случае с озером или деревом. В средних и небольших экосистемах — луг, лес — растительный и животный мир богаче в переходных зонах, опушечных полосах.

Для анализа пищевых цепей требуется установить виды, населяющие экосистему, причем с учетом их численности. После того как определен видовой состав и плотность популяций, необходимо выяснить пищевой режим и среднюю потребность в пище для каждого вида. Существуют различные способы получения таких данных. Один из методов — ввести в экосистему пищу, меченую радиоактивными изотопами. Тогда можно проследить движение различных элементов пищи по пищевым цепям, узнать

скорость их распространения и даже подсчитать ежедневное потребление пищи особями видов. Однако, даже прилагая большие усилия, получить количественные характеристики по экосистемам можно лишь в редких случаях. Ведь многочисленные отношения между видами постоянно изменяются и во времени, и в пространстве.

Даже в стабильных экосистемах численность каждого вида подвергается периодическим колебаниям, которые сразу отражаются на всех пищевых цепях, или, точнее, на всей трофической сети биоценоза. Столкнувшись с огромными трудностями при изучении биоценозов во всех непрерывно меняющихся деталях, экологи осознали необходимость рассмотрения обмена веществ и энергии в их совокупном, наиболее общем выражении.

## 7.6 Экологические пирамиды

Первое упрощение, которое пришлось сделать, — это ограничиться лишь схематическим изображением пищевой сети, рассматривая только главные категории: первичные продуценты (зеленые растения), первичные консументы (травоядные животные), вторичные консументы (плотоядные животные), деструкторы. Категории эти можно изобразить в виде прямоугольников, длина или площадь которых соответствуют значимости их. Помещая прямоугольники друг на друга, получают некоторую пирамиду. Внизу располагаются продуценты, а вверху — консументы разных порядков. Первые пирамиды строили как пирамиды чисел (предложил их Чарлз Элтон, поэтому их стали называть пирамиды Элтона). Размер прямоугольников в них был пропорционален числу особей, заключенных в единице площади или объема биотопа.

Однако такая система плохо определяла действительное положение вещей. Ведь особи, принадлежащие к одному трофическому уровню, играют в жизни экосистемы неравноценную роль, но, согласно пирамиде Элтона, слон в саванне будет оцениваться так же, как и термит, одной единицей. Стали использовать пирамиды, где размер прямоугольников пропорционален массе живого вещества каждого трофического уровня — биомассе. И пирамида биомасс также складывается из прямоугольников, но теперь они несут информацию о биомассах в трофических уровнях. Она сужается кверху, поскольку поедаемых всегда должно быть больше, чем поедателей.

Метод пирамид дает очень хорошие результаты, с его помощью легко сравнивать различные экосистемы. Можно сопоставлять, например, коралловый риф и залежь. Первый — это древний и стабильный биоценоз, большое место в котором занимают консументы. Залежь — молодой биоценоз. Она находится в одной из начальных стадий развития, и ее растительная продукция еще слабо используется консументами. Новые пищевые цепи появятся лишь по мере дальнейшего развития биоценоза.

Пирамиды биомасс, построенные для морских систем, выглядят парадоксально: они перевернуты. Складывается впечатление, что консументы там живут за счет фитопланктона, масса которого меньше их собственной. Налицо либо нарушение законов природы, либо изъян метода анализа. Разгадка же состоит в том, что микроскопические водоросли размножаются чрезвычайно быстро, непрерывно поставляя пищу намного медленнее растущим и размножающимся консументам. В соответствии с более быстрым размножением в единицу времени они поставляют большую биомассу, чем та, которую за это же время наращивают консументы. Так что при моментальном измерении пирамида перевернута, но как только мы вводим изменение во времени — все становится на свои места. Фитопланктон-то наращивает

биомассу быстрее всех прочих организмов! Так что нижний прямоугольник нашей пирамиды становится самым большим в ней.

### 7.7 Энергетический обмен в экосистемах. Продуктивность

Логический вывод из предыдущих рассуждений: нас должна интересовать не масса и численность организмов на том или ином трофическом уровне, а показатели энергетического обмена внутри экосистемы. При этом возникает понятие «продуктивность», или «урожай».

Жизнь всех биоценозов зависит в конечном счете от использования солнечной энергии зелеными растениями. Скорость, с которой лучистая энергия усваивается организмами-продуцентами, накапливаясь в форме органических веществ, называется первичной продуктивностью экологической системы. Производство органического вещества можно подразделить на 4 уровня:

1. Валовая первичная продуктивность — общая скорость фотосинтеза. Сюда же относятся органические вещества, которые были израсходованы на дыхание.

2. Чистая первичная продуктивность — это скорость накопления органического вещества в растениях, исключая то, что потрачено на дыхание.

3. Чистая продуктивность сообщества — скорость накопления органического вещества, не потребленного гетеротрофами (консументами и деструкторами) за определенный период: за время вегетации, сезон, год.

4. Вторичная продуктивность — это скорость накопления энергии на уровнях консументов. Консументы лишь усваивают ранее использованные питательные вещества, часть их расходуется на дыхание, а остальное превращается в ткани тела. Вторичную продуктивность не делят на валовую и чистую.

Высокие скорости накопления органического вещества наблюдаются и в естественных, и в искусственных экосистемах. Это происходит там, где благоприятны физические факторы, а особенно — при поступлении дополнительной энергии извне. Она может поступать в различной форме: в тропическом лесу в форме работы ветра и дождя; в эстуарии — в виде энергии прилива; в поле — в форме энергии, которая затрачивается на обработку земли, ее орошение и удобрение. Оценивая продуктивность экосистемы, нужно учитывать и утечку энергии, связанную со сбором урожая, загрязнением среды, плохой погодой и другими неблагоприятными воздействиями.

В общем, продуктивность экосистемы говорит о ее богатстве. Богатое и продуктивное сообщество не обязательно имеет большее число организмов, чем бедное. Ведь особи в сообществе могут быстро оборачиваться или из него изыматься. Так, на богатом пастбище, где пасется скот, урожай травы на корню будет меньше, чем на менее продуктивном, но без выпаса. Наличную биомассу нельзя путать с продуктивностью.

Знакомство с концепцией продуктивности экосистем рождает закономерный вопрос: каков полезный «выход» биомассы в экосистемах, каков их коэффициент полезного действия? Иными словами, каково соотношение валовой и чистой первичной продукции?

Это соотношение различается в разных экосистемах и в разные сезоны года. Например, на севере летом в валовую продукцию превращается 10 процентов общего дневного поступления солнечной энергии и за сутки 75–80 процентов валовой продукции может перейти в чистую. Однако такая продуктивность не может сохраняться весь год и даже в течение всего вегетативного периода. Известно, что у

молодых растений больше расход энергии на построение тканей тела. У старых же большая часть ассимилированной энергии расходуется на дыхание. В среднем в ткани растений превращается около половины продукции фотосинтеза, остальная идет на дыхание.

Как правило, по валовой продукции культурные экосистемы не превосходят богатые природные. Человек увеличивает продуктивность, доставляя воду и питательные вещества туда, где они служат лимитирующими факторами. Но более всего человек увеличивает чистую первичную продуктивность и чистую продуктивность сообщества, направляя в него дополнительную энергию и уменьшая тем самым расход продукции на автотрофном и гетеротрофном уровнях. Этим он увеличивает урожай для себя. В горючем, которое расходуется сельскохозяйственными машинами, заключено не меньше энергии, чем в солнечных лучах, попадающих на поля. В США, например, вклад энергии топлива в сельское хозяйство увеличился с 1900 по 1970-е годы в 10 раз (примерно с 1 до 10 калорий на каждую калорию полученной пищи). Такой вклад дополнительной энергии для получения урожая называют энергетической субсидией. Другой путь увеличения урожая для человека — отбор на повышение соотношения съедобных частей растения к волокну. Например, за XX век отношение сухой массы зерна к массе соломы у пшеницы и риса увеличилось с 50 до 80 процентов.

«Зеленая революция» в разных странах была вызвана выведением новых сортов сельскохозяйственных культур. В них высокое содержание съедобных частей по сравнению с «соломой». Но самое существенное их свойство — это хорошая реакция на энергетические субсидии в форме орошения и удобрения, дающая существенную прибавку урожая. А без этих поступлений новые сорта дают урожаи ниже, чем традиционные, не требующие таких субсидий. Стало быть, понятие «урожай» не столь четкое, как «первичная продукция» и ее подразделения. Урожай — это та полезная продукция, которую собрал человек со своего поля или из природной экосистемы без учета затрат (энергетической субсидии). По мере уменьшения доступности и увеличения стоимости полезных ископаемых (горючего) становится все труднее обеспечивать агроэкосистемы дополнительной энергией.

Если рассматривать в целом продуктивность наземных экосистем, то выясняется важная закономерность. Расположив сообщества в ряд от используемых человеком короткоживущих до зрелых, устойчивых, таких, как спелый хвойный лес в северных широтах, можно отметить, что чистая продуктивность, как первичная, так и сообщества, в начале ряда выше, а в конце почти равна нулю. В качестве примера экосистемы с быстрым ростом часто приводится поле люцерны, где за короткое время получается высокий выход продукции. Мы уже знаем, что увеличение «выхода» возможно за счет уменьшения затрат на дыхание автотрофов и на жизнь потребителей (консументов). Уменьшение затрат на гетеротрофов развивалось и эволюционным путем. У растений образовывались защитные механизмы, такие, как природные инсектициды или целлюлозные структуры (шипы, колючки).

В сложившихся устойчивых сообществах с большой биомассой почти вся полученная при фотосинтезе энергия питательных веществ уходит на поддержание самой системы. Что не потребляют растения, то используют затем животные и микроорганизмы.

Многие ученые считают, что для того чтобы растущему населению вместе с домашними и дикими животными выжить, нужно уже сейчас позаботиться об увеличении продуктивности подходящих для этого мест. Даже если использовать

только продукцию сельскохозяйственного производства, необходимо увеличить ее выход. Годовая продукция большинства сельскохозяйственных культур невелика, например, однолетние зерновые продуктивны лишь несколько месяцев. Повышение же урожая за счет таких культур, которые дают продукцию в течение всего года, может приблизить валовую продуктивность культурных экосистем к уровню лучших природных сообществ. Кроме того, большинство специалистов по сельскохозяйственной экологии считают, что слишком большое значение придается монокультуре однолетних растений. Даже простой здравый смысл велит подумать об увеличении разнообразия культур, совмещении посевов, использовании многолетних видов.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое биоценоз?
2. Что за характеристика биоценоза — обилие?
3. Какие еще характеристики биоценоза вам запомнились?
4. Что такое структура биоценоза? Какие его структуры вы можете назвать?
5. Что такое размерная структура биоценоза?
6. Дайте определение экосистемы и назовите несколько хорошо знакомых вам экосистем.
7. Продуценты и консументы: кто это?
8. Кого должно быть больше в экосистеме — продуцентов или консументов? Почему?
9. Какая группа организмов, кроме продуцентов и консументов, обязательна в экосистеме? Ее роль?
10. Как установить границы экосистемы?
11. Что входит в анализ пищевых цепей экосистемы?
12. Приведите примеры экологических пирамид. Зачем придумали эту форму описания экосистемы?
13. Почему пирамида биомасс в морях перевернута?
14. Что такое трофический уровень?
15. Как вы объясните соотношение валовой и чистой продуктивности?
16. Что такое экологическая субсидия?
17. Какие приемы использует человек для увеличения урожая? Что такое урожай?
18. Ваш прогноз состояния кормовой базы человечества в ближайшие десятилетия.
19. Что происходит с видом, переставшим соответствовать условиям своего местообитания?

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.
4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природо-пользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.
5. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.

**6. Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

*Дополнительная*

- 1. Денисов, В. В., Гутенев В.В.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010 - 726 с.
- 2. Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.
- 3. Коробкин, В. И., Передельский Л.В.** Экология. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.
- 4. Николайкин, Н. И.:** Учебник/ Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. - М.: Дрофа, 2004. - 624 с.

## Лекция 8

### ЭКОСИСТЕМЫ

#### 8.1 Компоненты экосистем

В экосистеме можно выделить два компонента – биотический и абиотический. Единственным источником энергии для существования экосистемы и поддержания в ней различных процессов являются продуценты, усваивающие энергию солнца. Солнечная энергия поглощается в биосфере неравномерно.

Энергия солнца поглощается лишь частично, и на каждый новый трофический уровень переходит лишь около 10% (Правило Линдемана), что обуславливает ограниченную длину цепей питания (обычно 5–6 уровней), соответственно можно сказать что на долю консументов приходится значительно меньше энергии, чем на долю плотоядных, плотоядных – меньше чем фитофагов и т.д. Каждая экосистема характеризуется присущей ей совокупностью свойств и структурой.

С точки зрения структуры в экосистеме выделяют:

1. Климатический режим, определяющий температуру, влажность, режим освещения и прочие физические характеристики среды.

2. Неорганические вещества, включающиеся в круговорот.

3. Органические соединения, которые связывают биотическую и абиотическую части в круговороте вещества и энергии.

4. Продуценты – автотрофные организмы, создающие первичную продукцию.

5. Консументы – гетеротрофы, поедающие другие организмы (хищные) или крупные частицы органического вещества.

6. Редуценты – гетеротрофы, в основном грибы и бактерии, которые разрушают мёртвое органическое вещество, минерализуя его, тем самым возвращая в круговорот.

Последние три компонента формируют биомассу экосистемы. С точки зрения функционирования экосистемы выделяют следующие функциональные блоки организмов (помимо автотрофов):

1. Биофаги – организмы, поедающие других живых организмов.

2. Сапрофаги – организмы, поедающие мёртвое органическое вещество. Данное разделение по типу питания обеспечивает круговорот биовещества в экосистеме. Между отмиранием органического вещества и повторным включением его составляющих в круговорот вещества в экосистеме может пройти существенный промежуток времени, например, в случае соснового бревна, 100 и более лет.

Все эти компоненты взаимосвязаны в пространстве и времени и образуют единую структурно-функциональную систему.

Среди составляющих также выделяют экотоп, климатоп, эдафотоп, биотоп и биоценоз.

Экотоп – территория (или акватория) местообитания организмов, характеризующееся определённым сочетанием экологических условий: почв, грунтов, микроклимата и т.д., при этом не измененная деятельностью организмов (новообразованные формы рельефа).

Климатоп – воздушная (или водная) часть экосистемы, отличающаяся от окружающей своим составом, воздушным (водным) режимом, влажностью (соленостью) и /или другими параметрами.

Эдафотоп – почва, как часть среды преобразуемой организмами.

Биотоп – преобразованный биотой экотоп или, более точно, участок территории, однородный по условиям жизни для определённых видов растений или животных, или же для формирования определённого биоценоза.

Биоценоз – исторически сложившаяся совокупность растений, животных, микроорганизмов, населяющих участок суши или водоёма (биотоп). Биоценозы ограничиваются распределением детерминантов (определителей) зооценозов (консорций – популяций растений вместе с сопровождающими их организмами), в которых доминирующие виды растений создают условия для жизни других организмов.

## 8.2 Понятие экотона.

В случае экологического кризиса или катастрофы в масштабе экосистемы (изменение климата, пожар, наводнение, загрязнение и т.п.) источником восстановления становится ближайший экотон.

Экотон - территория, всегда меньшая, чем территории соседствующих экосистем, населенная промежуточными формами жизни, способными адаптироваться к условиям жизни обоих смежных сообществ. Экотон - это стратегический запас жизни, своего рода "служба спасения" созданная эволюцией для ликвидации последствий экологических кризисов в смежных экосистемах. Промежуточные формы жизни экотона "запускают" адаптационный механизм и заселяют пострадавшую экосистему, возрождая ее сообщество к жизни в изменившихся условиях.

В течение десятилетий Европа была искусственно разделена "железным занавесом" на два сообщества. В условиях практической изоляции друг от друга развитие каждого сообщества определялось различными идеологиями. Исторически, период изоляции был краток - только три поколения. Однако этот период привел к серьезным изменениям не только в области организации хозяйства и технологий производства, но и в образе мышления членов сообществ, в том числе и в отношении к окружающей среде.

Последнее десятилетие - можно назвать периодом расширения контактов между двумя геополитическими экосистемами Европейским союзом и Россией, которые развивались определенное время разными путями.

Сравнив уровень развития соседствующих северных стран Европы и северных территорий России, можно видеть, как много могут перенять российские территории у своих ближайших соседей в экономике, в социальной сфере, в отношении к природе и ее охране.

Контакты между людьми - катализатор развития. Безусловно, потребуется время для преодоления человеческой природной консервативности и осознания российской стороной серьезности причин, чтобы провести жизненно-важные адаптационные изменения. В современном человеческом обществе не стресс извне, а осознание должно "включать" экотонный адаптационный механизм, ускоряя восстановительное развитие проблемного сообщества путем принятия необходимых изменений.

Северные страны представляют геополитические экотоны для северных российских территорий, откуда может прийти развитие в виде энергосберегающих технологий, экологически чистых производств, экологических знаний, природоохранных методов и т.д.

### 8.3 Экотон: влияние окружающей среды на процессы массо- и энергообмена

Массо- и энергообмен на планете включает разнообразные процессы вещественных и энергетических превращений и перемещений в литосфере, гидросфере, атмосфере. С появлением жизни эти круговороты и потоки интенсифицировались, претерпев существенные качественные изменения в результате развития биогенной миграции.

Многоплановая производственная деятельность человека вносит заметные коррективы в процессы массо- и энергообмена, затрагивая и изменяя их территориальные и временные характеристики. Агроэкосистемы, разумеется, причастны к этим изменениям (и подчас в немалой степени), способствуя, в частности, разомкнутости круговоротов веществ и др. Так, вследствие разомкнутости круговорота азота под влиянием химизации агроэкосистем планеты в воде и почвах накапливается и не возвращается в атмосферу ориентировочно около 10 млн т данного элемента. Избыток биогенных веществ - причина загрязнения природных вод, развития нежелательных процессов в почвах и т. д. Нарушение естественных круговоротов веществ - не единственное последствие вмешательства человека в природные циклы. Сельское хозяйство изменяет в круговороте веществ и потоков энергии интенсивность и траектории их перемещения. Особенно опасно вовлечение в круговорот искусственно синтезированных веществ, в том числе и ксенобиотиков.

В пределах территориальных участков, находящихся под влиянием формирующихся и функционирующих агроэкосистем, складываются свои особенности развития и перемещения миграционных потоков веществ, что по-разному сказывается на состоянии природных комплексов и их компонентов и требует нестандартных решений при рассмотрении конкретных природоохранных ситуаций.

Все экосистемы функционируют на основе прохождения биогеохимических циклов - эволюционно сложившихся универсальных природных процессов. В соответствии с принципами гомеостаза заметные изменения любого из формирующих экосистему функциональных компонентов могут послужить первопричиной существенных изменений других компонентов; при этом нарушается прежнее внутреннее строение системы (состав растительных и животных сообществ, доминирование органического вещества и т.д.). Стабильность экосистемы сохраняется и в том случае, если она переходит на новый уровень гомеостаза. Если же исключается или становится неэффективным любой из функциональных компонентов, экосистема может разрушиться под действием абиотических факторов, например под действием эрозии.

Достижение стабильного функционирования агроэкосистем, предотвращение возникновения и развития деграционных процессов требуют постоянной целенаправленной работы: научного осмысления особенностей биологического продуцирования, формирования целесообразных направлений практической деятельности. Принципиально важна сравнительная оценка свойств природных и культивируемых систем. В перспективе должно быть обеспечено максимальное приближение свойств искусственных образований к свойствам природных - к этому, по сути, и должны сводиться агроэкологические решения, основывающиеся на учете особенностей массо- и энергообмена в агроэкосистемах.

Продукционный процесс агроэкосистемы зависит не от разрозненно действующих абиотических (местоположение, солнечная радиация, тепловой и водный режимы, минеральное питание и др.), биотических и антропогенных факторов, а одновременно от всего их комплекса (результатирующий вектор сложных комбинаций межфакторных взаимодействий). Продуктивность агроэкосистемы обеспечивается интенсивностью и

направленностью процессов обмена веществ и переноса энергии между возделываемой культурой и окружающей природной средой, находящихся под управлением человека. От качества управления, степени его природосообразности зависит в конечном итоге экосистемный уровень биологической организации агроэкосистем.

### Вопросы для самоконтроля

1. Загрязнение и загрязнитель: понятие и отличия.
2. Какие бывают источники загрязнения?
3. Классификация загрязнений по происхождению.
4. Классификация загрязнений по масштабам и по количественным характеристикам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.
4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природо-пользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.
5. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.
6. **Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

#### *Дополнительная*

1. **Денисов, В. В., Гутенев В.В.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010 - 726 с.
2. **Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.
3. **Коробкин, В. И., Передельский Л.В.** Экология. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.

## Лекция 9

### ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОСИСТЕМ

#### 9.1 Понятие динамического равновесия и квазистационарного состояния

Закон внутреннего динамического равновесия экосистем Реймерса Н.Ф.: вещество, энергия, информация и динамические качества отдельных природных систем и их иерархии взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает сопутствующие функционально-структурные, количественные и качественные перемены, сохраняющие общую сумму вещественно-энергетических, информационных и динамических качеств системы, где эти изменения происходят, или в их иерархии.

Данный закон раскрывает механизм экологического баланса. Окружающая среда находится в состоянии динамического равновесия. Она непрерывно балансирует, выравнивая рождение и смерть, микро- и макроэволюцию, разные энергетические и химические процессы.

При внешнем воздействии равновесие в экосистеме может нарушиться. Чтобы этого не произошло, системы вынуждены своевременно реагировать на изменения потоков вещества и энергии. При этом сумма динамических качеств, информации, вещества и энергии в системах остается неизменной, хотя сами элементы количественно меняются. Утрированно эту закономерность можно представить в виде уравнения:  $a+b+c+d=f$ . А, b, c и d могут меняться, а сумма f остается постоянной ( $f=const$ ). Однако уравнение справедливо до тех пор, пока процессы в природе происходят сами собой.

Человеческая деятельность ощутимо меняет структуру экосистем. Люди или слишком много берут из экосистемы, или слишком много вносят в нее новых элементов разного свойства. Поэтому динамическое равновесие нарушается, меняется сумма компонентов системы.

Справедливость закона внутреннего динамического равновесия можно наглядно продемонстрировать на примерах взаимодействия человека с природными экосистемами (приаральская, азовская, волжско-каспийская и другие экологические катастрофы).

Из рассмотренного закона вытекают 4 важные следствия:

1. Любые изменения среды (вещества, энергии, информации, динамических качеств экосистемы) неизбежно приводят к развитию природных цепных реакций, идущих в сторону нейтрализации произведенного изменения или формирования новых природных систем, образование которых при значительных изменениях среды может принять необратимый характер.

Под цепной реакцией в природе понимается цепь природных явлений, каждое из которых влечет за собой изменение других, связанных с ним явлений.

Подтверждением действия рассматриваемой закономерности являются следующие примеры. Распаханный луг через некоторое время при отсутствии дальнейшего воздействия возвращается в естественное исходное состояние, т.е. наблюдается нейтрализация произведенных изменений.

При сильном загрязнении озеро теряет возможность самоочищения, развиваются анаэробные организмы, и оно превращается в болото, т.е. формируется новая природная система.

2. Взаимодействие вещественно-энергетических экологических компонентов (энергия, газы, жидкости, продуценты, консументы и т.д.), информации и динамических качеств природных систем нелинейно, т.е. слабое воздействие или изменение одного из показателей может вызвать сильные отклонения в других и во всей системе в целом.

Например, малые отклонения в газовом составе атмосферы в связи с ее загрязнением оксидами серы и азота вызывают огромные изменения в экосистемах суши и водной среды. Именно они приводят к возникновению кислотных осадков, которые, в свою очередь, вызывают деградацию и гибель лесов, обезрыбление озер и т.п. Столь же абсолютно незначительное изменение концентрации углекислого газа в атмосфере ведет к усилению парникового эффекта.

3. Производимые в крупных экосистемах изменения относительно необратимы - проходя по иерархии экосистем снизу вверх, от места воздействия до биосферы в целом, они меняют глобальные процессы и тем самым переводят их на новый эволюционный уровень.

Подтверждают данное следствие примеры, приведенные в предыдущем пункте. Изменения химического состава атмосферы, ее температуры, влажности, освещенности и т.п. приводят к возникновению новых, более приспособленных к новым условиям экологических систем, т.е. направляют эволюцию биосферы. При этом экологическая система не может снова вернуться к прежнему состоянию (даже при установлении исходных условий среды), как и организм (вид, популяция) не в состоянии повторить полностью своих предков или вернуться от старости к рождению.

4. Любое местное преобразование природы вызывает в биосфере и в ее крупных подразделениях ответные реакции, приводящие к относительной неизменности эколого-экономического потенциала, увеличение которого возможно лишь путем значительного возрастания энергетических вложений.

Сдвигая динамическое равновесное состояние природных систем с помощью значительных вложений энергии (например, путем распашки и других приемов) для увеличения получаемой полезной продукции (урожая) или создания благоприятного для жизни и деятельности человека состояния среды, люди нарушают соотношение энергетических компонентов. Если эти сдвиги гаснут в иерархии природных систем и не вызывают термодинамического разлада, положение благоприятно или, во всяком случае, терпимо. Однако излишнее вложение энергии и возникающий в результате вещественно-энергетический разлад ведут к снижению природно-ресурсного потенциала вплоть до опустынивания территории, происходящего без компенсации. Иногда возникают ситуации, когда "чем больше пустынь мы превращаем в сады, тем больше садов мы превращаем в пустыни". При этом в силу нелинейности процессов опустынивание по темпам значительно опережает создание "цветущих садов".

Метастабильными состояниями называются состояния неустойчивого равновесия в котором система может находиться длительное время, не переходя в более устойчивое состояние.

Существование перегретой жидкости возможно, если внутри жидкости нет пузырьков воздуха. Перегретую воду можно получить в кварцевой колбе с гладкими стенками. Коба сперва тщательно промывается сначала серной или азотной кислотой, а затем тщательно промывается дистиллированной водой. Затем заливается

дистиллированная вода, в которой длительным кипячением удаляются все пузырьки воздуха. После этого воду можно нагреть до температуры, значительно превышающей температуры кипения. Лишь изредка на дне колбы образуется пузырек воздуха, который быстро растёт, отделяется от дна и поднимается на поверхность жидкости.

## **9.2 Различия организации и функционирования живых и неживых систем**

Все живое размножается. Эта способность к самовоспроизведению, пожалуй, самая поразительная способность живых организмов. Причем потомство и похоже, и в то же время чем-то отличается от родителей. В этом проявляется действие механизмов наследственности и изменчивости, определяющих эволюцию всех видов живой природы.

Сходство потомства с родителями обусловлено ещё одной замечательной особенностью живых организмов – передавать потомкам заложенную в них информацию, необходимую для жизни, развития и размножения. Эта информация содержится в генах – единицах наследственности, мельчайших внутриклеточных структурах. Генетический материал определяет направление развития организма. Вот почему потомки похожи на родителей. Однако эта информация в процессе передачи несколько видоизменяется, искажается. В связи с этим потомки не только похожи на родителей, но и отличаются от них.

Живые организмы хорошо приспособлены к среде обитания и соответствуют своему образу жизни. Строение крота, рыбы, лягушки, дождевого червя полностью соответствует условиям, в которых они живут.

Есть несколько фундаментальных отличий в вещественном, структурном и функциональном планах. В вещественном плане в состав живого обязательно входят высокоупорядоченные макромолекулярные органические соединения, называемые биополимерами, – белки и нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК). В структурном плане живое отличается от неживого клеточным строением. В функциональном плане для живых тел характерно воспроизводство самих себя. Устойчивость и воспроизведение есть и в неживых системах. Но в живых телах имеет место процесс самовоспроизведения. Не что-то воспроизводит их, а они сами. Это принципиально новый момент.

Также живые тела отличаются от неживых наличием обмена веществ, способностью к росту и развитию, активной регуляцией своего состава и функций, способностью к движению, раздражимостью, приспособленностью к среде и т.д. Неотъемлемым свойством живого является деятельность, активность. «Все живые существа должны или действовать, или погибнуть. Мышь должна находиться в постоянном движении, птица летать, рыба плавать и даже растение должно расти».

## **9.3 Закон Эшби и принцип Ле-Шателье.**

Добавление в равновесную систему  $H_2$  или  $I_2$  приводит к увеличению их расходования в прямой реакции. В итоге  $H_2$  или  $I_2$  в системе окажется меньше, чем было добавлено, зато возрастет количество  $HI$ . Наоборот, добавление  $HI$  приводит к более быстрому его расходованию в обратной реакции. Такая способность равновесных систем «сопротивляться» внешним воздействиям носит общий характер и известна под названием принципа Ле Шателье:

Если на равновесную систему воздействовать извне, изменяя какой-нибудь из факторов, определяющих положение равновесия, то в системе усилится то направление процесса, которое ослабляет это воздействие.

**Закон Эшби (закон необходимого разнообразия):** Чтобы управление системой было возможно, разнообразие управляющих действий должно быть не меньше разнообразия возмущений на входе в систему.

Альтернативная формулировка, данная С.Биром: Адекватное управление может быть обеспечено только в том случае, если разнообразие средств управляющего (в данном случае всей системы управления) по крайней мере не меньше, чем разнообразие управляемой им ситуации.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Загрязнение и загрязнитель: понятие и отличия.
2. Какие бывают источники загрязнения?
3. Классификация загрязнений по происхождению.
4. Классификация загрязнений по масштабам и по количественным характеристикам.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

#### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.
4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природо-пользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.
5. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.
6. **Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

#### *Дополнительная*

7. **Денисов, В. В., Гутенев В.В.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010 - 726 с.
8. **Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.
9. **Коробкин, В. И., Передельский Л.В.** Экология. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.

## Лекция 10

### ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ЭКОСИСТЕМ

#### 10.1 Уровни организации природных систем

Окружающая среда (атмосфера, гидросфера, литосфера) и живые организмы нашей планеты образуют глобальную систему – биосферу. Она обладает мощной жизнеспособностью благодаря большому разнообразию составляющих её систем более низкого уровня.

Принято выделять несколько уровней организации природных систем.

Молекулы.

Клетки.

Ткани.

Органы.

Многоклеточный организм.

Виды.

Популяции.

Биоценозы.

Биогеоценозы.

Биосфера.

На любом уровне организации природные системы обладают следующими свойствами:

Природные системы состоят из взаимосвязанных и взаимозависимых компонентов, которые соединены друг с другом прямыми и обратными связями.

Любая исследуемая система является элементом системы более высокого уровня.

Элементы какой-либо исследуемой системы в свою очередь выступают как системы более низкого ранга. (Рассматривая клеточный уровень как систему, необходимо учитывать, что молекулярный уровень в этом случае рассматривается как подсистема).

На всех уровнях наблюдается упорядоченность обмена веществом, энергией, информацией.

В организации и функционировании биосферы - сложной оболочки, объединяющей все формы жизни, целесообразно рассмотреть следующие уровни, которые являются основными объектами изучения в экологии:

Популяция – группа организмов определённого вида, обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания своей численности в постоянно изменяющихся условиях среды.

Биоценоз – совокупность живых организмов, населяющих участок среды обитания. Для этих живых организмов характерна тесная взаимосвязь, сложившийся круговорот энергии, веществ. Биоценоз является продуктом естественного отбора.

Пространство, заселённое биоценозом, называется биотопом. Т.о. биотоп является местом существования (обитания) биоценоза.

Биогеоценоз (экосистема) – совокупность сообщества живых организмов и среды. Иными словами, биоценоз (биотическая составляющая) и биотоп (абиотическая составляющая) образуют систему более высокого ранга – биогеоценоз.

Биосфера – высшая ступень иерархии, совокупность всех живых организмов и их экологической среды в пределах планеты.

Каждая экосистема имеет собственное материально – энергетическое обеспечение и определённую функциональную структуру, основанную на пищевых или трофических

(от греч. trophos - питание) взаимоотношениях. Эта структура представлена несколькими группами организмов, каждая из которых выполняет определённую работу в круговороте веществ.

Ряд взаимосвязанных видов, из которых каждый может служить пищей последующему, носит название цепи питания.

Организмы, относящиеся к одному такому звену, образуют один трофический уровень. В экосистеме присутствуют следующие звенья трофической цепи:

Автотрофы (фитоценоз) – организмы, которые создают органические соединения из неорганических составляющих в процессе фотосинтеза (аккумулируя солнечную энергию). К автотрофам относятся высшие зелёные растения, лишайники, водоросли и бактерии, которые имеют фотосинтезирующие пигменты. Автотрофные организмы также называют продуцентами (от лат. *producens*, родительный падеж *producentis* - производящий, создающий). К этому типу принадлежат растения, которых на Земле более 350 000 видов. Синтезированная автотрофами новая биомасса органического вещества – это первичная продукция, а скорость её образования – биологическая продуктивность экосистемы. Автотрофы образуют первый трофический уровень экосистемы.

Гетеротрофы - Химические соединения, которые образуют продуценты, заключают в себе энергию. С питанием эту энергию получают гетеротрофы и используют в процессе своей жизнедеятельности. В экологии гетеротрофов разделяют на консументы (зооценоз) и редуценты (микробоценоз).

Консументы (от лат. *consume* - потребляю)– потребители готовой органической продукции. Различают консументов 1-го и 2-го порядков. Консументы 1-го порядка – травоядные, 2-го порядка – хищники. Консументы 1-го и 2-го порядка занимают соответственно вторую, третью, а иногда и следующие уровни в экосистеме.

Редуценты (от лат. *reducens* - возвращающий, восстанавливающий) – восстановители, существующие за счёт энергии отмирающего вещества. Обеспечивают его минерализацию с получением исходных минеральных компонентов в виде, удобном для использования растениями в производстве органической продукции. К редуцентам относятся бактерии и низшие грибы.

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, формируя и поддерживая экологическую среду экосистемы.

Принципиальное различие между потоками вещества и энергии в экосистеме заключается в том, что биогенные элементы, т.е. элементы, составляющие органическое вещество, могут многократно участвовать в круговороте веществ, тогда как поток энергии однонаправлен и необратим. Каждая порция энергии используется однократно. В соответствии со вторым законом термодинамики на каждом этапе трансформации энергии значительная её часть неизбежно рассеивается в виде теплоты.

Закон однонаправленности потока энергии в экосистеме: энергия, которую получает экосистема и которая усваивается продуцентами, рассеивается или вместе с их биомассой необратимо передаётся консументам первого, второго и других порядков, а затем редуцентам, что сопровождается потерей определённой части энергии на каждом трофическом уровне как следствие процессов, которые сопровождают дыхание.

Движение энергии и вещества от первого трофического уровня продуцентов к последнему звену сопровождается превращением энергии и большими её потерями. От

одного трофического уровня до другого биомасса и количество энергии уменьшается приблизительно в 10 раз. Вследствие этого цепь питания не может быть длинной – на суше она состоит из 4 – 6 звеньев, 5-6 звеньев в океане.

Закон пирамиды энергии Р. Линдемана (1942 г.): с одного трофического уровня экологической пирамиды на следующий переходит в среднем не больше 10% энергии.

Обратный поток с более высоких на более низкие уровни намного слабее не больше 0,25 – 0,5%, поэтому говорить про круговорот энергии можно только условно.

В соответствии с этим законом можно выполнять расчёты земельных площадей и лесных угодий с целью обеспечения населения продовольствием и другими ресурсами.

«Кто, кого и сколько поедает» показывает пример длинной пищевой цепи обитателей арктического моря:

Ещё один пример. Человек съедает рыбу. Её пищу составляли мелкие рыбы, потребляющие зоопланктон, который живёт за счёт фитопланктона, улавливающего солнечную энергию. Подсчитано, что для построения 1 кг тела человека требуется 10 тыс. кг фитопланктона.

Благодаря определённой последовательности пищевых отношений можно упрощённо изобразить трофические уровни переноса веществ и энергии в экосистеме, связанные с питанием определённой группы организмов.

Совокупности трофических уровней различных экосистем моделируются с помощью трофических пирамид численности (на рис.3.2. это числа, взятые в скобки), биомасс (числа, выделенные жирным шрифтом), энергий (числа, выделенные курсивом).

## 10.2 Голозойи и голофиты

Пищей принято называть любое вещество, которое, попав в организм, служит источником энергии или пластическим материалом для синтеза молекул, используемых для нужд организма. Большинство животных, включая человека, способно заглатывать и переваривать плотные частички пищи в основном за счёт их гидролиза. Подобный тип питания известен как голозойный, а организмы — голозойи [от греч. *hobs*, полноценный, + *zoikos*, относящийся к животным]. Бактерии не способны захватывать твердофазные объекты, поэтому утилизируют питательные вещества в виде относительно простых молекул из водных растворов. Подобный тип питания, присущий также всем растениям, известен как голофитный, то есть бактерии — голофиты [от греч. *hobs*, полноценный, + *phytikos*, относящийся к растениям]. Тем не менее многие бактерии способны утилизировать твёрдую пищу с помощью так называемого внешнего питания, реализуемого вне клеток, то есть бактериям также присущ и голозойный тип питания. Для этого они имеют мощный ферментативный потенциал, хотя иногда секретируемые ферменты могут полностью инактивироваться в результате разведения, под действием конвекционных токов и других факторов. Контакт пищеварительных ферментов с экзогенным субстратом приводит к образованию низкомолекулярных продуктов, проникающих через клеточную стенку в цитоплазму. Начиная с этого момента, процессы их усвоения (метаболизма) в растительных и животных клетках протекают удивительно сходно. Клетки всех живых существ, от самых примитивных форм до высокоразвитых животных и растений, не только состоят

из одних и тех же веществ, но и используют одни и те же механизмы для получения энергии и для роста. По сравнению с этим фундаментальным биохимическим единством существующие различия и отклонения кажутся незначительными.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что собой представляет агроэкосистема?
2. Отличия экосистем от агроэкосистем?
3. Что такое продуктивность экосистем и агроэкосистем?
4. Типы агроэкосистем и их энергетическая значимость.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

**1. Анисимов, А. П.** Экологическое право России : учебник / А. П. Анисимов, А. Я. Рыженков, А. Е. Черноморец. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Юрайт, 2011. – 510 с. – ISBN 978-5-9916-1089-6.

#### *Дополнительная*

**1. Арустамов, Э. А.** Экологические основы природопользования : учебник / Э. А. Арустамов, И. В. Левакова, Н. В. Баркалова. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Дашков и К, 2008. – 320 с. – ISBN 978-5-91131-552-8.

**2. Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.

**3. Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.

**4. Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.

**5. Константинов, В. М.** Экологические основы природопользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.

**6. Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.

**7. Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

**7. Семенова, И. В.** Промышленная экология: учебное пособие / И. В. Семенова. – М. : Академия, 2009. – 528 с. – ISBN 978-5-7695-4903-8.

## Лекция 11

### СИСТЕМНАЯ ЭКОЛОГИЯ

#### 11.1 Взаимодействие сообществ с абиотической средой обитания

Ни один организм в природе не существует вне связей со средой и другими организмами. Эти связи - основное условие функционирования экосистем. Через них осуществляется образование цепей питания, регулирование численности организмов и их популяций, реализация механизмов устойчивости систем и другие явления. В процессе взаимосвязей происходит поглощение и рассеивание энергии и в конечном счете осуществляются средообразующие, средоохраняющие и средостабилизирующие функции систем.

Подобные экосистемные связи обусловлены всем ходом эволюционного процесса. По этой причине и любое их нарушение не остается бесследным, требует длительного времени для восстановления. В связи с этим экологически обусловленное поведение человека в природе невозможно без знакомства с этими связями и последствиями их нарушения. Целесообразно выделять взаимосвязи и взаимоотношения организмов в природе (экосистемах) как различные понятия.

Взаимодействие живых организмов с компонентами биосферы ( литосферой, атмосферой, гидросферой) происходит путем обмена, питания, дыхания, выделения продуктов метаболизма. Все организмы неодинаковы с точки зрения ассимиляции ими веществ и энергии. Растения используют солнечную энергию, осуществляя процесс фотосинтеза, а животные потребляют органические вещества, созданные растениями - фотосинтетиками.

Область взаимодействия живых организмов с элементами неживой природы, как известно, называется биосферой.

Следовательно, в результате многообразных процессов взаимодействия живого организма и окружающей среды последняя не остается по отношению к организму инертной и независимой от него.

Закономерный направленный процесс изменения сообществ в результате взаимодействия живых организмов между собой и окружающей их абиотической средой называется сукцессией.

В природе каждый живой организм живёт не изолированно. Его окружает множество других представителей живой природы. И все они взаимодействуют друг с другом. Взаимодействия между организмами, а также влияния их на условия жизни представляют собой совокупность биотических факторов.

Биотические факторы – это совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие.

Среди них обычно выделяют:

1. Влияние животных организмов (зоогенные факторы)
2. Влияние растительных организмов (фитогенные факторы)
3. Влияние человека (антропогенные факторы)

Действие биотических факторов может рассматриваться как действие их на среду, на отдельные организмы, населяющие эту среду, или действие этих факторов на целые сообщества.

Экологические исследования о действии биотических факторов на организмы изначально носили прикладной характер — в целях борьбы с вредителями, паразитами,

в выявлении пищи животных, хищничества. В настоящее время изучение действия биотических факторов на организмы идёт широким планом и проводится как в лабораториях, так и в природных условиях.

## 11.2 Типы взаимодействий.

В природе часто встречается сожительство двух или более видов, которое в ряде случаев становится необходимым для обоих партнёров. Такое сожительство называют симбиотическим взаимоотношением организмов (от сочетания сим — вместе, био — жизнь) или симбиозом. Симбиоз — неразделимые взаимопользные связи двух видов, предполагающие обязательное тесное сожительство организмов, иногда даже с элементами паразитизма. Термин «симбиоз» является общим, им обозначают сожительство, обязательным условием которого является совместная жизнь, определённая степень сожительства организмов.

Гетеротипические реакции — это взаимоотношения между особями разных видов. Влияние, которое оказывают друг на друга два вида, живущих вместе, может быть нейтральным, благоприятным или неблагоприятным. Отсюда типы взаимоотношений могут быть следующими:

Нейтрализм — оба вида независимы и не оказывают друг на друга никакого влияния.

Конкуренция — каждый из видов оказывает на другой неблагоприятное действие. Виды конкурируют в поисках пищи, укрытия, мест кладки яиц и т. п. Оба вида называют конкурирующими.

Мутуализм — симбиотические взаимоотношения, когда оба сожительствающихся вида извлекают взаимную пользу.

Сотрудничество — оба вида образуют сообщество. Оно не является обязательным, так как каждый вид может существовать отдельно, изолированно, но жизнь в сообществе им обоим приносит пользу.

Комменсализм (дословно - "питание вместе за одним столом") — взаимоотношения видов, при которых один из партнёров получает пользу, не нанося ущерб другому.

Амменсализм — тип межвидовых взаимоотношений, при котором в совместной среде обитания один вид подавляет существование другого вида, не испытывая противодействия.

Паразитизм — это форма взаимоотношений между видами, при которой организмы одного вида (паразита, потребителя) живут за счет питательных веществ или тканей организма другого вида (хозяина) в течение определённого времени. Хозяевами, как и паразитами, могут быть и животные, и растения.

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

Протокооперация (буквально: первичное сотрудничество) — простой тип симбиотических связей. При этой форме совместное существование выгодно для обоих видов, но не обязательно для них, т.е. не является непременным условием выживания видов (популяций).

Таким образом, взаимоотношения организмов не сводится только к отношениям хищник жертва, а они отличаются разнообразием, как внутри вида, так и между видами.

На Земле обитает огромное количество организмов, которые формировались не одну тысячу лет, и вместе с ними формировались и типы их взаимоотношений. Все эти типы возникли лишь потому, что организмами двигал инстинкт самосохранения.

### 11.3 Энергетика экосистем

Понятие «экосистема» было введено в науку английским ученым А.Тенсли в 1935 году. Экосистема включает в себя все живые организмы, совместно функционирующие на какой-либо конкретной территории, а также компоненты неживой природы, определяющей характер местности, в которой она расположена. Организменная часть экосистемы взаимодействует с ее неживыми составляющими, в результате чего под воздействием энергии, притекающей извне, происходит круговорот веществ между живой и неживой частями экосистемы и складывается ее внутренняя структура. Экосистема – основная функциональная и структурная единица живой природы, носитель ее элементарных свойств. Экосистемы различаются между собой по размерам, самой крупной экосистемой является биосфера.

В любой экосистеме следует выделить несколько составляющих ее компонентов. Первый из них – неорганические вещества (углерод, кислород, азот, углекислый газ, вода и т.д.). Затем следуют органические соединения (белки, жиры, углеводы и др.), являющиеся связующим звеном между живой (биотической) и неживой (абиотической) частями экосистемы. К важным ее элементам относятся физические факторы абиотической среды (температура, влажность, давление и др.). Биотическая часть экосистемы состоит из живых организмов, подразделяющихся на три основные категории:

1. Продуценты – организмы, поддерживающие свою жизнедеятельность путем производства из неорганических веществ органических при помощи химической реакции фотосинтеза, для осуществления которой необходим приток световой энергии.

2. Консументы – живые существа, поедающие другие организмы или частицы органического вещества и обеспечивающие себя необходимой энергией.

3. Редуценты – организмы, питающиеся останками растений и животных и разлагающие их до простых минеральных веществ, которые могут легко усваиваться продуцентами.

Продуценты называются автотрофами, так как они самостоятельно вырабатывают органическое вещество, а консументы и редуценты – гетеротрофами, т.к. они потребляют готовое органическое вещество. Продуценты, консументы и редуценты образуют собой так называемую биомассу. Совокупность всех данных элементов составляет структуру экосистемы.

Энергия поступает в экосистему извне, подвергается преобразованию и выделяется из нее. Приток солнечной энергии – единственный источник энергии для биосферы, определяющий продуцирование живой материи, так как от него зависит вся активность фотосинтетических механизмов. При постоянстве других экологических факторов ассимиляция хлорофиллов в определенном биотопе будет тем интенсивнее, чем больше солнечной энергии поступает на Землю.

Подобное соответствие наблюдается на континентах в экваториальных районах, где в течение всего года приток световой энергии максимален. Более 30% солнечного излучения, достигающего верхней границы стратосферы, сразу же отражается самой атмосферой и облаками в космическое пространство. Около 8% солнечной радиации поглощается пылью, взвешенной в воздухе. Более 10% приходящего излучения

поглощается водяным паром, озоном и другими газами. И только 52% солнечного излучения достигает поверхности Земли. Но и на этом уровне около 10% излучения теряется на отражение (альбедо), и почти половина используется как источник тепла в процессах транспирации и испарения. Окончательно в распоряжении экосистем остается только 40% излучения, из которых едва лишь четверть используется растениями и стимулирует фотосинтез.

Хлорофилл и другие близкие ему пигменты поглощают энергию, сосредоточенную в длинах волн 0,4...0,5 мкм (голубые) и 0,61...0,69 мкм (красные). Поэтому в реальных условиях только 10% энергии, получаемой растениями (в видимой области спектра), действительно трансформируются в биомассу. Если соотнести количество энергии, преобразованной в органические вещества хлорофиллоносными растениями, с общим количеством солнечной энергии, достигающей поверхности земли, то коэффициент полезного действия фотосинтеза оказывается очень низким (0,1...1,6 %). Энергия, улавливаемая растениями, составляет в среднем 1% приходящего солнечного излучения. Скорость, с которой продуценты поглощают лучистую энергию солнечного излучения, а значит, и скорость, с которой в экосистеме происходит накопление органического вещества, определяют как биологическую продуктивность.

В процессе производства биологического вещества в экосистеме выделяют четыре последовательных уровня:

1. Валовая первичная продуктивность – скорость накопления в процессе фотосинтеза органического вещества (биомассы).

2. Чистая первичная продуктивность – скорость накопления органического вещества в организмах продуцентов за вычетом той части, которая была израсходована ими на дыхание.

3. Вторичная продуктивность сообщества – скорость накопления органического вещества на уровне консументов, которые, как известно, питаются готовой биомассой.

4. Чистая продуктивность сообщества – скорость накопления органического вещества, не потребленного гетеротрофами. Другое название чистой продуктивности сообщества – урожай на корню.

Продуктивность экосистемы зависит от ряда факторов. Высокие скорости продуцирования наблюдаются в экосистемах, где физические факторы благоприятны, особенно в случаях поступления в экосистему дополнительной энергии извне. Поступление энергии со стороны абиотических компонентов экосистемы уменьшает затраты живых организмов на поддержание собственной жизнедеятельности. Для оценки продуктивности экосистемы необходимо также учитывать утечку энергии с урожаем продукции, а также стрессовые воздействия, которые уменьшают долю энергии, задействованной в процессе производства биомассы.

Перенос энергии в экосистеме осуществляется через так называемые пищевые цепи. В свою очередь, пищевая цепь – это перенос энергии от ее первоначального источника (обычно автотрофы) через ряд организмов путем поедания одних другими. Пищевые цепи подразделяются на два вида:

- 1 вид. Пастбищная пищевая цепь. Она начинается с растений и тянется дальше к растительноядным животным (фитофагам), а затем и к хищникам. В подобной цепи при каждом переходе к следующему звену теряется до 90% потенциальной энергии пищи, так как она переходит в тепло. Пастбищные пищевые цепи делятся на пищевые цепи хищников и пищевые цепи паразитов.

При продвижении по пищевой цепи хищников, размер каждого последующего участника больше, чем размер предыдущего, но численность каждого следующего участника пищевой цепи меньше численности ее предыдущих представителей.

Примером пищевой цепи хищников может служить следующая последовательность: сосна обыкновенная – тля – божья коровка – паук – насекомоядные птицы – хищные птицы.

В отличие от пищевой цепи хищников пищевые цепи паразитов ведут к организмам, которые все более уменьшаются в размерах и увеличиваются численно. В качестве примера можно привести следующую цепь: трава – травоядные млекопитающие – блохи – жгутиконосцы.

2 вид. Детритная пищевая цепь. Она берет свое начало от мертвого органического вещества (детрита), которое либо потребляется в пищу мелкими, преимущественно беспозвоночными животными, либо разлагается бактериями или грибами. Организмы, потребляющие мертвое органическое вещество, называются детритофагами, разлагающие его – деструкторами.

Пастбищные и детритные пищевые цепи обычно существуют в экосистемах совместно, но один из видов пищевых цепей почти всегда доминирует над другим. В некоторых же специфических средах (например, в подземной), где из-за отсутствия света невозможна жизнедеятельность зеленых растений, существуют только детритные пищевые цепи.

В экосистемах пищевые цепи не изолированы друг от друга, а тесно переплетены. Они составляют так называемые пищевые сети. Это происходит потому, что каждый продуцент имеет не одного, а несколько консументов, которые в свою очередь могут иметь несколько источников питания.

В пищевых цепях образуются так называемые трофические уровни. Они классифицируют организмы в пищевой цепи по типам их жизнедеятельности или по источникам получения энергии. Растения занимают первый трофический уровень (уровень продуцентов), травоядные (консументы первого порядка) относятся ко второму трофическому уровню, хищники, поедающие травоядных, образуют третий трофический уровень и т.д.

Перенос энергии в экосистеме осуществляется через пищевые цепи. Но далеко не вся энергия предыдущего трофического уровня переходит на следующий. Поступление и расход энергии можно рассмотреть с помощью универсальной модели потока энергии. Она применима к любому живому компоненту экосистемы: растению, животному, микроорганизму, популяции или трофической группе. Универсальную модель потока энергии можно интерпретировать двояко. Во-первых, она может представлять популяцию какого-либо вида. Во-вторых, она трактуется как изображение какого-либо трофического уровня. Зная универсальную модель потока энергии, можно определить отношение величин энергетического потока в разных точках пищевой цепи. Выраженные в процентах эти отношения называют экологической эффективностью. Следует отметить, что на энергетические характеристики экосистемы оказывают влияние размеры организмов, населяющих экосистему. Установлена зависимость между размером организма и его удельным метаболизмом.

Чем мельче организм, тем выше его удельный метаболизм и, следовательно, тем меньше биомасса, которая может поддерживаться на данном трофическом уровне экосистемы. Другая картина открывается при рассмотрении продуктивности, так как

продуктивность – это скорость прироста биомассы и она больше у мелких животных, которые имеют более высокие темпы размножения и обновления биомассы.

В связи с потерей энергии внутри пищевых цепей и зависимостью метаболизма от размера особей каждое биологическое сообщество приобретает определенную трофическую структуру, которая может служить характеристикой экосистемы. Трофическую структуру можно изобразить графически в виде пирамид, основанием которых служит первый трофический уровень (уровень продуцентов), а последующие трофические уровни образуют «этажи» пирамиды. Выделяют три типа экологических пирамид:

1. Пирамида численности.
2. Пирамида биомассы.
3. Пирамида энергии.

Знание основных законов превращения энергии в экосистеме способствует лучшему пониманию процессов ее функционирования. Это особенно важно в связи с тем, что вмешательство человека в ее естественную «работу» может привести экологическую систему к гибели. Именно поэтому человек должен уметь заранее прогнозировать результаты своей деятельности, а научное представление об энергетических потоках в экосистеме сможет обеспечить большую их точность.

### Вопросы для самоконтроля

1. Назовите три основных взгляда на охрану природы в нашей стране.
2. Какое положение Россия занимает на экологической карте мира?
3. Почему возрос интерес к экологии в конце XX века?

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.
4. **Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

#### *Дополнительная*

1. **Базилевская, Н.А.** и др. Краткая история ботаники / Базилевская, Н.А. и др. – М.: Наука, 1968. – 310 с.
2. **Новиков, Г.А.** Очерк истории экологии животных / Новиков, Г.А. – М.: Наука, 1980. – 287 с.
3. **Очерки по истории экологии.** – М.: Наука, 1970. – 291 с.
4. **Трасс, Х.Х.** Геоботаника. История и современные тенденции развития / Трасс, Х.Х.. – Л.: Наука, 1976. – 252 с.

## Лекция 12

### ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

#### 12.1 Принцип целостного рассмотрения явлений

Принцип холизма или целостное рассмотрение явления. ХОЛИЗМ - греч holos - целое - концепция, согласно которой роль целого является определяющей, а влияние отдельных частей - несущественным.

Учение о целостности. Целостность мира считается высшей и всеохватной. Давно подмечено, что к пониманию сути явлений можно идти двумя путями редуccionистским и холистским. Редуccionизм предполагает необходимость разложения явления на составляющие его детали, механизмы и прочие частности. Считается, что, зная механизмы данного явления, мы можем судить о явлении в целом, а значит, прогнозировать его, воспроизводить и использовать в практике.

Используется для решения задач с четко заданными параметрами. ХОЛИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД, введенный в экологию Е. Берджом 1915 целостный подход к изучению сообщества живых организмов как неразрывного целого. Холизм и цикличность всегда противостоял редуccionизму, его идея заложена в философии неоплатонизма III-V веков. Холизм утверждает, что элементы, составляющие целое не независимы от него, а несут в себе его идею. Другими словами, целое обладает особенностями, отсутствующими у его частей, а части, соединенные в целое, приобретают свойства, которые они имеют в отдельности.

Поэтому свойства и поведение части можно понять лишь с точки зрения свойств поведения целого и той роли, которую часть играет в целом. Например, функции сердца или мозга нельзя понять в отрыве от единства - человека. Имея ввиду взаимосвязь свойств целого и его частей, В.И. Вернадский писал В каждом явлении отражается биосфера как целое. Холистический подход является основой для рассмотрения природных явлений во всех взаимосвязях и взаимодействиях.

Американский ученый считал, что сложность решения экологических проблем связана с тем, что в экосфере процессы выходят за пределы наших редуccionистских представлений. Этот подход позволяет использовать комплексные меры для восстановления утраченных экосистем.

#### 12.2 Принцип природных цепных реакций

Под природной ценной реакцией понимается ряд природных явлений, каждое из которых ведет к изменению связанных с ним других явлений. Цепные реакции могут вызываться различными вмешательствами в экосистемы. Их вероятность и отрицательные последствия резко усиливаются под влиянием антропогенных факторов. Напомним, что любое жесткое вмешательство в природные процессы неизбежно сопровождается цепными реакциями. Их понимание - краеугольный камень научного природопользования.

Не будет преувеличением утверждение, что успех человеческой деятельности в природных системах, ее экологичность, результативность прогнозирования и вероятность предотвращения неблагоприятных последствий зависят от того, насколько полны представления о природных цепных реакциях, их причинах и следствиях, возможностях предвидения и предотвращения.

Для прикладной экологии понятие «природные цепные реакции» столь же значимо, масштабно и разносторонне, как для общей экологии аналогичные представления о цепях питания либо экологических нишах.

Приведем некоторые примеры природных цепных реакций:

- исчезновение насекомого-опылителя делает невозможным плодоношение определенных видов растений. Это, в свою очередь, ведет к нарушению жизнедеятельности или исчезновению животных, питающихся данными растениями, а следовательно, и других видов, входящих в цепи питания (хищников, паразитов и т. п.). Конечный результат - разрушение цепей питания, обеднение экосистем, снижение их устойчивости;

- тепличные газы вызывают потепление климата. За этим следует высвобождение жидкой воды из вечных льдов и повышение уровня Мирового океана. Это, в свою очередь, вызывает уменьшение площади суши, изменение циркуляции воздушных масс, нарушение гидрологических и других процессов в биосфере: иссушение (аридизацию) или увлажнение территорий, изменение видового состава сообщества, интенсификацию динамики и других свойств экосистем и т. п.;

- азот и фосфор в виде нитратов и фосфатов - важнейшие элементы жизнедеятельности организмов. Но, как отмечалось выше, увеличение их содержания в водной среде (прежде всего в результате смыва минеральных удобрений с полей) ведет к интенсивному размножению водорослей, особенно сине-зеленых (цианобактерий). Разложение органических веществ - продуктов жизнедеятельности водорослей - приводит к потере кислорода водой и превращению водной экосистемы в болотную;

- температура - важнейший экологический фактор. Однако повышение температуры водной среды ведет к тепловому загрязнению, а затем к смене диатомовых водорослей зелеными, а последних - цианобактериями, с конечным результатом накопления мертвого органического вещества и следствиями, перечисленными в предыдущем примере;

- результатом вырубок северных лесов является уплотнение почв техникой и накопление воды на ее поверхности. Далее срабатывает действие положительных обратных связей: поселяются и разрастаются растения-влагонакопители (сфагновые и другие мхи), что, в свою очередь, имеет следствием превращение лесных земель в болотные, потерю ими продуктивности.

Другие следствия рубок леса и уплотнения почв - ухудшение впитывания влаги осадков и питания грунтовых вод. За этим следует исчезновение родников, обмеление рек летом и зимой при резком увеличении их водности и разрушительных паводков (за счет стока поверхностных вод) в периоды снеготаяния и ливневых дождей. Кроме наводнений, результатом паводков является обогащение вод продуктами эрозии почв, заиление русел, химическое и тепловое загрязнение, обеднение кислородом! и разрушение экосистем.

### **12.3 Принципы накопления загрязнителей в цепях питания**

Принцип накопления загрязнителей в цепях питания («накопительный эффект», «биоаккумуляция»). Влияние загрязняющих веществ на организмы и экосистемы во многом обуславливается таким явлением, как «накопительный эффект в цепях питания». Механизм его в общих чертах связан с тем, что объем поедаемой организмом пищи в течение всей жизни или отдельных периодов значительно превышает объем

самого организма. Загрязняющие же вещества не во всех случаях полностью выводятся из организмов. Поэтому в их телах на каждом следующем трофическом уровне создаются более высокие концентрации загрязняющих веществ.

Биоаккумуляция - это одно из проявлений концентрационной функции живых организмов (живого вещества, по В. И. Вернадскому). Прогрессирующая биоаккумуляция связана также с тем, что с повышением трофических уровней, как правило, увеличиваются размеры организмов и продолжительность их жизни.

Вместе с тем замедляются процессы обмена веществ (вспомним правило соотношения объемов и поверхностей), а следовательно, и скорость их выведения из организма. В наибольшей степени «накопительный эффект» свойственен стойким загрязнителям - тяжелым металлам, хлорорганическим и другим соединениям. Так, особенно много данных имеется по биоаккумуляции ДДТ. Если концентрацию этого ядохимиката в водной среде принять за единицу, то в микроводорослях и бактериях она составляет 20-100 единиц, в теле личинок комара 500-1000 единиц, в рыбах - 5-12 тыс. единиц, а в птицах, питающихся рыбой - 30—100 тыс. единиц.

Поскольку человек значительное количество пищи получает с конечных звеньев цепей питания, то он выступает четко выраженным потребителем и биоаккумулятором загрязняющих веществ. Такое явление образно называют «экологическим бумерангом». Он выражается в том, что, загрязняя среду, человек в наибольшей степени и получает продукты этого загрязнения.

Бионакопление в общих чертах идет по закономерностям, противоположным рассеиванию энергии в цепях питания. Графически это представлено на рис.8 на примере ядохимиката дилдрин и стронция-90.

Наиболее интенсивен «накопительный эффект» у водных организмов и у организмов, питающихся гидробионтами. Такое явление связано с тем, что гидробионты, например рыбы, получают загрязняющие вещества не только с пищей, но и из воды в процессе дыхания.

Активными биоаккумуляторами являются лишайники и некоторые мхи. Основной причиной такого свойства является активное поглощение веществ из окружающей среды всем телом, крайне замедленный метаболизм, а следовательно, и слабое выведение загрязнителей из организма. По этой причине лишайники широко используются как индикаторы загрязнения среды. Например, радиоактивного цезия-137 в теле лишайников тундр содержится в тысячи раз больше, чем в среде, с которой они контактируют. Соответственно повышенные концентрации цезия, как и других загрязнителей, содержатся в мясе оленей, питающихся лишайниками.

Интенсивная биоаккумуляция загрязнителей часто связана с отдельными органами и тканями. Так, ДДТ и другие хлорорганические соединения интенсивно накапливаются в жировых тканях (подкожной клетчатке, мозге, половых железах). По мере использования жировых отложений (похудения) концентрация загрязнителей заметно увеличивается. Накапливаясь в половых железах, загрязнители могут не оказывать существенного отрицательного влияния на взрослых особи, но прерывать размножение и приводить к гибели целые популяции. Установлено, например, что под действием ДДТ в крови птиц может снижаться содержание стероидных гормонов, ответственных за образование яичной скорлупы, что нарушает ее прочность и является препятствием для высидывания птенцов. По этой причине в США совершенно перестал размножаться сокол сапсан.

#### **21.4 Закон внутреннего динамического равновесия**

Цепные реакции являются результатом нарушения закона внутреннего динамического равновесия в соответствии с которым вещество, энергия, информация и динамические качества отдельных природных систем и их иерархия взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает перемены в других. По Коммонеру - это принцип или закон - «все связано со всем».

### Вопросы для самоконтроля

1. Принципы накопления загрязнителей в цепях питания.
2. Закон внутреннего динамического равновесия
3. Определение, структура, функционирование биосферы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.
4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природо-пользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.
5. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.
6. **Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

#### *Дополнительная*

1. **Денисов, В. В., Гутенев В.В., Луганская И.А.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010. - 726 с.
2. **Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.
3. **Коробкин, В. И., Передельский Л.В.** Экология. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.

## Лекция 13

### ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

#### 13.1 Классификация загрязнителей

В экологии обычно различают следующие виды загрязнения:

Механическое – загрязнение химически инертным мусором, протаптывание тропинок и прочее механическое воздействие на среду, в том числе и инертный космический мусор

Химическое – загрязнителем являются вредные химические соединения, тяжелые металлы и пр., в том числе, аэрозольные загрязнения.

Биологическое – загрязнителем являются не свойственные экосистеме организмы, включая загрязнение микробиологическое. Наиболее известный пример – бесконтрольно расплодившиеся в Австралии кролики.

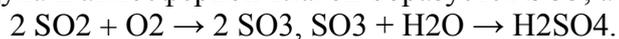
Физическое (физическими полями) – включает тепловое (излишний нагрев или охлаждение среды), световое (излишнее или недостаточное освещение), шумовое (или акустическое), электромагнитное, радиоактивное (обычно превышение естественного радиоактивного фона или повышение в среде концентрации нехарактерных радионуклидов).

Визуальное загрязнение – порча естественных пейзажей постройками, проводами, мусором, шлейфами самолётов и т. д.

#### 13.2 Химическое загрязнение

Подсчитано, что в начале 80-х гг. 20 в. в результате хозяйственной деятельности человека в биосферу поступило более 200 млн. т углекислого и около 146 млн. т сернистого газа, 53 млн. т оксидов азота и другие химические соединения. Побочными продуктами деятельности промышленных предприятий явились также 33 млрд. м<sup>3</sup> неочищенных сточных вод и 250 млн. т пыли. Нетрудно догадаться, что к началу 21 в. количество аэрозолей (взвешенных в воздухе частиц) и вредных газообразных соединений (оксидов серы, углерода, азота, соединений фтора, хлора и др.) в биосфере значительно возросло. Это очень опасно, поскольку, по оценке Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), из более 500 тыс. практически используемых человеком химических соединений (всего известно более 6 млн. соединений) около 40 тыс. обладают вредными для человека свойствами, а 12 тыс. являются токсичными.

Особую тревогу вызывает загрязнение атмосферы сернистым газом, который образуется в ходе переработки сернистых соединений. При взаимодействии сернистого газа с кислородом воздуха и атмосферной влагой образуется SO<sub>3</sub>, а затем H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:



В результате дождь и снег оказываются подкисленными (pH < 5.6). Кислотные осадки приводят к гибели лесов, превращению озер, рек и прудов в безжизненные водоемы, что влечет за собой уничтожение сообществ растений и животных. Кроме того, они усугубляют тяжесть течения заболеваний дыхательных путей животных и человека.

Попадание в верхние слои атмосферы оксидов азота и фреонов, широко применяемых в качестве аэрозольных распылителей и хладагентов в холодильных установках, может привести к ослаблению озонового слоя, который не пропускает к

поверхности Земли ультрафиолетовое излучение, губительное для всех живых организмов.

Выбросы в естественные водоемы нефти и нефтепродуктов могут резко замедлить обмен газами между атмосферой и гидросферой и привести к гибели обитателей морей и океанов.

Негативные последствия влечет и научно необоснованное применение для подкормки культурных растений больших доз минеральных и органических удобрений, в частности, нитратов. Интенсивное поступление нитратов в растения приводит к тому, что они не полностью включаются в обменные процессы и накапливаются в листьях, стеблях и корнях. Для самих растений избыток нитратов обычно особой опасности не представляет, но при попадании в организм теплокровных животных с пищей они превращаются в более токсичные соединения. Накопления последних в организме человека вызывают тяжелые нарушения обмена веществ, аллергию, нервные расстройства, а некоторые из них способны вызывать злокачественные новообразования.

Еще одна современная проблема – использование пестицидов. В середине 20 в. более трети урожая отдавалось на откуп вредным насекомым, грибкам, сорнякам. Некоторые виды насекомых и клещей наносят громадный ущерб и здоровью человека, являясь переносчиками заразных болезней: малярии, энцефалита, тифа, сонной болезни и многих других. Поэтому, когда химики разработали вещества, способные их уничтожать, на мгновение показалось, что человек стал воистину всесильным. Спасительные вещества назвали пестицидами (лат. *pestis* – чума, зараза и греч. *sido* – убиваю). Арсенал пестицидов насчитывает тысячи веществ, эффективно уничтожающих насекомых (инсектициды), клещей (акарициды), грибы (фунгициды), сорняки (гербициды). Но вскоре обнаружилась и обратная сторона медали – многие пестициды оказались очень ядовиты не только для вредителей, но и для человека. Каждый год в мире регистрируется несколько десятков тысяч острых отравлений ими, но это только верхушка айсберга, поскольку в большинстве своем действуют они скрытно, исподволь отравляя организм. Последствием становятся многие заболевания – от легких аллергических реакций до рака.

Одним из первых пестицидов, триумфально прошедших по миру, стал ДДТ («дуст»). Однако оказалось, что каким-то образом ДДТ в опасных концентрациях накапливается в организме беременных женщин, приводя к мертворождениям и развитию тяжелых пороков у новорожденных детей. Кроме того, даже в небольших дозах он вызывает токсические гепатиты, гастриты, бронхиты, поражает почки и нервную систему.

Жители городских квартир и огородники имеют дело с инсектицидами другого типа – тиофосом, карбофосом, хлорофосом, метафосом, фирменные названия которых могут быть весьма причудливыми и даже поэтичными. Суть их от этого, однако, не меняется – все они относятся к фосфорорганическим соединениям, являясь прямыми родственниками нервно-паралитических газов.

Не менее серьезна проблема воздействия пестицидов на детей, находящихся в утробе матери. Даже ничтожные концентрации этих ядов ведут к серьезным нарушениям физического и умственного развития детей.

Синильная кислота и ее соли, цианиды, относятся к наиболее токсичным веществам и вызывают тяжелейшие отравления как при приеме внутрь, так и при вдыхании. Синильная кислота и цианиды широко используются в производстве синтетических волокон, полимеров, оргстекла, в медицине, для дезинфекции, борьбы с грызунами,

окуривания плодовых деревьев. Кроме того, синильная кислота является боевым отравляющим веществом. Но отравиться ей можно и совсем в безобидной ситуации – в результате потребления в пищу зерен некоторых фруктов, в семенах которых содержатся гликозиды, высвобождающие в желудке синильную кислоту (миндаль, косточки абрикосов и вишни и т.д.).



Рис.5.17. Тепловая электростанция (ТЭС).

Серьезным источником загрязнения окружающей среды являются теплоэнергетические комплексы (ТЭК), в том числе, ТЭС и ТЭЦ. Современные ТЭК обычно включают системы сероочистки и азотоочистки дымовых газов, системы термической и плазмотермической подготовки и газификации угля, парогазовые схемы, энергохимические комплексы, системы утилизации теплоты уходящих газов, газотурбинные и (или) паротурбинные надстройки.

В то же время, несмотря на меры по защите от вредных выбросов, современные теплоэнергетические объекты являются крупными комплексами, которые имеют разностороннее влияние на многие сферы жизни и деятельности общества (табл. 5.1). Масштабы этого воздействия – огромны. Помимо долгоживущих радионуклидов (см. ниже) опасными компонентами их дымовых газов (особенно угольных ТЭС) являются твердые частицы, диоксид серы, окислы азота и углекислый газ. Кроме того, в дымовых газах содержатся ароматические углеводороды канцерогенного воздействия, пары соляной и плавиковой кислот, токсичные металлы.

### 13.3 Опасные загрязнители органического и неорганического происхождения

Основными неорганическими (минеральными) загрязнителями являются разнообразные химические соединения, токсичные для обитателей водной среды. Это чаще всего соединения мышьяка, свинца, кадмия, ртути, хрома, меди, фтора. Большинство из них попадает в воду в результате человеческой деятельности. Тяжелые металлы поглощаются фитопланктоном, а затем передаются по пищевой цепочке более высокоорганизованным организмам.

Кроме перечисленных веществ, к опасным загрязителям водной среды можно отнести неорганические кислоты и основания, обуславливающие широкий диапазон pH промышленных стоков и способных изменять pH водной среды до значений 15,0 или выше 18,0, тогда как рыба в пресной и морской воде может существовать только в интервале pH 5,0 - 8,5. Среди основных источников загрязнения гидросферы минеральными веществами и биогенными элементами следует упомянуть предприятия пищевой промышленности и сельское хозяйство. С орошаемых земель ежегодно вымывается около 16 млн. т. солей. Отходы, содержащие ртуть, свинец, медь локализованы в отдельных районах у берегов, однако некоторая их часть выносится далеко за пределы территориальных вод. Загрязнение ртутью значительно снижает первичную продукцию морских экосистем, подавляя развитие фитопланктона. Отходы,

содержащие ртуть, обычно скапливаются в донных отложениях заливов или эстуариях рек. Дальнейшая ее миграция сопровождается накоплением метиловой ртути и ее включением в трофические цепи водных организмов. Так, печальную известность приобрела болезнь Минамата, впервые обнаруженную японскими учеными у людей, употреблявших в пищу рыбу, выловленную в заливе Минамата, в который бесконтрольно сбрасывали промышленные стоки с техногенной ртутью.

### Вопросы для самоконтроля

1. Химическое загрязнение
2. Опасные химические загрязнители
3. Загрязнители органического и неорганического происхождения

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.
4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природо-пользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.

#### *Дополнительная*

5. **Денисов, В. В., Гутенев В.В., Луганская И.А.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010. - 726 с.
6. **Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.
7. **Коробкин, В. И., Передельский Л.В.** Экология. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.

## Лекция 14

### ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

#### 14.1 Принципы охраны живой природы

Различают два уровня охраны живой природы: популяционно-видовой и экосистемный.

На популяционно-видовом уровне объектами охраны являются конкретные виды животных и растений, представленные популяциями. Охраняя популяции, мы охраняем эти виды.

Для того чтобы организовать охрану флоры и фауны, выявляют объекты охраны и создают «Красные книги», содержащие списки и характеристики видов, которым угрожает исчезновение (их называют угрожаемыми). «Красная книга РСФСР: растения» была издана в 1988 г. «Красная книга РСФСР: животные» – в 1985 г. В них было включено, соответственно, 533 и 247 видов растений и животных. Созданы «Красные книги» и для многих республик и областей России.

Охрану биологического разнообразия в экосистемах на популяционно-видовом уровне осуществляют, запрещая сбор отдельных красиво цветущих растений (представителей орхидных – венерин башмачок, любка двулистная; лилейных – лилии кудреватая и тигровая, рябчик; и др.) и заготовку тех видов лекарственных трав, популяции которых уже ослаблены интенсивной эксплуатацией (во многих районах запрещен сбор валерианы лекарственной, цмина песчаного). Запрещают также охоту на редких видов птиц (журавли, лебеди, дрофа, стрепет и др.) и млекопитающих (косуля, уссурийский тигр, выхухоль), отлов определенных видов рыб (осетровых: стерляди и осетра, форели и др.), редких видов бабочек и жуков. (Рис. 100.)

Успешность охраны флоры и фауны на популяционно-видовом уровне зависит от многих факторов. Вы уже знаете, что причиной ослабления и даже уничтожения популяций могут быть чрезмерная добыча, разрушение местообитаний, вселение новых видов-конкурентов, вытесняющих охраняемый вид, загрязнение и т.д. Кроме того, любой вид связан с другими организмами и, например, чтобы сохранить популяцию крупного хищника, нужно позаботиться о популяциях его жертв и условиях для их нормальной жизни. Поэтому охрана вида, стоящего на вершине пищевой цепи, в природе перерастет в охрану всей экосистемы, в которой он обитает. Охрана экосистем – это самый надежный способ сохранения биологического разнообразия.

Используют некоторые специальные формы сохранения угрожаемых видов, например, разведение видов под контролем человека, создание генных банков.

Разведение видов под контролем человека. Животных разводят в зоопарках, растения – в ботанических садах. Существуют и специальные центры размножения редких видов – Окский государственный журавлиный питомник, Приокско-Тerrasный зубровый питомник и др. На многочисленных рыбозаводах разводят рыб редких видов, молодь которых выпускают в реки и озера. В Швеции, ФРГ, Австрии, Франции после разведения в неволе в леса интродуцирована рысь. Сохранению видов способствует и деятельность любителей-садоводов, держателей аквариумов.

Создание генных банков. В банках могут храниться как семена растений, так и замороженные культуры тканей или половые клетки (чаще сохраняют замороженную сперму), из которых можно получить животных или растения. Созданная Н.И.

Вавиловым коллекция семян культурных растений продолжает пополняться. Сейчас Национальное хранилище мировых растительных ресурсов расположено в Кубанской станции бывшего Всесоюзного института растениеводства им. Н.И. Вавилова. Там в 24 комнатах, расположенных под землей, при постоянной температуре +4,5°С сохраняется 400 тысяч образцов семян.

Первые банки замороженных клеток исчезающих видов животных созданы в ряде научных центров мира (в том числе и в Пушино-на-Оке).

В связи с охраной таких животных, как тигр и зубр, когда поголовье остается относительно небольшим, экологами приходится решать очень трудный вопрос о минимально необходимом числе животных в популяции, которое гарантирует ее выживание. Несмотря на то, что этому вопросу посвящено много исследований, точно определить этот гарантированный минимум трудно (хотя известно, что чем животное или растение мельче, тем больше особей нужно для сохранения популяции).

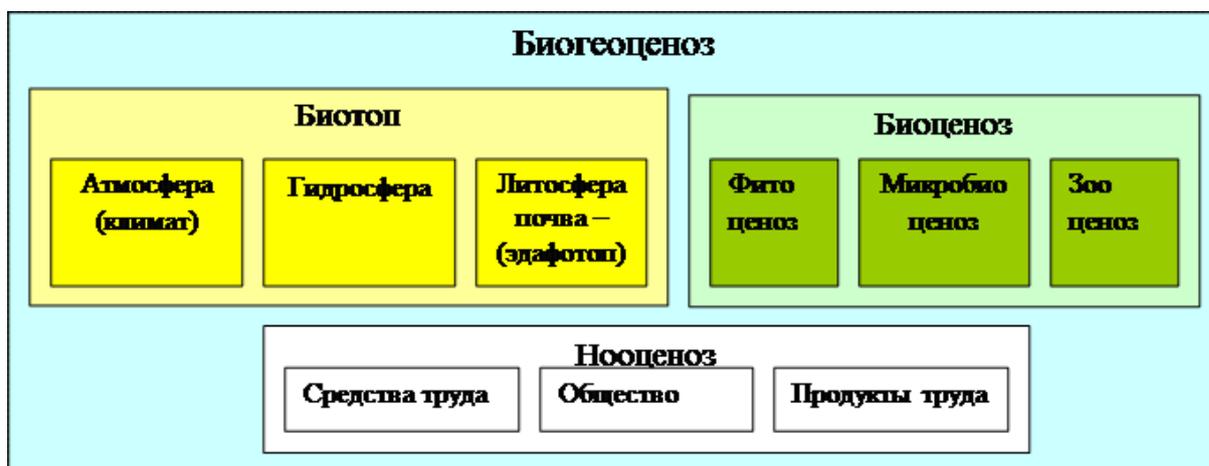
Все зависит от фактора риска. Если произойдет серьезный катаклизм, то исчезнут популяции любой плотности в зоне действия фактора разрушения. В то же время в зоопарках и центрах по воспроизведению исчезающих видов удается поддерживать популяцию из небольшого числа особей без опасения потерять ее.

Условия для сохранения популяций редких видов очень разнообразны, их трудно воспроизвести. Так, насекомопыляемые растения не могут существовать без опылителей, хищные птицы и крупные млекопитающие – без мелких млекопитающих. Поэтому наиболее надежный способ охраны популяций – их охрана как частей целых экосистем, в которых поддерживается экологическое равновесие. Для этого создают особо охраняемые природные территории (ООПТ) разных типов.

## 14.2 Принципы создания искусственных экосистем

Искусственные экосистемы (нообиогеоценозы или социоэкосистемы) – это совокупность организмов, живущих в созданных человеком условиях. В отличие от экосистемы включает в себя дополнительное равноправное сообщество, называемое нооценозом.

Нооценоз – это часть искусственной экосистемы, включающая в себя средства труда, общество и продукты труда.



Агроценоз — это биоценоз, искусственно созданный человеком для своих целей с определенным уровнем и характером продуктивности.

В настоящее время агроценозами занято около десяти процентов суши.

Несмотря на то, что в агроценозе, как и в любой природной экосистеме, существуют обязательные трофические уровни — продуценты, консументы, редуценты, образующие типичные трофические сети, между этими двумя типами сообществ существуют довольно большие различия:

1) В агроценозах резко снижено разнообразие организмов. Однообразие и видовую бедность агроценозов человек поддерживает специальной сложной системой агротехнических мер. На полях обычно культивируют один вид растений, в связи с чем резко обедняется и животное население, и состав микроорганизмов почвы. Однако даже самые обедненные агроценозы включают несколько десятков видов организмов, принадлежащих к разным систематическим и экологическим группам. Например, в агроценоз пшеничного поля, кроме пшеницы, входят сорняки, насекомые - вредители пшеницы и хищники, беспозвоночные — обитатели почвы и напочвенного слоя, патогенные грибы и др.

2) Виды, культивируемые человеком, поддерживаются искусственным отбором и не могут выдерживать борьбу за существование без поддержки человека.

3) Агроэкосистемы получают дополнительную энергию благодаря деятельности человека, обеспечивающей дополнительные условия роста культивируемых растений.

4) Чистая первичная продукция агроценоза (биомасса растений) удаляется из экосистемы в виде урожая и не поступает в цепи питания. Частичное потребление ее вредителями всячески пресекается деятельностью человека. В результате этого почва обедняется минеральными веществами, необходимыми для жизнедеятельности растений. Следовательно, снова необходимо вмешательство человека в виде внесения удобрений.

В агроценозах ослаблено действие естественного отбора и действует в основном искусственный отбор, направленный на максимальную продуктивность растений, нужных человеку, а не тех, которые лучше приспособлены к окружающим условиям.

Таким образом, агроценозы, в отличие от природных систем, не являются саморегулирующимися системами, а регулируются человеком. Задачей такой регуляции является повышение продуктивности агроценоза. Для этого орошаются засушливые и осушаются переувлажненные земли; уничтожаются сорняки и поедающие урожай животные, меняются сорта культивируемых растений и вносятся удобрения. Все это создает преимущества только для культивируемых растений.

В отличие от природной экосистемы агроценоз неустойчив, он быстро разрушается, т.к. культурные растения не выдержат конкуренции с дикорастущими и будут ими вытеснены.

Для агробиоценозов также характерен краевой эффект в размещении насекомых вредителей. Они концентрируются в основном в краевой полосе, а центр поля заселяют в меньшей степени. Указанное явление связано с тем, что в переходной полосе резко обостряется конкуренция между отдельными видами растений, а это в свою очередь, снижает у последних уровень защитных реакций против насекомых.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Какие уровни охраны живой природы вы знаете?

2. Как охраняют отдельные виды?
3. Что такое «Красная книга»?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.
4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природо-пользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.
5. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.
6. **Николайкин, Н. И.** Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 7-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2009. – 622 с. - ISBN 978-5-358-06899-5.

### *Дополнительная*

1. **Денисов, В. В., Гутенев В.В.** Экология. – М.: Вузовская книга, 2010 - 726 с.
2. **Колесников, С. И.** Экология. – М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.
3. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Учебное пособие / С.И. Калмыков, Ю.М. Мохонько, А.Л. Пономарева и др.; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 182 с.

## Лекция 15

### ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

#### 15.1 Законы взаимодействия человека и биосферы

Ход исторических изменений взаимосвязей между природой и человеком приводил как к изменениям в природе, так и к изменениям в формах хозяйствования. Формы хозяйствования изменялись вследствие тех затруднений, которые возникали от перемен в природе. В свою очередь перемены в хозяйстве вызывали цепные реакции в природе. Эта постоянная взаимосвязь получила название закона бумеранга, или закона обратной связи взаимодействия человек – биосфера П. Дажо, или четвертого закона Б. Коммонера: «ничто не дается даром».

Неизбежность расплаты за вытеснение естественных живых сообществ подчеркивается законом незаменимости биосферы, который каждый по-своему формулировали многие известные ученые.

В силу того, что антропогенные преобразования природных систем имеют достаточно четкие ограничения, выявляются частные закономерности. Первое из этих обобщений – закон убывающей отдачи Тюрго – Мальтуса. Его современная трактовка: повышение удельного вложения в агросистему не дает адекватного пропорционального увеличения ее продуктивности (урожайности). Сейчас падение энергетической эффективности сельскохозяйственного производства стало общеизвестным. В настоящее время, в отличие от первичной биосферы, выделяется также и некое новое состояние природы – биотехносфера. Согласно этой концепции, человек будущего должен проектировать и формировать новую природно-техническую среду, поэтому его деятельность следует рассматривать как интегральную часть биосферы.

В отношении прогноза превращения биосферы в техносферу в научной среде сложились два подхода. Одни считают, что современная биосфера, с точки зрения потребностей человека, несовершенна и требует значительного улучшения на основе коренного преобразования природы (именно такому направлению соответствует понятие техносферы). Другие ученые отрицают возможность замены систем природы любыми техническими приспособлениями и призывают осторожно использовать законы и силы природы на благо человечества, так как нельзя заменить силы природы человеческим трудом. В качестве основных доказательств приводятся следующие аргументы:

Природа слишком сложна, чтобы ею легко могло управлять человечество, а тем более заменять техническими устройствами.

Если биосфера резко качественно изменится, то она не будет соответствовать биологическим потребностям людей.

Упрощение природы до возможностей технического управления ею со стороны человека привело бы к пагубным необратимым последствиям.

Биосфера как саморегулирующаяся система с мощными обратными связями теоретически должна сопротивляться антропогенным изменениям.

Любые технические устройства быстро стареют. Эксплуатационные расходы по их содержанию растут прямо пропорционально износу техники. Следовательно, техносфера в традиционном понимании термина стала бы огромной экономической обузой для общества.

Относительно пути дальнейшего развития человека и биосферы в целом Вернадский придерживался иного мнения: новый этап эволюции жизни он видел не в форме биогенеза, а как этап развития разума, т. е. ноогенеза. Соответствующее на базе биосферы развитие ноосферы, сферы разума – вполне закономерный и неизбежный этап разумного регулирования взаимоотношений человека и природы.

Взаимосвязь и взаимодействие человека и природы проиллюстрируем на примерах.

Человек до появления интенсивных систем хозяйственного освоения природных территорий тоже гармонично вписывался в общий круговорот веществ в биосфере. С освоением все более совершенных методов хозяйствования начали появляться и проблемы:

развитие охотничьего промысла привело к исчезновению крупных травоядных животных: мамонтов, зубров, бизонов, стеллеровой коровы на Камчатке и т. п.;

развитие скотоводства повлекло за собой опустынивание больших территорий в аридных зонах планеты;

современное развитие сельского хозяйства привело, во-первых, к значительному сокращению территорий естественных биогеоценозов и, соответственно, сокращению биоразнообразия, которое обеспечивает экологическую устойчивость окружающей среды; во-вторых, человек в виде сельскохозяйственной продукции вывозит с полей большую часть необходимых растениям минеральных элементов, которые ранее оставались на этих территориях, то есть нарушается круговорот веществ в локальных биогеоценозах, что ведет к заметному повсеместному истощению почв и необходимости применения большого количества минеральных удобрений. Вывезенная продукция, вместо того, чтобы вернуться с помощью редуцентов в землю вместе с другими продуктами жизнедеятельности человека, попадает в реки, водохранилища, моря, вызывая вторичный комплекс экологических проблем (загрязнение водной среды, цветение водохранилищ, гибель наиболее чувствительных видов водных организмов, рыбы и т. п.);

развитие промышленного производства, помимо пространственного воздействия на биоту (вытеснение, сокращение жизненного пространства зачастую до критических размеров), создало предпосылки для ряда техногенных кризисов: парникового эффекта, озоновых дыр, загрязнения окружающей среды, заполнения поверхности земли не усваиваемыми биосферой и иногда катастрофически вредными для нее промышленными отходами.

Приведем некоторые цифры. Человек сейчас потребляет от 15% (Радкевич, 1997) до 40% первичной биологической продукции суши (Горшков, 1980), или 25% глобальной первичной продукции. При существующих темпах роста населения через 35 лет человек будет потреблять уже до 80% первичной продукции суши, или 50% глобальной. Но уже сейчас в результате изъятия первичной продукции, разрушения экологических ниш и загрязнения среды ежегодно исчезает от 5000 (оптимистические оценки) до 150.000 (пессимистические оценки) видов из примерно 5-30 млн. видов, существующих на Земле, – в 105-106 раз быстрее, чем в доисторическую эпоху. Такие темпы значительно превышают любую катастрофическую перестройку биоты в прошлом. Происходит это потому, что человек в буквальном смысле лишает множество организмов пищи, разрушает экологические ниши, при этом сужает ареалы организмов, что ведет к распаду генома популяций.

Таким образом, еще совсем недавно популярный лозунг покорителей природы о том, что «нельзя ждать милостей от природы: взять их у нее – наша задача», на практике привел человечество к экологическому кризису.

Для того, чтобы скорректировать поведение человека в отношении природы, Б. Коммонером были сформулированы четыре закона, которые, с точки зрения Реймерса, по сути, не столько законы, сколько афоризмы:

Все связано со всем. Поскольку все живые организмы включены в круговорот веществ в природе, между особями, видами, классами живых существ и окружающей средой образовано множество переплетающихся прямых, обратных, косвенных связей. Поэтому любое изменение среды (вещества, энергии, информации, других качеств среды) неизбежно приводит к развитию природных цепных реакций, идущих в сторону нейтрализации произведенного изменения или формированию новых природных систем. Причем процесс может принять необратимый характер даже при небольшом сдвиге отдельного фактора. Так, очень малое в процентном отношении изменение содержания окислов азота и серы в атмосфере привело к возникновению кислотных осадков, деградации лесов в Европе, исчезновению рыбы в озерах Скандинавии.

Все должно куда-то деваться. Выше был рассмотрен пример кризиса, вызванного загрязнением окружающей природной среды вследствие промышленного производства, основанного на добыче и синтезе несовместимых с биологическим круговоротом веществ и химических соединений – они в виде продуктов, материалов или вещей некоторое время находятся в хозяйственном пользовании, а потом неизбежно попадают в окружающую среду, которая не может с ними справиться, т. е. нейтрализовать или вернуть в исходное инертное состояние.

Природа знает лучше. Связи и взаимоотношения в природе складывались миллионы лет, человек, возомнивший себя творцом природы, теперь начинает осознавать ограниченность своих знаний и возможностей. Становится очевидным, что неверные идейные установки «покорителя природы» привели к началу экологического кризиса. Следом может развиваться экологическая катастрофа, с полной ликвидацией фактора, вызвавшего дисбаланс (т. е. самого человека).

Ничто не дается даром. В экологическом смысле это правило имеет в виду то, что любой успех в развитии антропосферы, любой рывок в росте численности населения, интенсивности труда, в области техносферы осуществляется за счет биосферы, усиления экологической нагрузки на природную среду, разрушения естественных биогеоценозов. В настоящее время достигнут предел устойчивости всей мировой экосистемы в целом. Причем не столько из-за неспособности биосферы прокормить существующее население (пищи может хватить и на много большее число людей), сколько из-за техногенной насыщенности, обеспечивающей все большие культурные потребности человека: необходимость современного жилья, личного автотранспорта, коммуникаций, предметов роскоши – это самые простые причины. Дальше идут научно-технические проекты, включая самые дорогостоящие – космические, гонку вооружений и т. д. Увлечение модой на одноразовые предметы потребления еще более увеличивает удельную экологическую нагрузку на среду для каждого человека, где пища занимает достаточно скромное место.

В качестве одного из примеров непроизводительного и нерационального природопользования, приводящего к неоправданной нагрузке на окружающую среду, приведем следующую ситуацию. Когда в квартирах есть и горячая, и холодная вода, для того, чтобы почистить зубы, мы включаем кран, и пока чистим зубы, воды утекает почти ведро. Когда воды в кране нет, можно принести из колонки, родника, налить из

запасов один стакан воды, и его хватит на ту же операцию. Значит, каждый день почти каждый житель тратит одно-два ведра лишней согретой воды. В масштабах страны сотни заводов трудятся, тратят электроэнергию и топливо, чтобы эту лишнюю воду накачать, очистить, продезинфицировать, произвести для всего этого химические реагенты, нагреть, после использования пропустить через очистные сооружения. Указанные заводы обслуживает небольшая армия транспорта, дорожных служб, ремонтников, бюрократов и т. д. Для этих процессов требуется территория, отнятая у биоты. Все это сопровождается выбросами загрязняющих веществ и отходов производства в окружающую среду.

Есть и другой пример целенаправленной политики многих фирм-производителей ширпотреба по запрограммированной недолговечности, одноразовости своих изделий – увеличение уровня потребительского спроса или искусственное ускорение процессов изменения моды на одежду и предметы роскоши, что тоже приводит к увеличению объемов производства товаров для свалки.

## 15.2 Ноосфера

Ноосфера (греч. νόος - "разум" и σφαира - "шар") - сфера взаимодействия общества и природы, в границах которой разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития (эта сфера обозначается также терминами "антропосфера", "социосфера", "биотехносфера"). Ноосфера - новая, высшая стадия эволюции биосферы, становление которой связано с развитием человеческого общества, оказывающего глубокое воздействие на природные процессы. Согласно Вернадскому, "в биосфере существует великая геологическая, быть может, космическая сила, планетное действие которой обычно не принимается во внимание в представлениях о космосе... Эта сила есть разум человека, устремленная и организованная воля его как существа общественного". Ноосфера как наука изучает закономерности возникновения, существования и развития человека, человеческого общества, закономерности взаимоотношения человека с биосферой. Суть ноосферы заключается в том, что человек, человеческое общество есть объективная, закономерная часть мира и необходимо постигать и знать эти закономерности. В окружающем нас мире ноосфера является той частью биосферы, которую занимает человек.

### 15.2.1 Возникновение и развитие ноосферы

В ноосферном учении Человек предстаёт укоренённым в Природу, а "искусственное" рассматривается как органическая часть и один из факторов (усиливающийся во времени) эволюции "естественного". Обобщая с позиции натуралиста человеческую историю, Вернадский делает вывод о том, что человечество в ходе своего развития превращается в новую мощную геологическую силу, своей мыслью и трудом преобразующую лик планеты. Соответственно, оно в целях своего сохранения должно будет взять на себя ответственность за развитие биосферы, превращающейся в ноосферу, а это потребует от него определённой социальной организации и новой, экологической и одновременно гуманистической этики.

Ноосферу можно охарактеризовать как единство "природы" и "культуры". Сам Вернадский говорил о ней то как о реальности будущего, то как о действительности наших дней, что неудивительно, поскольку он мыслил масштабами геологического

времени. "Биосфера не раз переходила в новое эволюционное состояние... - отмечает В. И. Вернадский. - Это переживаем мы и сейчас, за последние 10-20 тысяч лет, когда человек, выработав в социальной среде научную мысль, создаёт в биосфере новую геологическую силу, в ней не бывалую. Биосфера перешла или, вернее, переходит в новое эволюционное состояние - в ноосферу - перерабатывается научной мыслью социального человека" ("Научная мысль как планетное явление"). Таким образом, понятие "ноосфера" предстаёт в двух аспектах:

- ноосфера в стадии становления, развивающаяся стихийно с момента появления человека;

- ноосфера развитая, сознательно формируемая совместными усилиями людей в интересах всестороннего развития всего человечества и каждого отдельного человека

### 15.2.3 История исследований

Понятие "Ноосфера" было предложено профессором математики Сорбонны Эдуардом Леруа (1870-1954), который трактовал ее как "мыслящую" оболочку, формирующуюся человеческим сознанием. Э. Леруа подчёркивал, что пришёл к этой идее совместно со своим другом - крупнейшим геологом и палеонтологом-эволюционистом и католическим философом Пьером Тейяром де Шарденом. При этом Леруа и Шарден основывались на лекциях по геохимии, которые в 1922/1923 годах читал в Сорбонне Владимир Иванович Вернадский (1863-1945).

Наиболее полное воплощение теория Леруа нашла в разработке Тейяра де Шардена, который разделял не только идею абиогенеза (оживления материи), но и идею, что конечным пунктом развития ноосферы будет слияние с Богом. Однако научное обоснование ноосферного учения связано в первую очередь с именем Вернадского.

В основе теории ноосферы Леруа лежат представления Плотина (205-270) о эманации Единого (непознаваемой Первосущности, отождествляемой с Благом) в Ум и мировую Душу, с последующей трансформацией последних снова в Единое. Согласно Плотину, сначала Единое выделяет из себя мировой Ум (нус), заключающий в себе мир идей, затем Ум производит из себя мировую Душу, которая дробится на отдельные души и творит чувственный мир. Материя возникает как низшая ступень эманации. Достигнув определенной ступени развития, существа чувственного мира начинают осознавать собственную неполноту и стремиться к приобщению, а затем и слиянию с Единым.

Эволюционная модель Леруа и Тейяра де Шардена повторяет основные положения неоплатонизма. Разумеется, возникновение Вселенной, появление и развитие жизни на Земле описывается в терминах современной науки, но принципиальная схема концепции соответствует принципам неоплатоников. Человек у Плотина стремится выйти за пределы Души в сферу Разума, чтобы затем, через экстаз, приобщиться к Единому. Согласно Тейяру де Шардену, человек также стремится перейти в сферу разума и раствориться в Боге.

Идеи Плотина были восприняты Леруа в бергсонизмском духе. Влияние Анри Бергсона (1859-1941) на создание теории ноосферы заключалось главным образом в выдвинутом им положении о творческой эволюции ("L'йvolution crйatrice", 1907. Русский перевод: "Творческая эволюция", 1914). Подлинная и первоначальная реальность, по Бергсону, - жизнь как метафизически-космический процесс, творческая эволюция; структура её - длительность, постигаемая только посредством интуиции, различные аспекты длительности - материя, сознание, память, дух. Универсум живёт,

растет в процессе творческого сознания и свободно развивается в соответствии с внутренне присущим ему стремлением к жизни - "жизненным порывом" (l'elan vital).

Влияние Бергсона прослеживается и у Тейяра де Шардена. В частности, в "Феномене человека" он несколько раз обращается к бергсоновским категориям порыва (l'elan) и длительности (durée). Термин антропосфера в 1902 году ввел в научный оборот Д. Н. Анучин.

#### 15.2.4 Ноосфера по Вернадскому

НООСФЕРА (греч. nous - разум, sphaîra - шар) - сфера взаимодействия природы и общества. Термин Н. впервые употребил французский математик Э. Леруа в 1927, в лекциях, которые он читал в Коллеж де Франс в Париже, и в том же роду изложил их в своей книге "Требование идеалиста и факт эволюции". В 1928 в его работе "Происхождение человечества и эволюция разума" проблема Н. получила дальнейшее развитие. Леруа признавал, что данное понятие возникло у него под влиянием лекций Вернадского о биосфере Земли. Термин Н. встречается и в работах французского теолога, философа и палеонтолога Тейяра де Шардена, который, разрабатывая учение о перерастании биосферы в Н., дал один из первых образцов построения интегрального учения о Н. Н. для Тейяра де Шардена - часть природы, которая представляет собой чисто духовное явление, т.е. "мыслящий пласт", который разворачивается над миром растений и животных - вне биосферы и над ней. У Вернадского, Н. - это качественно новый этап эволюции биосферы, детерминированный историческим развитием человечества, его трудом и разумом. Становление этого этапа связано, по Вернадскому, со следующими параметрами: планетарным характером человеческого бытия и единством человеческого рода; соизмеримостью человеческой деятельности по преобразованию природы земной поверхности с геологическими процессами; развитием демократических форм человеческого общежития; интенсивным развитием науки и техники. В современной литературе можно встретить различные определения термина Н., однако все авторы под Н. - сферой разума - понимают ту область биосферы, которая находится под влиянием человеческой активности, и поэтому многие ее процессы в принципе могут быть управляемы и направляемы человеком. Учение о Н. часто называют биосферно-ноосферной концепцией Вернадского и трактуют как переход от биосферы к Н., который должен обязательно состояться. Основное содержание концепции Н. в учении Вернадского можно сформулировать в виде следующих посылок:

- деятельность человека постепенно становится основным фактором эволюции биосферы как космического тела;

- для дальнейшего развития человечества и биосферы человек должен взять на себя ответственность за характер протекания основных эволюционных процессов планеты.

Исходя из этих установок, считается, что лучше говорить об эпохе Н., т.е. такой эпохе в истории человечества, когда развитие цивилизации в целом может и должно быть согласовано с развитием планеты и прежде всего биосферы. На этапе перехода к эпохе Н. необходимо выработать осознанное поведение людей, согласованное с естественными условиями стабильности окружающей среды, т.е. известный экологический императив. В свою очередь, в такую эпоху должна быть обеспечена коэволюция человека и биосферы, т.е. их совместное и согласованное развитие. В современной практике человек столкнулся с целым рядом глобальных проблем, порожденных его неразумной деятельностью, и разрушающей зыбкие коэволюционные

отношения человека с природой. Поэтому, сегодня идет речь об объединении проблем становления и эволюции Н. с основополагающими концепциями культуры и этики.

### **15.2.5 Владимир Иванович Вернадский. "Несколько слов о ноосфере"**

Владимир Иванович Вернадский в своей работе "Несколько слов о ноосфере", опубликованной впервые в журнале "Успехи современной биологии", говорит о Ноосфере как о неразрывной связи человека и биосферы и невозможности их отделения. Вернадский утверждает, что произведённое живыми существами занимает значительную часть биосферы (горные породы), но соотношение живого и неживого составляет где-то 99.75 к 0.25%, что, однако не мешает человеку значительно воздействовать на биосферу, а воздействует он исключительно с помощью разума. Работа написана в 44 году, в разгар 2-ой мировой. "В геологической истории биосферы перед человеком открывается огромное будущее, если он поймет это и не будет употреблять свой разум и свой труд на самоистребление".

"Человечество, как живое вещество, неразрывно связано с материально-энергетическими процессами определенной геологической оболочки земли - с ее биосферой". Вернадский, а интересах свободного народа "Впервые в истории человечества интересы народных масс - всех и каждого - и свободной мысли личности определяют жизнь человечества, являются мерилем его представлений о справедливости. Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью и трудом, становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого".

"Здесь перед нами встала новая загадка. Мысль не есть форма энергии. Как же может она изменять материальные процессы? Вопрос этот до сих пор научно не разрешен. Его поставил впервые, сколько я знаю, американский ученый, родившийся во Львове, математик и биофизик Альфред Лотка. Но решить его он не мог".

"Но важен для нас факт, что идеалы нашей демократии идут в унисон со стихийным геологическим процессом, с законами природы, отвечают ноосфере. Можно смотреть поэтому на наше будущее уверенно. Оно в наших руках. Мы его не выпустим" - Вернадский о демократии.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Влияние среды обитания на людей
2. Уровни индивидуума и популяции

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

##### *Основная*

1. **Бродский, А. К.** Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 256 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-4985-4.
2. **Калмыков, С. И.** Общая экология с основами охраны окружающей среды : курс лекций / С. И. Калмыков, Б. Ю. Ламихов ; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009.– 300 с. – ISBN 978-5-7011-0651-0.
3. **Калыгин, В. Г.** Промышленная экология : учеб. пособие / В. Г. Калыгин. – 4-е изд., перераб. – М. : Академия, 2010. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5189-5.

4. **Константинов, В. М.** Экологические основы природопользования : учеб. пособие / В. М. Константинов, Ю. Б. Челидзе. – 8-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 208 с.: ил. – ISBN 978-5-7695-5537-4.

5. **Маринченко, А. В.** Экология : учеб. пособие / А. В. Маринченко. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Дашков и К, 2009. – 328 с. – ISBN 978-5-91131-910-6.

*Дополнительная*

1. «Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области».
2. Журналы: «Экологический вестник России», «Экология», «Использование и охрана природных ресурсов России».
3. Федеральный закон РФ т 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Денисов, В.В.** Экология/ В.В. Денисов, В.В. Гутенев, И.А. Луганская. – М.: Вузовская книга, 2010. - 726 с.
2. **Калмыков, С.И.** Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Учебное пособие / С.И. Калмыков, Ю.М. Мохонько, А.Л. Пономарева и др.; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 182 с.
3. **Колесников С.И.** Экология./ С.И. Колесников– М.: Дашков и Ко, АкадемЦентр, 2010. – 384 с.
4. **Коробкин, В.И.** Экология/В.И. Коробкин ,Л.В. Передельский. – М.: Феникс, 2011. - 601 с.
5. **Николайкин, Н. И.** Экология: Учебник/ Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. - М.: Дрофа, 2004. - 624 с.
6. **Пехов, А.П.** Биология с основами экологии: учебник / А. П. Пехов. - СПб.: Лань, 2007. - 688 с.
7. **Половцев, О.П.** Экология и окружающая человека среда: Учебное пособие / О.П. Половцев, С.И. Калмыков; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 280 с.
8. **Протасов, В. Ф.** Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России: Учебное пособие/ В.Ф. Протасов. - М.: Финансы и статистика, 2001. - 671 с.: ил.
9. **Пузанова, Т.А.** Экология/Т.А. Пузанова. – М.: Экономика, 2010. - 288 с.
10. **Розанов, С.И.** Общая экология / С.И. Розанов. - Санкт-Петербург: Лань, 2003. - 288 с.
11. **Саранцева, Е.И.** Основы общей биологии и экологии: Учебное пособие / Е.И. Саранцева, М.А. Нечкина, А.Н. Кузнецов и др.; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2007. – 148 с.
12. **Степановских, А.С.** Общая экология / А.С. Степановских. - М.: ЮНИТИ, 2001. - 510 с.
13. **Шилов, И.А.** Экология/И.А. Шилов. – М.: Высшая школа, 2009. – 512 с.
14. Журналы: «Экологический вестник России», «Экология», «Использование и охрана природных ресурсов России».
15. Экология: сборник задач, упражнений и примеров. Н.А. Бродская и др.; под ред. О.Г. Воробьева и Н.И. Николайкина. М.: Дрофа, 2006. – 508 с.
16. **Прищеп, Н.И.** Экология: Практикум/Н.И. Прищеп. М.: Аспект Пресс, 2007. – 272 с.
17. **Петунин, О.В.** Сборник заданий и упражнений по общей экологии/О.В. Петунин. Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 188 с.
18. «Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области».
19. Федеральный закон РФ т 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
- 7 Федеральный закон РФ от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ « Об экологической экспертизе» (в ред. ФЗ от 15.04.1998 №65-ФЗ).
20. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ.
21. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ. ГОСТ 17.2.4.02-81.
22. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. ГОСТ 17.4.1.02-83.

23. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. СанПиН 4630-88.

24. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов СанПиН 2.2.1/2.1.111.1200-03.

## Содержание

<b>Лекция 1 Экология как наука</b> .....	4
1.1 Понятие экологии, задачи, связь с другими дисциплинами.....	4
1.2 История развития экологии.....	5
1.3 Экологические проблемы России.....	10
<b>Лекция 2 Экосистемы и их функционирование</b> .....	13
2.1 Понятие об экосистеме.....	13
2.2 Классификация экосистем.....	13
2.3 Структура, свойства и функции экосистем.....	14
2.4 Закономерности географического распространения экосистем.....	15
<b>Лекция 3 Факториальная экология</b> .....	18
3.1 Организм и среда.....	18
3.1.1 Влияние среды на организм.....	18
3.2 Экологические факторы среды.....	19
3.3 Законы минимума и толерантности. Лимитирующий фактор.....	19
<b>Лекция 4 Абиотические факторы среды</b> .....	23
4.1 Периодические, непериодические факторы среды.....	23
4.1.1 Общий характер действия экологических факторов.....	23
4.2 Примеры адаптации к тем или иным факторам среды.....	25
4.3 Основные абиотические факторы и их влияние на организмы.....	25
4.3.1 Солнечный свет.....	25
4.3.2 Адаптационные ритмы жизни.....	26
4.3.3 Температура.....	28
<b>Лекция 5 Популяционная экология</b> .....	31
5.1 Статические характеристики.....	31
5.2 Пространственное распределение.....	31
5.3 Плотность популяции.....	32
5.4 Рост популяций.....	32
5.5 Колебания численности популяции.....	33
<b>Лекция 6 Динамические характеристики популяции</b> .....	36
6.1 Понятие термина популяция.....	36
6.2 Статические показатели популяций.....	36
6.3 Динамические характеристики популяций.....	37
6.4 Продолжительность жизни.....	38
6.5 Типы динамики численности.....	40
6.6 Причины динамики численности.....	41
<b>Лекция 7 Экология сообществ</b> .....	43
7.1 Понятие термина сообщество.....	43
7.2 Характеристики сообществ.....	43
7.3 Структура биоценоза.....	45
7.4 Изучение экосистем.....	45
7.5 Как функционирует экосистема.....	47
7.6 Экологические пирамиды.....	48
7.7 Энергетический обмен в экосистемах. Продуктивность.....	49
<b>Лекция 8 Экосистемы</b> .....	52
8.1 Компоненты экосистем.....	52
8.2 Понятие экотона.....	53

8.3 Экотон: влияние окружающей среды на процессы массо- и энергообмена.....	54
<b>Лекция 9 Динамические показатели экосистем.....</b>	<b>56</b>
9.1 Понятие динамического равновесия и квазистационарного состояния.....	56
9.2 Различия организации и функционирования живых и неживых систем.....	58
9.3 Закон Эшби и принцип Ле-Шателье.....	58
<b>Лекция 10 Функциональная структура экосистем.....</b>	<b>60</b>
10.1 Уровни организации природных систем.....	60
10.2 Голозои и голофиты.....	62
<b>Лекция 11 Системная экология.....</b>	<b>64</b>
11.1 Взаимодействие сообществ с абиотической средой обитания.....	64
11.2 Типы взаимодействий.....	65
11.3 Энергетика экосистем.....	66
<b>Лекция 12 Прикладная экология.....</b>	<b>70</b>
12.1 Принцип целостного рассмотрения явлений.....	70
12.2 Принцип природных цепных реакций.....	70
12.3 Принципы накопления загрязнителей в цепях питания.....	71
12.4 Закон внутреннего динамического равновесия.....	72
<b>Лекция 13 Загрязнение окружающей среды.....</b>	<b>74</b>
13.1 Классификация загрязнителей.....	74
13.2 Химическое загрязнение.....	74
13.3 Опасные загрязнители органического и неорганического происхождения...	76
<b>Лекция 14 Охрана окружающей среды.....</b>	<b>78</b>
14.1 Принципы охраны живой природы.....	78
14.2 Принципы создания искусственных экосистем.....	79
<b>Лекция 15 Экология человека.....</b>	<b>82</b>
15.1 Законы взаимодействия человека и биосферы.....	82
15.2 Ноосфера.....	85
15.2.1 Возникновение и развитие ноосферы.....	85
15.2.3 История исследований.....	86
15.2.4 Ноосфера по Вернадскому.....	87
15.2.5 Владимир Иванович Вернадский. "Несколько слов о ноосфере".....	88
Библиографический список.....	90
Содержание.....	92