

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ Материал
ПО ИЗУЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ г. МОСКВЫ
В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ КЛАССЕ НА БАЗЕ МГСУ

для учащихся средних школ г. Москвы
по инженерной специальности
«Экология городской среды»

Москва 2009

Составители:

Гогина Е.С., к.т.н., доцент кафедры «Водоотведение»

Булгаков Б.И., к.т.н., профессор кафедры «Технология вяжущих веществ и бетонов»

Кириллов К.И., к.т.н., старший преподаватель кафедры «Строительные материалы»

Ивакина Ю.Ю., к.т.н., старший преподаватель кафедры «Строительные материалы»

Федосеев А.С., инженер научно-образовательного центра новых строительных технологий и материалов МГСУ

1. Цели и задачи курса по изучению экологических проблем г. Москвы

Целью преподавания курса является получение московскими школьниками научно-теоретических знаний в области взаимодействия общества и природы. В соответствии с поставленной целью школьники должны получить знания о:

- а) предмете экологии, составе, структуре и функциях экосистем
- б) учете экологического фактора в системе подготовки и реализации хозяйственных решений, воздействующих на окружающую среду;
- в) воздействии различных видов хозяйственной деятельности на окружающую среду;
- г) экологических последствиях осуществления хозяйственных решений, способах учета загрязнения водных объектов, последствиях разрушения озонового слоя Земли, изменений климата;
- д) нормировании качества окружающей среды и воздействия различных видов хозяйственной деятельности на окружающую среду.

2. Объем курса по изучению экологических проблем г. Москвы и виды учебной работы

№ п/п	Вид учебной работы	Кол-во часов
1	Общая трудоемкость	72
2	Аудиторные занятия с преподавателем:	36
	лекции	18
	семинары	18
3	Самостоятельная работа:	36
	домашние задания	18
	изучение теоретических вопросов	18
4	Вид итогового контроля	Итоговое тестирование

3. Содержание курса

3.1 Содержание и объем лекционных занятий

№ п/п	Содержание лекционных занятий	Кол-во учебных часов
1	2	3
1.	История экологии. Цивилизация и экология. Системная концепция. Современная экология.	2
2.	Экосистемы – предмет экологии. Состав и структура экосистем. Свойства и функции экосистем. Развитие экосистем	2
3.	Энергия в экосистемах. Законы преобразования энергии. Потоки энергии и продуктивность экосистем.	2
4.	Круговорот веществ. Осадочные циклы. Возврат веществ в круговорот.	2
5.	Экологические факторы. Среда обитания и условия существования. Экологическая пластичность. Лимитирующие факторы.	2
6.	В.И. Вернадский о биосфере. Эволюция биосферы.	2
7.	Методы изучения экосистем. Натурные наблюдения и эксперименты. Моделирование. Схема системного исследования.	2
8.	Глобальные проблемы. Проблемы цивилизации. Энергетические проблемы. Демографическая и продовольственная проблемы. Парниковый эффект.	2
9.	Окружающая среда и здоровье человека. Состояние биосферы и болезни. Биологические факторы риска. Добровольный риск	2

3.2 Содержание и объем практических занятий

№ п/п	Наименование практических занятий	Количество часов
1.	Окружающая среда как система. Взаимосвязь отдельных элементов живой и неживой природной среды	2
2.	Стратегические принципы развития общества. Экологические проблемы и возможные пути их решения	2
3.	Современное экологическое состояние Москвы и Московской области	2
4.	Экология водного хозяйства. Проблемы малых рек, их антропогенное загрязнение	2
5.	Проблема загрязнения воздуха в больших городах	2
6.	Экологические проблемы в сельском хозяйстве	2
7.	Влияние электромагнитных излучений на экологическую ситуацию. Экологические проблемы, вызванные шумовыми загрязнениями	2
8	Кислотные дожди и их влияние на окружающую среду	2
9	Экология ландшафтов и лесного покрова Земли	2

4. Учебно-методическое обеспечение курса

1. Вернадский В.И. Несколько слов о ноосфере // Успехи современной биологии. М.: 1944, Т.18, вып. 2
2. Данилов-Данильян В.И. Экология, охрана природы и экологическая безопасность М 1999
3. Л.И. Цветкова, М.И. Алексеев Экология. Химиздат 1999
4. Дроздов Н.Н., Мяло Е.Г. Экосистемы мира. М., 1997
5. Медоуз Д.Х Рандерс Й. За пределами роста. М., 1994
6. Моисеев Н.Н. Судьба цивилизации: Путь разума. М.,1993
7. Никитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и человек. М., 1986
8. Одум Ю. Основы экологии. Издательство «Мир», Москва. 1975
9. Опарин А.И. Возникновение жизни на земле. М.: Изд-во АН СССР, 1957
10. Яншин А.Л., Мелуа А.И. Уроки экологических просчетов, М., 1991
11. Фешбах М. «Экоцид в СССР», М.: 1992
12. Хесле В. Философия и экология. //Философы современного мира/ Лекции в институте философии РАН. М.: Наука. 1993

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
К ПРОВЕДЕНИЮ ЛЕКЦИОННЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
ПО ИЗУЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ г. МОСКВЫ
В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ КЛАССЕ НА БАЗЕ МГСУ

для учащихся средних школ г. Москвы
по инженерной специальности
«Экология городской среды»

Москва 2009

Составители:

Гогина Е.С., к.т.н., доцент кафедры «Водоотведение»

Булгаков Б.И., к.т.н., профессор кафедры «Технология вяжущих веществ и бетонов»

Кириллов К.И., к.т.н., старший преподаватель кафедры «Строительные материалы»

Ивакина Ю.Ю., к.т.н., старший преподаватель кафедры «Строительные материалы»

Федосеев А.С., инженер научно-образовательного центра новых строительных технологий и материалов МГСУ

Введение

В 1866 г. немецкий биолог Эрнст Геккель ввел в науку термин *экология*, который, однако, получил всеобщее признание лишь к концу XX века. Э. Геккель назвал словом экология новый раздел биологии, изучающий совокупность всех взаимосвязей между живыми и неживыми компонентами природной среды, который по мере накопления новых знаний превратился в самостоятельную фундаментальную науку. Во второй половине нашего столетия термин экология стал модным. Каждый исследователь и специалист, желающий быть современным, занимается экологией. Но экологические проблемы, которые интересуют биолога, отличаются от проблем, рассматриваемых физиком, инженером, экономистом, юристом или социологом. Слово экология имеет общий корень со словом экономика, которое буквально означает «искусство ведения домашнего хозяйства». К сожалению, экономика часто вступает в противоречие с экологией. Стремясь к сиюминутным экономическим выгодам, человек разрушает собственный дом.

Среди различных материальных «домов», где живет человек, экология имеет дело с величайшим из них - живой оболочкой целой планеты - биосферой. Биосфера - это система живых организмов и среды, которая функционирует и развивается как единое целое. Организмы не только приспосабливаются к среде обитания, но и приспосабливают среду к себе, образуя вместе сложную систему регуляции условий, обеспечивающих жизнь на планете. Именно организмы сыграли основную роль в формировании геохимической среды Земли, благоприятной для их существования.

Из всех живых организмов человек более других пытается изменить природу, используя и приспосабливая ее для своих нужд. С развитием науки и техники люди получают все более мощные орудия воздействия на природу. Это позволяет им вторгаться в микро- и макромиры, во все процессы, протекающие в биосфере.

В своей деятельности человек, как правило, не осознает, что нарушает закономерности протекания природных процессов, вызывает нежелательные для себя изменения и не предвидит последствия. Разрушительная деятельность человека породила конфликт между обществом и природой, создала проблемы, которые получили название экологических.

Но если до некоторых пор механизмы саморегуляции биосферы компенсировали возмущающие антропогенные воздействия, то особенностью современного этапа развития планеты является то, что система производства и размах человеческой деятельности достигли масштабов, сопоставимых с масштабами природных явлений. Особенно это свойственно крупным мегаполисам.

В Российской Федерации наикрупнейшим мегаполисом является город Москва. Чем больше город, тем больше его проблемы, тем сложнее разобраться во

всех процессах, происходящих в нем, особенно в экологических. При анализе экологической ситуации нужно уметь разбираться во всех аспектах экологии, комплексно решать проблемы среды, в которой живет человек.

Эволюция природных процессов и явлений, в том числе и человека, в конечном счете, привела мировое сообщество к озабоченности судьбой биосферы, представляющей собой ныне нераздельное единство природных, техногенных и духовных элементов.

Поэтому угроза существованию земного дома связана с угрозой разрушения и дома духовного. Экологические проблемы - общечеловеческие проблемы, так как биосфера не признает государственных границ. Общечеловеческие проблемы порождают и общечеловеческие задачи. Сохранить жизнь на Земле - более важной задачи перед человечеством не стоит. Сохранить жизнь в родном городе – не такая глобальная задача, но очень важная для новорожденного, школьника, студента, рабочего, пенсионера.

Решение экологических проблем требует огромной работы во всех областях науки и техники. И теоретическим фундаментом всей природоохранной деятельности является наука экология. Только знание экологических законов - законов развития природных и социальных процессов - позволит поладить с природой и разрешить социальные конфликты. Природоохранные мероприятия, не обоснованные научно, бесполезны, а часто даже вредны, так как могут входить в противоречие с законами природы.

Лекция 1.

1.1. Цивилизация и экология

Цивилизация возникла тогда, когда человек научился использовать огонь и орудия труда, позволившие ему изменять среду своего обитания. Поэтому познание природы приобрело практическое значение еще на заре человечества. В первобытном обществе каждый должен был иметь определенные знания об окружающей его среде, о силах природы, растениях и животных. Эмпирическими знаниями о требованиях живых организмов к условиям существования располагал уже доисторический человек, накапливая их при поиске добычи, съедобных растений и убежищ. Более чем за 600 поколений до нас появилось земледелие, которое решило будущее человечества. «Этим рычагом, - писал В. И. Вернадский (1925), - человек овладел всем живым веществом на планете. Человек глубоко отличается от других организмов по своему действию на окружающую среду. Это различие, которое было велико с самого начала, стало огромным с течением времени». С развитием цивилизации развивались и экологические познания, и экологические проблемы.

Известно, что люди, часто сами того не подозревая, занимаются экологическими наблюдениями. Так, например, рыбак знает, что форель ловится в ручьях с быстрым течением и в насыщенной кислородом воде, тогда как плотва или карась предпочитают медленно текущие или стоячие воды. Каждый знает также, что на берегах Ледовитого океана не водятся львы, а в Сахаре нет белых медведей. Элементы экологических знаний обнаруживаются в сочинениях многих ученых античного мира и средних веков. В древних египетских, индийских, китайских и европейских источниках VI - II вв. до н. э. можно обнаружить сведения о жизни и изменениях численности животных и растений.

Гиппократ (460 - 377 гг. до н. э.) выдвинул идеи о влиянии факторов среды на здоровье людей. Аристотель (384 - 322 гг. до н. э.) классифицировал животных по образу жизни и способу питания. Он описал свыше 500 видов животных и рассказал об их поведении: о зимней спячке рыб, перелетах птиц, паразитизме кукушки, о способе самозащиты каракатицы и т. п.

В средние века науки о природе развивались медленно в силу религиозного догматизма и схоластики. Следует упомянуть о трудах немецкого химика и врача Т. Парацельса (1493 - 1541), идеи которого о дозировании природных факторов были развиты в XIX веке в работах Ю. Либиха и В. Шелфорда.

Великие географические открытия в эпоху Возрождения, колонизация новых стран послужили толчком к развитию наук о природе. Этот период ознаменовался описанием новых земель, их растительного и животного мира, много внимания уделялось влиянию погодно-климатических и других факторов на организмы.

В XVIII веке ботанические и зоологические наблюдения были обобщены в работе «Система природы» шведского естествоиспытателя Карла Линнея (1707-1778), который дал основы научной систематики животных и растений. Хотя он сформулировал гипотезу постоянства видов, все же признавал образование разновидностей под влиянием условий жизни.

Великий французский натуралист Жан Батист Ламарк (1744 - 1829) в книге «Философия зоологии» впервые широко поставил вопрос о влиянии среды на организмы, но не сумел объяснить причин их «пригнанности» к среде обитания.

Одним из первых естествоиспытателей, понявших необходимость синтеза наук при изучении природных комплексов, включающих живые и неживые элементы, был великий немецкий ученый Александр Гумбольдт. Говоря о целостном изучении природы, он писал: «Мое внимание будет устремлено на взаимодействие сил, влияние неодушевленной природы на растительный и животный мир, их гармонию». Одновременно с А. Гумбольдтом на существующее в природе единство среды и организмов указывал знаменитый российский зоолог Карл Рулье (1814 - 1858). Они были предвестниками идей целостного восприятия природных комплексов, представлений о системах из живых и неживых компонентов. Большой вклад в развитие экологических представлений в этот период внесли и другие российские естествоиспытатели: А. Т. Болотов (1738 - 1833), П. С. Паллас (1741 -1811), И. И. Лепехин (1740 -1802), Н. А. Северцов (1827 - 1885), А. Н. Бекетов (1825 -1902) и др.

В 1859 г. появилась книга Чальза Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора». Позднее В. И. Вернадский писал: «В ходе геологического времени живое вещество изменяется морфологически, согласно законам природы. История живого вещества в ходе времени выражается в медленном изменении форм жизни, форм живых организмов, генетически между собой непрерывно связанных от одного поколения к другому, без перерыва. Веками эта мысль поднималась в научных исканиях, в 1859 г. она, наконец, получила прочное обоснование в великих достижениях Ч. Дарвина и А. Уоллеса. Она вылилась в учение об эволюции видов - растений и животных, в том числе и человека». Взгляды Ч. Дарвина на борьбу за существование не только как на борьбу организмов друг с другом, но и с окружающей неживой средой, послужили научным фундаментом, на котором Э. Геккель в 1866 г. возвел здание науки об «экономике природы» - экологии. «С установлением понятия приспособления явилась новая область науки, получившая придуманное Геккелем название экология», - писал К. А. Тимирязев (1939). Эрнст Геккель дал такое определение этой отрасли науки: «Экология - это познание экономики природы, одновременное исследование взаимоотношений всего живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая непременно неантагонистические и антагонистические взаимоотношения животных и растений, контактирующих друг с другом. Одним словом, экология - наука, изучающая все сложные взаимосвязи и взаимоотношения в природе, рассматриваемые Дарвином как условия борьбы за существование».

Действительно, дарвинизм вызвал появление двух биологических дисциплин - генетики и экологии. Важным шагом на пути становления экологии как самостоятельной науки следует считать введение в 1877 г. немецким гидробиологом К. Мебиусом понятия о биоценозе. Биоценоз (гр. *bios* - жизнь, *koinos* - сообщество) – сочетание разных организмов, обитающих в определенном биотопе. **БИОТОП** (гр. *bios* - жизнь, *topos* - место) - совокупность условий среды, в которых обитает биоценоз (Ф. Даль, 1903).

В самом конце XIX века с призывом развернуть междисциплинарные комплексные исследования целостных природных систем выступил выдающийся русский ученый-почвовед В. В. Докучаев (1846 - 1903). Именно закономерная связь между «силами», «телами» и «явлениями», между «мертвой» и «живой» природой, между растительными, животными и минеральными царствами, с одной стороны, и человеком, его бытом и духовным миром - с другой, и составляет сущность познания «естества», - считал он. Практическое осуществление этих идей связано с именем Г. Ф. Морозова (1867 - 1920) - создателя учения о лесе. Он подчеркивал, что лес и его территория должны сливаться для нас в единое целое, в географический индивидуум. В 1925 г. эти идеи реализовались немецким гидробиологом А. Тинеманом, который рассматривал озера как целостную систему, где биоценоз и биотоп образуют органическое единство.

В начале XX века оформились экологические школы ботаников, зоологов, гидробиологов, в каждой из которых развивались определенные стороны экологической науки: экология животных, экология растений, экология микроорганизмов, экология насекомых, экология озера, экология леса и т. п.

В 1910 г. на III Ботаническом конгрессе в Брюсселе экология растений официально разделилась на экологию особей - аут-экологию (гр. out- вне, отдельно) и экологию сообществ - синэкологию (гр. syn- вместе). Это деление распространилось затем на экологию животных и на общую экологию. В основе аутэкологии лежат исследования организмов конкретной группы живых существ (животных, растений, микроорганизмов) и среды, взаимодействующей с этими организмами. Синэкология пришла на смену аутэкологии после того, как в начале века утвердилась концепция популяции, в центре внимания которой стоит анализ плотности, рождаемости, смертности, возрастной структуры и взаимодействий популяционных групп организмов. Этот период, по сравнению с предыдущим, был более прогрессивным. Благодаря ему в экологии зародилось научное направление - популяционная экология, приоритетной проблемой которой являются биотические взаимодействия в биоценозе. Недостаток этого направления в том, что даже при изучении сообщества суть явлений сводится к функционированию отдельных популяций, т. е. к разложению на составляющие элементы.

1.2. Системная концепция. В 1926 г. труды русского геохимика В. И. Вернадского вновь привлекли внимание научного мира к проблеме взаимодействия живых организмов с неживой природой. В созданном им учении о биосфере рассматривались не только основные свойства «живого вещества» и воздействие на него «косной» природы, но и огромное обратное влияние жизни на неживую природу и формирование «биокосных природных тел» (таких, например, как почва или озеро). Биосфера предстала как глобальная система, функционирование которой основано на динамическом единстве «косных», «живых» и «биокосных» компонентов.

Учение В. И. Вернадского о биосфере сыграло важную роль в подготовке целостного восприятия природных процессов как системы.

Однако окончательные предпосылки для утверждения системной концепции созрели лишь в 30 - 40-е годы нашего столетия благодаря интенсивному развитию экспериментальной и теоретической базы и углубленному изучению в ряде стран состава, структуры и функционирования наземных и водных комплексов. Эти исследования с неизбежностью приводили к выводам о необходимости совместного изучения биоценоза и биотопа. Только рассматривая этот комплекс целостно, можно понять его развитие и управлять им.

С особой убедительностью эти выводы были сформулированы английским геоботаником А. Тэнсли, которому принадлежит честь введения в 1935 г. термина экосистема. А. Тэнсли последовательно развивает взгляд на экосистему как на образование надорганизменного уровня, включающее не только организмы, но и весь комплекс физических факторов местообитания. Он обратил внимание на невозможность отделения организмов от окружающей их среды, вместе с которой они образуют одну систему - экосистему. А. Тэнсли понимал под экосистемами целостные подсистемы природы, в которых как организмы, так и неорганические факторы находятся в относительно устойчивом состоянии. Такая система ограничена определенным участком территории природной среды, который он назвал экотопом (гр. *oikos* - дом, *topos* - место).

В отечественной научной литературе представления об экосистемах появились в 1942 г. в работах В. Н. Сукачева, который обобщил их в учении о биогеоценозе (синоним термина экосистема). В этом учении нашли отражение идеи о единстве организмов с физическим окружением, о закономерностях, которые лежат в основе таких связей, об обмене веществами и энергией между ними.

Середина XX века была отмечена расширением комплексных исследований экосистем (В. И. Жадин, Г. Г. Винберг, Р. Линдеман, Г. Одум и Ю. Одум, Р. Маргалеф и многие другие). В 1964 г. коллективом авторов под руководством В. Н. Сукачева была опубликована книга «Основы лесной биоценологии». В ней сделана попытка путем синтеза информации раскрыть количественные закономерности функционирования и эволюции такой сложной динамической системы, как лесной биогеоценоз. Однако эффективная реализация методологии системного подхода к изучению экосистем стала возможной лишь в конце 60-х годов, когда в распоряжение экологов поступили мощные ЭВМ и были разработаны методы моделирования динамических систем, которые в совокупности с экспериментами и наблюдениями получили название системного анализа. Развитие целостного взгляда на экосистемы привело к возрождению на новой экологической основе учения о биосфере, принадлежащего В. И. Вернадскому, который в своих идеях опередил современную ему науку. Биосфера предстала как глобальная экосистема, стабильность и функционирование которой определяются фундаментальными экологическими законами баланса вещества и энергии.

Успехи в изучении и моделировании экосистем, особенно реализация проектов в рамках международного сотрудничества, способствовали окончательному утверждению в 70-х годах второй половины XX столетия экосистемной концепции как основы современной экологии.

1.3. Современная экология В последние два десятилетия изменился взгляд на экологию как на сугубо естественную науку. Уже с начала века в экологии прослеживались два направления. Представители одного из них - антропоцентрического - рассматривают человеческое сообщество как новое царство, наряду с царствами минералов, растений и животных. Представители другого - биоцентрического - включают *Homo sapiens* (Человека разумного) с его деятельностью в сферу интересов общей экологии. Они считают, что человек - млекопитающее, подчиняющееся законам природы, и его развитие идет параллельно с развитием других организмов.

Людам не следует забывать о том, что, получив неограниченную власть над природой, они сами являются ее скромной частичкой. Основные законы природы не потеряли своей силы с ростом численности населения, с огромным увеличением масштабов потребления энергии и невиданным ранее научно-техническим прогрессом, которые чрезвычайно расширили человеческие возможности воздействия на окружающую среду. Изменилось лишь относительное значение этих законов, усложнилась их зависимость от человека. Цивилизация по-прежнему продолжает зависеть от природы, и не только от энергетических и материальных ресурсов, но и от таких жизненно важных процессов, как, например, круговороты воздуха и воды.

Рост общественного интереса оказал глубокое влияние на академическую экологию. До 1970 г. на нее смотрели, главным образом, как на один из разделов биологии. Хотя и сейчас экология уходит своими корнями в биологию, она вышла за ее рамки, переросла в новую интегрированную дисциплину, образующую мост между естественными, техническими и общественными науками. В некоторых крупных университетах развитых стран введены междисциплинарные квалификационные степени по экологии. Все большее признание приобретают взгляды на экологию как на науку об экосистемах, и не только природных, но и созданных человеком. Основным практическим результатом развития экосистемной концепции явилось осознание необходимости перестраивать экономику в соответствии с экологическими законами.

Современная экология не только изучает законы функционирования природных и антропогенных систем, но и ищет оптимальные формы взаимоотношения природы и человеческого сообщества.

Растет социальная роль экологических знаний. Отсюда следует: современная экология должна соприкасаться с такими дисциплинами, как право, экономика, социология, политология, философия, и владеть всеми инструментами, которые дают в ее руки техника и математика.

Эта точка зрения стала доминантной в современном обществе, которое осознало опасность экологического кризиса, катастрофических преобразований планетарной системы. Предотвращение разрушения биосферы возможно только на основе экологических знаний, которые помогают рационально эксплуатировать природные ресурсы, управлять естественными, аграрными, техногенными и социальными системами. «И нет силы на Земле, - писал В. И. Вернадский (1940), - которая могла бы удержать человеческий Разум в его устремлении». Он верил, что течение событий будущего может быть определено волей и разумом человека,

планета вступит в НОВЫЙ Этап ЭВОЛЮЦИИ - ноосферу (гр. noos - разум, sphaira - область) - эру, управляемую человеческим разумом, гарантирующим прогрессивное развитие на основе экологически грамотного использования и приумножения природных ресурсов. «Все человечество, взятое вместе, представляет ничтожную долю массы планеты. Мощь его связана не с материей, а с его мозгом. В истории биосферы перед человечеством открывается огромное будущее, если оно не будет употреблять свой разум и труд на самоистребление» (цит. по В. И. Вернадскому. М., 1994).

Основная задача современной экологии - найти пути управления природными, антропогенными системами, человеческим обществом и биосферой в целом в соответствии с законами природы, а не вопреки им, найти гармонию между экономическими и экологическими интересами человека.

Экология - наука будущего и, возможно, существование жизни на планете будет зависеть от ее прогресса. В историческом состязании побеждает тот, кто следует законам природы.

Подводя итог, можно отметить, что в истории становления экологии как самостоятельной науки выделяются несколько этапов.

Древняя цивилизация вплоть до эпохи Возрождения - период накопления эмпирических знаний о природе.

XVIII столетие характеризуется прогрессирующими наблюдениями натуралистов и осмысливанием влияния природных факторов на развитие и эволюцию живых организмов.

XIX век ознаменован учением Ч. Дарвина о происхождении видов, указавшим на взаимозависимость и взаимовлияние всех форм живой и неживой природы. На фундаменте учения об эволюции живых организмов Э. Геккель возвел здание новой науки - экологии, изучающей все взаимосвязи в природе. Эта наука стала быстро развиваться усилиями многих зарубежных и русских ученых, находивших все новые и новые доказательства единства «мертвой» и «живой» природы. Введены термины биоценоз и биотоп. В рамках биологии оформляются различные экологические школы. Однако человек с его духовным миром как бы отделен от растительного, животного и минерального царства. Представления о целостности живых организмов и условий среды еще не стали господствующей системой взглядов.

Начало XX столетия - В. И. Вернадский впервые убедительно раскрыл огромное обратное влияние «живого вещества» на «косную» природу и формирование «биокосных природных тел». А. Тэнсли ввел термин экосистема для обозначения целостных функциональных систем надорганизменного уровня. Он указал на невозможность отделения организмов от окружающей среды. Расширяются комплексные исследования экосистем. Появляются новые направления - аутэкология, синэкология, популяционная экология.

Вторая половина XX столетия характеризуется озабоченностью мирового сообщества угрозой экологического кризиса, обусловленного неразумной властью человека над природой. Осознана роль человека как части природы и зависимость его от ресурсов планеты и природных процессов. Возрастает интерес всех слоев

общества к экологии. Развитие науки и техники дает в руки людей инструменты, позволяющие изучать экосистемы и биосферу в целом. Развивается системный анализ как методологическая основа экологии. Экология выходит за рамки биологии, превращаясь в интегрированную науку, наводящую мосты между естественными, техническими и общественными дисциплинами, исследует общие закономерности, справедливые как для природы, так и для общества.

Лекция 2

2.1. Предмет экологии Определить предмет экологии удобно, исходя из концепции об уровнях организации живой материи и иерархии биологических систем, расположенных от низших к высшим по «служебной лестнице» жизни.

Биосистемы - это биологические системы, в которых биотические компоненты разных уровней организации (от генов до сообществ) упорядоченно взаимодействуют с окружающей физической средой, т. е. абиотическими компонентами (энергией и веществом), составляя с ней единое целое.

Согласно современным представлениям на «лестнице жизни» выделяют шесть ступенек, которые гипотетически могут быть продолжены в обе стороны (рис. 2.1).

Системы, которые расположены выше уровня организмов: популяционные системы, экосистемы, биосферу - изучает экология.

Популяция - это совокупность разновозрастных особей одного вида, обменивающихся генетической информацией, объединенных общими условиями существования, необходимыми для поддержания численности в течение длительного времени: общность ареала, происхождения, свободное скрещивание и др.

Популяция характеризуется рядом признаков, носителями которых является группа, но не отдельные особи: плотность, рождаемость, смертность, возрастная структура, распределение в пространстве, кривая роста и др. Кроме «групповых свойств», популяции обладают и «биологическими свойствами», присущими как популяции, так и входящим в нее организмам. Одной из самых важных характеристик популяции является ее возрастная структура, влияющая как на рождаемость, так и на смертность. В быстрорастущих популяциях значительную долю составляют молодые особи; в популяциях, находящихся в стабильном состоянии, возрастное распределение относительно равномерно, а в отмирающих популяциях молодые особи составляют меньшую долю от общей численности популяции. В экосистемах популяции образуют сообщества - биоценозы.

Биоценоз - это совокупность популяций, которая функционирует в определенном пространстве абиотической среды - биотопе. Структура биоценоза сформирована потоком энергии и круговоротом веществ в экосистеме. Биоценоз и биотоп функционируют как единое целое.

Экосистема - это надорганизменная система, в которой биотический компонент представлен биоценозом, а абиотический - биотопом.

Биосфера (или экосфера) - это сумма экосистем, включающая все живые организмы, взаимосвязанные с физической средой Земли.

Следовательно, предметом экологии являются системы надорганизменного уровня - популяционные, экологические экосистемы) и биосфера.

Иерархическая организованность биосистем иллюстрирует непрерывность и дискретность эволюции жизни. Развитие - процесс непрерывный, но и дискретный, поскольку изменения проходят через ряд отдельных уровней организации. Деление иерархии на ступени условно, так как каждый уровень «интегрирован», т. е. взаимосвязан с соседними уровнями в функциональном смысле. Например, гены не могут функционировать в природе вне клетки, клетки многоклеточных - вне органов, органы - вне организма и т. д. Сообщество не может существовать, если в нем не происходит круговорот веществ и не поступает энергия извне. Экосистема не жизнеспособна без взаимосвязи с популяционными системами и биосферой в целом. По тем же причинам и человеческая цивилизация не может существовать вне мира природы.

Принцип эмерджентности. Самое важное следствие иерархической организации живой природы состоит в том, что по мере объединения подсистем в более крупные функциональные единицы у этих новых систем возникают уникальные свойства, которых не было на предыдущем уровне. В экологии эти качественно

Новые свойства называют эмерджентными (англ. emergent - неожиданно появляющийся). Эти свойства нельзя предсказать на основании свойств подсистем низшего порядка, составляющих систему следующего, более высокого уровня организации.

Суть принципа эмерджентности заключается в том, что биологические системы обладают свойствами, которые нельзя свести к сумме свойств составляющих их подсистем.

Хотя данные, полученные при изучении какого-либо уровня, и помогают раскрыть закономерности функционирования следующего уровня, с их помощью никогда нельзя полностью объяснить явления, происходящие в более высокоорганизованной системе. Эмерджентные свойства возникают в результате взаимодействия компонентов экосистемы, свойства которых не изменяются, а интегрируются, обуславливая появление уникальных новых свойств целого. При каждом объединении подмножеств в новое множество возникает, по крайней мере, одно новое свойство.

Для иллюстрации эмерджентных свойств можно привести пример из химии. Водород и кислород, соединяясь в определенном соотношении, образуют воду - жидкость, совершенно непохожую ни на водород, ни на кислород, свойства которой невозможно предсказать, исходя из свойств исходных газов. То же и в человеческом сообществе. Психология толпы не есть сумма психологических портретов отдельных людей. Поведение человека вне толпы отличается от его поведения в окружении массы людей, которое часто непредсказуемо.

По мере продвижения систем по иерархии уровней организации некоторые признаки становятся более сложными и изменчивыми, другие часто, наоборот, - менее сложными и менее изменчивыми, поскольку на всех уровнях действуют механизмы, которые корректируют и уравнивают противодействующие процессы и силы. Амплитуда изменения свойств при этом имеет тенденцию уменьшаться. Статистический разброс значений характеристик целого обычно меньше суммы разброса этих значений в отдельных частях системы. Например, скорость сродосинтеза лесного сообщества менее изменчива, чем скорость фотосинтеза отдельных листьев или деревьев. Объясняется это

тем, что если в одной части леса фотосинтез снижается, то в другой возможно его усиление.

Американский эколог Ю. Одум (1986) писал: «Хорошо известный принцип несводимости свойств целого к сумме свойств его частей должен служить первой рабочей заповедью экологов». Далее он говорил о том, что если учесть эмерджентные свойства высокоорганизованных систем и усиление компенсационных механизмов на каждом уровне, то станет ясно, что для изучения целого не всегда обязательно знать все его составляющие. Это важно, поскольку некоторые исследователи считают, что не имеет смысла изучать сложные сообщества, не изучив досконально составляющие их компоненты.

Хотя философия науки всегда стремилась рассматривать явления в их целостности, т. е. быть холистической (гр. *hobs* - весь, целый), практика науки последние годы была редуccionистской

В истории науки эти способы мышления часто сменяли друг друга. Редуccionистский подход, преобладавший со времен И. Ньютона (1643 - 1727), дал много полезного. Например, проблемы рака невозможно решить без исследований на клеточном и молекулярном уровнях.

Однако, чтобы сохранить цивилизацию, исследований на уровне клетки и даже организма недостаточно. Чтобы найти решение таких проблем, как демографический взрыв, социальные беспорядки или загрязнение биосферы, необходимо изучать высшие уровни организации и законы функционирования систем. Редуccionистский и холистический подходы следует использовать в равной мере, не противопоставляя их друг другу, и в соответствии с поставленными задачами. В настоящее время все более и более возрождается холистический подход, что в какой-то мере связано также с разочарованием общества в ученом - узком специалисте, не способном переключиться на решение крупномасштабных проблем. Современная наука стремится к синтезу, а не разделению явлений.

2.2. Состав и структура. Для решения экологических проблем глобального уровня прежде всего нужно изучить экосистемный уровень организации жизни. Термин экосистема, как упоминалось, был предложен в 1935 г. английским экологом А. Тэнсли. Сторонники системного подхода для обозначения природных комплексов использовали и другие термины: биокосное тело (В. И. Вернадский, 1944), геобиоценоз (В. Н. Сукачев, 1944), холон (А. Костлер, 1969) и др. Только в конце XX века, когда была разработана общая теория систем, утверждается термин экосистема.

■ Состав экосистемы представлен двумя группами компонентов: абиотическими - компонентами неживой природы и биотическими - компонентами живой природы.

Абиотические компоненты - это следующие основные элементы неживой природы:

- неорганические вещества и химические элементы, участвующие в обмене веществ между живой и мертвой материей (диоксид углерода, вода, кислород, кальций, магний, калий, натрий, железо, азот, фосфор, сера, хлор и др.);

- органические вещества, связывающие абиотическую и биотическую части экосистем (углеводы, жиры, аминокислоты, белки, гуминовые вещества и др.);

- воздушная, водная или твердая среда обитания;

- климатический режим и др.

Биотические компоненты состоят из трех функциональных групп организмов.

Первая группа организмов - продуценты (лат. *producens* - создающий, производящий), или автотрофные организмы (гр. *autos* - сам, *trophe* - пища). Они подразделяются на фото- и хемоавтотрофов.

Фотоавтотрофы используют в качестве источника энергии солнечный свет, а в качестве питательного материала - неорганические вещества, в основном углекислый газ и воду. К этой группе организмов относятся все зеленые растения и некоторые бактерии. В процессе жизнедеятельности они синтезируют на

свету органические вещества - углеводы, или сахара.

Хемоавтотрофы используют энергию, выделяющуюся при химических реакциях. К этой группе принадлежат, например, нитрифицирующие бактерии, окисляющие аммиак до азотистой и затем азотной кислоты.

Химическая энергия (Q), выделенная при этих реакциях, используется бактериями для восстановления CO_2 до углеводов.

Главная роль в синтезе органических веществ принадлежит зеленым растительным организмам. Роль хемосинтезирующих бактерий в этом процессе относительно невелика. Каждый год фотосинтезирующими организмами на Земле создается около 150 млрд т органического вещества, аккумулирующего солнечную энергию.

Вторая группа организмов - консументы (лат. *consume* - потреблять), или гетеротрофные организмы (гр. *heteros* - другой, *trophe* - пища), осуществляют процесс разложения органических веществ.

Эти организмы используют органические вещества в качестве источника и питательного материала, и энергии. Их делят на фаготрофов (гр. *phagos* - пожирающий) и сапротрофов (гр. *sapros* - гнилой).

Фаготрофы питаются непосредственно растительными или животными организмами. К ним относятся в основном крупные животные - макроконсументы.

Сапротрофы используют для питания органические вещества мертвых остатков.

Третья группа организмов - редуценты (лат. *reducens* - возвращающий). Они участвуют в последней стадии разложения - минерализации органических веществ до неорганических соединений (CO_2 , H_2O и др.). Редуценты возвращают вещества в круговорот, превращая их в формы, доступные для продуцентов. К редуцентам относятся главным образом микроскопические организмы (бактерии, грибы и др.) - микроконсументы.

Роль редуцентов в круговороте веществ чрезвычайно велика. Без редуцентов в биосфере накапливались бы груды органических остатков; иссякли бы запасы минеральных веществ, необходимых продуцентам, и жизнь в той форме, которую мы знаем, прекратилась бы.

Функционирование экосистемы обеспечивается взаимодействием трех основных составляющих: сообщества, потока энергии и круговорота веществ.

Все экосистемы в составе биосферы являются открытыми, они должны получать энергию, вещества и организмы из среды на входе и отдавать их в среду на выходе экосистемы.

Часто экосистему выделяют внутри естественных границ. Например, границей озера служит береговая линия, а границами города - административные границы. Но эти границы могут быть и условными. Экосистема не может быть герметичной, так как ее живое сообщество не вынесло бы такого заключения.

■ Пространственная структура экосистем обусловлена тем, что автотрофные и гетеротрофные процессы обычно разделены в пространстве. Первые активно протекают в верхних слоях, где доступен солнечный свет, а вторые интенсивнее в нижних слоях (почвах, донных отложениях). Кроме того, эти процессы разделены и во времени, поскольку существует временной разрыв между образованием органических веществ растениями и разложением их консументами.

Например, в пологе леса лишь небольшая часть зеленой массы немедленно используется животными, паразитами и насекомыми. Большая часть образованного материала (листья, древесина, семена, корневища и др.) не потребляется сразу и переходит в почву или в донные осадки. Могут пройти недели, месяцы, годы или даже тысячелетия (ископаемые виды топлива), прежде чем накопленное органическое вещество будет использовано.

Следовательно, с точки зрения пространственной структуры, в природных экосистемах можно выделить два яруса: верхний, автотрофный ярус, или «зеленый пояс» Земли, который включает растения или их части, содержащие хлорофилл; здесь преобладают фиксация света, использование простых неорганических соединений и накопление солнечной энергии в сложных фотосинтезируемых веществах; нижний, гетеротрофный ярус, или «коричневый пояс» Земли, представлен почвами и донными осадками, в которых преобладают процессы разложения мертвых органических остатков растений и животных.

Живые и неживые компоненты экосистем так тесно переплетены друг с другом в единый комплекс, что разделить их крайне трудно. Большая часть биогенных элементов и органических соединений встречается как внутри, так и вне живых организмов и образует постоянный поток между живым и неживым. Хотя некоторые вещества могут принадлежать только одному из этих состояний. Например, АТФ-азы (аденозинтрифосфатазы) встречаются только в живых клетках, ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) и хлорофилл не функционируют вне живых клеток, а гумус никогда не встречается в организмах.

Это еще раз подтверждает необходимость использования при изучении экосистем двух подходов: холистического и мерологического (гр. *meros* - часть). Первый предполагает измерение входов и выходов экосистемы (энергии, веществ, организмов), оценку эмерджентных свойств целого, затем, в случае необходимости, -изучение ее составных частей. При мерологическом подходе изучаются свойства отдельных организмов и частей экосистемы.

Практически тот или иной подход зависит от цели исследования и степени взаимосвязанности компонентов. При сильных взаимосвязях качественно новые (эмерджентные) свойства проявятся только на уровне целого. При мерологическом подходе эти свойства могут быть упущены. Но главное в том, что одни и те же организмы в разных системах могут вести себя совершенно по-разному, так как взаимодействуют с другими компонентами. Например, многие насекомые в агроэкосистемах - опасные

вредители, а в естественных местообитаниях они не опасны, так как их численность контролируют конкуренты, хищники, паразиты, химические ингибиторы и т. п.

2.3. Свойства и функции экосистем Наиболее важные свойства экосистем являются следствием иерархической организации уровней жизни. Как было сказано выше, по мере объединения подмножеств в более крупные у образующихся систем возникают качественно новые эмерджентные свойства, отсутствующие на предыдущем уровне. Таким образом, экосистема обладает не только суммой свойств входящих в нее подсистем, но характеризуется и собственными, присущими только ей свойствами.

■ Взаимодействие автотрофных и гетеротрофных процессов является наиболее важной функцией любых экосистем. В течение значительного геологического периода, начиная приблизительно с кембрия (600 млн - 1 млрд лет назад), небольшая, но заметная часть синтезируемого органического вещества не расходовалась, а сохранялась и накапливалась в осадках. Именно преобладание скорости синтеза над скоростью разложения органических веществ и явилось причиной уменьшения содержания углекислого газа и накопления кислорода в атмосфере.

Это подтверждает хотя бы тот факт, что состав атмосферы Земли резко отличается от условий на других планетах Солнечной системы. Согласно гипотезе Геи, предложенной Дж. Лавлоком (1979), состав атмосферы «Земли без жизни» приближался бы к составу атмосферы на Марсе или Венере.

Таким образом, именно зеленые организмы сыграли основную роль в формировании геохимической среды Земли, благоприятной для существования всех других организмов.

Значительное накопившееся количество кислорода сделало возможными появление и эволюцию высших форм жизни. Примерно 300 млн лет назад отмечался особенно большой избыток органической продукции, что привело к образованию горючих ископаемых. За счет накоплений этой энергии позже человек смог совершить промышленную революцию. За последние 60 млн лет в атмосфере выработалось флуктуирующее, но относительно постоянное соотношение кислорода (21 %) и углекислого газа (0,03 %).

Установившееся соотношение скоростей автотрофных и гетеротрофных процессов может служить одной из главных функциональных характеристик экосистем.

Отношение концентраций CO_2 и O_2 отражает соотношение скоростей этих процессов в экосистемах, т. е. соотношение аккумулированной продуцентами и рассеянной консументами энергии. При этом в разных экосистемах баланс этих процессов может быть либо положительным, либо отрицательным. Существуют системы с преобладанием автотрофных процессов, т. е. с положительным биотическим балансом (тропический лес, мелкое озеро, агроэкосистема). В других - наоборот, преобладают гетеротрофные процессы, т. е. имеет место отрицательный баланс (горная река, город).

Большую озабоченность должна вызывать деятельность человека, который значительно, хотя и ненамеренно, ускоряет процессы разложения, сжигая органическое вещество, накопленное в горючих ископаемых, ведя интенсивное сельское хозяйство, ускоряющее разложение гумуса; уничтожая леса и сжигая древесину. В воздух выбрасывается большое количество CO_2 , до этого связанного в угле, нефти, торфе, древесине, гумусе почв.

Соотношение CO_2 и O_2 в атмосфере характеризует баланс автотрофных и гетеротрофных процессов в биосфере в целом.

Установившееся равновесие автотрофных и гетеротрофных процессов на Земле поддерживается благодаря способности экосистем и биосферы к саморегуляции.

В Саморегуляция экосистем обеспечивается внутренними механизмами, устойчивыми интегративными связями между их компонентами, трофическими и энергетическими взаимоотношениями.

Сообщество организмов и физическая среда развиваются и функционируют как единое целое» Об этом прежде всего свидетельствует состав атмосферы Земли с уникально высоким содержанием кислорода. Умеренные температуры и благоприятные для жизни условия кислотности также были обеспечены ранними формами жизни. Координированное взаимодействие растений и микроорганизмов сглаживало колебания физических факторов. Например, NH_3 , выделяемый организмами, поддерживает в воде, почвах и осадках величину рН, необходимую для их жизнедеятельности. Без этого значения рН могли бы стать такими низкими, что организмы не выжили бы в этих условиях.

Экосистемы имеют кибернетическую природу и характеризуются развитыми информационными сетями, состоящими из потоков физических и химических сигналов, связывающих все их части в единое целое. Эти потоки управляют системой.

Кибернетическую природу экосистем труднее выявить (что порождает споры об их способности к саморегуляции), потому что компоненты в них связаны в информационные сети не непосредственно, а физическими и химическими «посредниками», подобно тому как гормоны гормональной системы связывают в одно целое части организма. При этом «энергия связи» в экосистемах рассеивается и слабеет с увеличением пространственных и временных параметров. Г. Одум (1971) назвал их «невидимыми проводами природы».

Низкоэнергетические сигналы, вызывающие высокоэнергетические реакции, очень распространены в природе. Например, каждый год миллионы людей и животных гибнут от различных инфекций в результате заражения микроскопическими паразитами, которые составляют малую долю от общего потока энергии в экосистеме (0,01 - 0,1 %). То же в растительных сообществах: очень мелкие паразитические насекомые (низкоэнергетические сигналы) могут оказывать очень сильное управляющее воздействие на общий поток энергии, резко снижая продукцию органических веществ в растениях.

Управление основано на обратной связи, когда часть сигналов с выхода поступает на вход. Это явление обычно отражают обратной петлей, через которую «стекающая вниз» во вторичную подсистему энергия вновь подается на первичную подсистему. При этом влияние этой части энергии на управление всей экосистемой гигантски усиливается.

Если обратная связь положительна, то значение выхода управляемой системы возрастает. Положительная обратная связь усиливает положительные отклонения и в значительной степени определяет рост и выживание организмов, хотя может приводить и к «расшатыванию» системы и нарушению равновесия. Для того чтобы осуществлять контроль, необходима отрицательная обратная связь, которая помогает, например,

избегать перегрева, перепроизводства или перенаселения. Отрицательная обратная связь уменьшает отклонения на входе. Устройства для управления с помощью обратной связи в технике называют сервомеханизмами. Для живых систем используют термин гомеостатические механизмы,

В экосистемах в результате взаимодействия круговорота веществ, потоков энергии и сигналов обратной связи от subsystemов возникает саморегулирующийся гомеостаз без регуляции извне из «постоянной точки». В число управляющих механизмов на уровне экосистемы входят, например, такие subsystemы, как микробное население, регулирующее накопление и высвобождение биогенных элементов.Subsystem «хищник - жертва» (волки - зайцы) также регулирует плотность популяций и хищника, и жертвы. Действуют и многие другие механизмы.

В отличие от созданных человеком кибернетически* устройств, управляющие функции экосистемы диффузны и находятся внутри ее, а не направлены извне.

Для поддержания гомеостаза в природе не требуется внешнее управление .

Гомеостатические механизмы функционируют в определенных пределах, при превышении которых неограничиваемые положительные обратные связи могут приводить к гибели экосистемы. Так, повышение урожайности в сельском хозяйстве часто связывают с количеством вносимых удобрений. Если их вносить слишком много, то система гомеостаза выходит за предел действия отрицательной обратной связи, а в агроценозе начинаются необратимые разрушительные изменения. Например, увлечение удобрениями привело в итоге к истощению, эрозии и засолению многих хлопковых полей в Средней Азии.

Равновесие в экосистемах обеспечивается избыточностью организмов, выполняющих одинаковые функции. Например, если в сообществе имеется несколько видов растений, каждое из которых развивается в своем температурном диапазоне, то скорость фотосинтеза экосистемы в течение длительного времени может оставаться почти неизменной.

При возрастании стресса система может оказаться неспособной возвратиться на прежний уровень, хотя и остается управляемой. Для экосистем возможно не одно, а несколько состояний равновесия. После стрессовых воздействий они часто возвращаются в другое, новое, состояние равновесия.

Кроме рассмотренных, имеют место и многие другие механизмы, обеспечивающие гомеостаз и стабильность экосистем.

Так, способность популяции адаптироваться к новым условиям среды зависит от степени гетерозиготности (гр. *zygotos* - слияние), т. е. генетического процесса слияния разнокачественных хромосом мужских и женских клеток. Конкуренция - тоже пример одного из механизмов гомеостаза.

Сложность понимания гомеостаза и стабильности связана также со смысловым значением терминов, которые по-разному понимаются различными специалистами. На практике инженеры, экономисты, социологи, политики, экологи могут вкладывать разный смысл в термин «стабильность», особенно при попытках оценить меру стабильности и выразить ее количественно.

Стабильность экосистем в экологии означает свойство любой системы возвращаться в исходное состояние после того, как она была выведена из состояния равновесия.

Стабильность определяется устойчивостью экосистем к внешним воздействиям. Выделяют два типа устойчивости: резистентную и упругую.

Упругая устойчивость - способность системы быстро восстанавливаться после нарушения структуры и функции.

Например, калифорнийский лес из секвойи устойчив к пожарам (высокая резистентная устойчивость), но если сгорит, то восстанавливается очень медленно или вообще не восстанавливается (низкая упругая устойчивость). А заросли вереска очень легко выгорают (низкая резистентная устойчивость), но быстро восстанавливаются (высокая упругая устойчивость).

Человек - самое могущественное существо, способное изменять функционирование экосистем. Человеческий мозг до сих пор опирался в основном на положительную обратную связь, управляя природой и властвуя над ней. Это привело к развитию техники и росту эксплуатации ресурсов. Но этот процесс в конце концов приведет к снижению качества человеческой жизни и разрушению окружающей среды, если не будут найдены пути адекватного управления с помощью отрицательной обратной связи.

Человек относится к гетеротрофам; несмотря на все совершенство техники, он нуждается в ресурсах жизнеобеспечения, т. е. воздухе, воде, пище, различных видах энергии. Существование человека возможно только при сохранении регулирующих механизмов, которые позволяют биосфере приспособиться к некоторым антропогенным воздействиям. Стремясь снизить уровень загрязнения окружающей его среды, человек должен в равной степени стремиться к сохранению механизмов саморегуляции, поддерживающих естественные системы жизнеобеспечения планеты, т. е. к сохранению установившегося в природе экологического равновесия. Последнее не всегда достигается только снижением уровня загрязнения и экономным использованием природных ресурсов.

2.4. Образование и разложение органических веществ. Рассмотрим подробнее процессы аккумуляции солнечной энергии при образовании органических веществ и рассеивании ее при разрушении этих веществ.

Жизнь на Земле зависит от потока энергии, образующейся в результате термоядерных реакций, идущих в недрах Солнца. Около 1 % солнечной энергии, достигающей Земли, преобразуется клетками растений (и некоторых бактерий) в химическую энергию синтезированных углеводов.

■ Образование органических веществ на свету

Называется фотосинтезом (гр. photos - свет, synthesis - соединение).

Фотосинтез есть накопление части солнечной энергии путем превращения ее в потенциальную энергию химических связей органических веществ.

Фотосинтез - необходимое связующее звено между живой и неживой природой. Нобелевский лауреат А. Сент-Дьердьи писал: «Жизнью движет слабый непрекращающийся поток солнечного света». Без притока энергии от Солнца жизнь на нашей планете, подчиняясь второму закону термодинамики, прекратилась бы навсегда.

Значение фотосинтеза не осознавалось до сравнительно недавнего времени. Аристотель и другие ученые древней Греции полагали, что растения добывают свою «пищу» из почвы. Около 350 лет назад голландский естествоиспытатель Ян Баптист ван Гельмонт (1579 - 1644) доказал, что не одна почва кормит растения. Он выращивал

дерево ивы в глиняном горшке, поливая его только водой. Через 5 лет масса дерева увеличилась на 74,4 кг, а масса почвы уменьшилась только на 57 г. Гельмонт решил, что все вещества растения образуются из воды.

В конце XVIII столетия английский ученый Джозеф Пристли (1733 - 1804) открыл, что растения «исправляют» воздух. В закрытом сосуде свеча гасла, а после того как туда помещали веточку мяты, свеча вскоре снова могла гореть. Опыты Пристли впервые позволили логически объяснить, почему воздух на Земле остается «чистым», несмотря на горение бесчисленных огней и дыхание множества животных, выделяющих CO_2 . Когда ученого награждали за открытие, он произнес: «Растения произрастают не напрасно, а очищают и облагораживают нашу атмосферу». А в 1796 г. голландский врач Ян Ингенхауз (1730 - 1799) обнаружил, что воздух «исправляется» только на солнечном свете и только зелеными частями растений.

Разложение органических веществ происходит в процессе метаболизма (гр. *metabol* - изменение) в живых клетках.

Метаболизм - это совокупность биохимических реакций и превращений энергии в живых клетках, сопровождающихся обменом веществ между организмами и средой.

Сумма реакций, ведущих к распаду или деградации молекул и выделению энергии, называется катаболизмом, а приводящих к образованию новых молекул - анаболизмом.

Превращения энергии в живых клетках осуществляются путем переноса электронов с одного уровня на другой или от одного атома или молекулы - к другим.

Энергия углеводов выделяется в метаболических процессах при дыхании организмов.

Дыхание - это процесс, в результате которого энергия, выделенная при распаде углеводов, передается на универсальную энергонесущую молекулу аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), где она хранится в виде высокоэнергетических фосфатных связей.

Так, например, при разложении 1 моля глюкозы выделяется 686 ккал свободной энергии ($1 \text{ ккал} = 4,187 \cdot 10^3 \text{ Дж}$). Если бы эта энергия выделялась быстро, то большая часть ее рассеялась бы в виде теплоты. Это не принесло бы пользы клетке, а привело бы к губельному для нее увеличению температуры. Но в живых системах есть сложные механизмы, которые регулируют многочисленные химические реакции таким образом, что энергия хранится в химических связях и затем может выделяться постепенно, по мере необходимости.

У млекопитающих, птиц и некоторых других позвоночных теплота, выделяемая при дыхании, тем или иным путем сохраняется, и поэтому температура их тела, как правило, выше температуры окружающей среды. У растений скорость дыхания невелика, поэтому выделяемая теплота обычно не влияет на температуру растений.

Дыхание может происходить как в аэробных, т. е. в присутствии кислорода, так и в анаэробных - бескислородных условиях.

Аэробное дыхание - процесс, обратный нормальному фотосинтезу, т. е. синтезированное органическое вещество ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) вновь разлагается с образованием CO_2 и H_2O и высвобождением потенциальной энергии $Q_{\text{пог}}$, аккумулированной в этом веществе.

Однако в отсутствие кислорода процесс может идти не до конца. В результате такого незавершенного дыхания образуются органические вещества, еще содержащие

некоторое количество энергии, которая в дальнейшем может быть использована другими организмами при других типах дыхания.

Анаэробное дыхание протекает без участия газообразного кислорода.

Бескислородное дыхание служит основой жизнедеятельности многих сапротрофов (бактерий, дрожжей, плесневых грибов, простейших), но может встречаться и в тканях высших животных.

Брожение - это анаэробное дыхание, при котором органическое вещество само служит акцептором электронов:

Разложение может быть результатом не только биотических, но и абиотических процессов. Так, например, степные и лесные пожары возвращают большое количество CO_2 и других газов в атмосферу и минеральных веществ в почву. Они - важный и иногда даже необходимый процесс в экосистемах, где физические условия таковы, что микроорганизмы не успевают разлагать образующиеся органические остатки.

Но окончательное разложение отмерших растений и животных осуществляется, в основном, гетеротрофными микроорганизмами -редуцентами, примером которых являются широко распространенные в сточных и природных водах сапрофитные бактерии.

Разложение органических веществ есть результат добывания необходимых химических элементов и энергии организмами при преобразовании пищи внутри клеток их тела. Если бы вдруг эти процессы прекратились, то все биогенные элементы оказались бы связанными в мертвых остатках, а продолжение жизни стало бы невозможным. Комплекс разрушителей в биосфере состоит из огромного числа видов, которые, действуя последовательно, осуществляют распад органических веществ до минеральных. Процессы образования органических веществ и их распад называют также процессами продукции (лат. *productio* - создание,

производство) и деструкции (лат. *destrucio* - разрушение).

■ Продукционно-деструкционный баланс в биосфере в целом в современных условиях является положительным. Это обусловлено тем, что не все части отмерших растений и животных разрушаются с одинаковой скоростью. Жиры, сахара и белки разлагаются достаточно быстро, а древесина (клетчатка, лигнин), хитин, кости - очень медленно. Наиболее устойчивым промежуточным продуктом разложения органических веществ является гумус (лат. *humus* - почва, перегной), дальнейшая минерализация которого очень замедлена. Медленное разложение гумуса - одна из причин запаздывания деструкции по сравнению с продукцией. С точки зрения химии, гумусовые вещества представляют собой продукты конденсации соединений (фенолов, бензолов и др.) с продуктами распада белков и полисахаров. Для их расщепления, видимо, требуются специальные ферменты, которые часто отсутствуют у почвенных и водных сапротрофов.

Следует заметить, что многие токсичные вещества (гр. *toxicon* - яд), которые человек вводит в окружающую среду (гербициды, пестициды, промышленные отходы), являются также производными ароматического углеводорода бензола и из-за высокой устойчивости к разложению очень опасны.

В то же время органические вещества могут образовывать безвредные комплексные соединения с некоторыми токсичными веществами. Так, гумусовые вещества могут связывать в комплексы ионы тяжелых металлов и делать их нетоксичными, в отличие от солей тех же металлов. К счастью, большое

количество тяжелых металлов, содержащихся в промышленных отходах, блокируется органическими веществами, ослабляющими их токсическое влияние на организмы. Например, токсичность меди для водорослей коррелируется с концентрацией свободных ионов Cu^{2+} , а не с общим содержанием меди. А одно и то же количество меди оказывается менее ядовитым в прибрежных районах, чем в открытом море, где меньше органического вещества, которое могло бы связать металл в безвредные комплексы.

В итоге можно сказать, что разложение органических остатков - длительный, многоступенчатый и сложный процесс, контролирующий несколько важных функций экосистемы: возвращение элементов питания в круговорот и энергии - в систему; преобразование инертных веществ земной поверхности; образование безвредных комплексных соединений токсичных веществ; поддержание состава атмосферы, необходимого для жизни аэробов.

Для биосферы в целом важнейшее значение имеет отставание процессов разложения органических веществ от процессов синтеза их зелеными растениями. Именно это отставание обусловило накопление в недрах горючих ископаемых, а в атмосфере - кислорода.

Установившийся в биосфере положительный баланс продукцион-но-деструкционных процессов обеспечивает жизнь аэробных организмов, в том числе и человека.

2.5. Развитие экосистем. Наблюдения в природе показывают, что заброшенные поля или выжженный лес постепенно завоевываются многолетними дикими травами, затем кустарниками и, в конце концов, деревьями. Развитие экосистем во времени известно в экологии под названием экологических сукцессий (лат. *succesio* - преемственность, последовательность).

Экологическая сукцессия - это последовательная смена биоценозов, преемственно возникающих на одной и той же территории под воздействием природных или антропогенных факторов.

Некоторые сообщества остаются стабильными многие годы, другие быстро изменяются. Изменения происходят во всех экосистемах естественным или искусственным путем. Естественные изменения являются закономерными и управляются самим сообществом. Если сукцессионные изменения определяются в основном внутренними взаимодействиями, то говорят об аутогенной (гр. *autos* - сам), т. е. самопорождающейся сукцессии. Если изменения вызываются внешними силами на входе экосистемы (шторм, пожар, воздействие человека), то такую сукцессию называют аллогенной (гр. *alios* - яругой, иной), т. е. порожденной извне. Вырубка в лесу быстро заселяется окружающими деревьями; луг может смениться лесом. Аналогичные явления происходят в озерах, на скальных склонах, голых песчаниках, на улицах покинутых поселков и т. п. Процессы сукцессии непрерывно идут на всей планете.

Последовательные сообщества, сменяющие друг друга на данном пространстве, называются сериями или стадиями.

Сукцессия, начинающаяся на участке, прежде не занятом, называется первичной. Например, поселения лишайников на камнях: под действием выделений лишайников каменистый субстрат постепенно превращается в подобие почвы, где поселяются затем кустистые лишайники, зеленые мхи, травы, кустарники и т. д.

Если сообщество развивается на месте уже существовавшего, то говорят о вторичной сукцессии. Например, изменения, происходящие после раскорчевки или порубки леса, устройства пруда или водохранилища и т. п.

Скорость сукцессии различна. В историческом аспекте смена срауны и флоры по геологическим периодам есть не что иное, как экологические сукцессии. Они тесно связаны с геологическими и климатическими изменениями и эволюцией видов. Такие изменения происходят очень медленно. Для первичных сукцессии требуются сотни и тысячи лет. Вторичные протекают быстрее. Для восстановления растительной биомассы на месте вырубки, лесного пожара или покинутого сельскохозяйственного участка требуется от 30 -50 до 250 лет.

Автотрофная сукцессия - широко распространенное в природе явление, которое начинается в незаселенной среде: сформирование леса на брошенных землях или восстановление жизни после извержения вулканов и других природных катастроф. Она характеризуется длительным преобладанием автотрофных организмов.

Гетеротрофная сукцессия характеризуется преобладанием бактерий и встречается тогда, когда среда пересыщена органическими веществами. Например, в реке, загрязняемой сточными водами с большим содержанием органических веществ, или на очистных сооружениях. При гетеротрофных сукцессиях энергетические запасы могут постепенно исчезать, а из-за отсутствия автотрофного процесса климакс может не наступить; тогда после истощения энергетических запасов экосистема может исчезнуть (разрушающееся дерево).

Г. Т. Одум и Р. С. Пинкертон (1955) впервые указали на то, что сукцессии связаны с фундаментальным сдвигом энергии в сторону увеличения затрат на дыхание, по мере того как накапливаются органическое вещество и биомасса. Общая стратегия развития экосистем состоит в возрастании эффективности использования энергии и биогенных элементов, достижении максимального разнообразия видов и усложнении структуры системы.

Сукцессия - это направленное предсказуемое развитие экосистемы до установления равновесия между биотическим сообществом - биоценозом и абиотической средой - биотопом.

В процессе сукцессии популяции организмов функциональные связи между ними закономерно и обратимо сменяют друг друга.

Несмотря на то что экосистема не является, как уже отмечалось, «сверхорганизмом», между развитием экосистемы, популяции, организма, а также сообщества людей существует множество параллелей.

В отличие от сукцессии, эволюция экосистем представляет собой длительный процесс их исторического развития. Эволюционные процессы необратимы и ацикличны. По сути дела, эволюция экосистем -это история развития жизни на Земле от возникновения биосферы до наших дней.

В основе эволюции лежит естественный отбор на видовом или более низком уровне. Эволюция экосистем в какой-то степени повторяется в их сукцессионном развитии.

Если сравнить состав и структуру экосистем в ранние и поздние геологические эпохи, то также прослеживается тенденция увеличения видового

разнообразия, степени замкнутости биогеохимических циклов, равномерности распределения и сохранения ресурсов внутри системы, усложнения структуры сообществ и стремления к сбалансированному состоянию.

В хорошо сбалансированной экосистеме темпы эволюции замедляются. В такой системе эволюция встречает множество препятствий: сообщество плотно укомплектовано, связи между организмами и популяциями прочны - шансы проникнуть в такую систему извне очень малы, и ее эволюция несколько заторможена.

Биомы. Физико-химические и климатические условия в разных частях биооферы различны. Климатически обусловленные крупные совокупности экосистем называют биомами, или формациями.

Биом - это макросистема, совокупность экосистем, тесно связанных климатическими условиями, потоками энергии, круговоротом веществ, миграцией организмов и типом растительности. Биомы можно подразделить на три основные группы, приуроченные к наземным, морским и пресноводным местообитаниям. Формирование их зависит от макроклимата, а последний - от географической широты местности. Важными факторами являются: циркуляция воздуха, распределение солнечного света, сезонность климата, высота и ориентация гор, гидродинамика водных систем.

Наземные формации в основном определяются растительностью, так как растения теснейшим образом зависят от климата и именно они образуют основную часть биомассы.

Связь климата с географическим положением хорошо можно проследить на примере изменения температур. Среднегодовая температура на экваторе 26 °С, на широте 40⁰ - около 13 °С. Так же, как при движении от экватора на север (или юг), похолодание происходит и с увеличением высоты над уровнем моря. Растения, характерные для Арктики, могут встречаться и в высокогорьях (альпийская тундра, например). Сходную последовательность смены растительных сообществ можно наблюдать, проезжая тысячи километров от экватора на север или просто поднимаясь в горы.

Существуют биомы, занимающие промежуточное положение. Например, полувечнозеленый тропический лес с выраженными влажными и сухими сезонами. Границы между биомами чаще размыты и представляют широкие переходные зоны. Самый богатый по числу видов биом планеты - это вечнозеленый дождевой тропический лес.

Морские биомы в меньшей степени зависят от климата, чем наземные. Они сформированы в зависимости от глубины водоема и вертикального размещения организмов. Важнейшее значение имеет то, что фотосинтез возможен лишь в поверхностных горизонтах воды.

Прибрежное океаническое мелководье, ограниченное с одной стороны берегом, а с другой - гребнем континентального склона называется континентальным шельфом.

(англ. shelf- полка).

Площадь шельфа составляет около 8 % от общей площади мирового океана. В области шельфа расположена литоральная зона (лат. *littoralis* - прибрежный), которая, в свою очередь, подразделяется на супралитораль, собственно литораль и сублитораль. Небольшие глубины, близость к материкам, приливы и отливы определяют ее богатство

питательными веществами, высокую продуктивность и разнообразие организмов. Здесь производится около 80 % всей биомассы океана и сконцентрирован мировой океанический промысел.

От нижнего края шельфа над континентальным склоном до глубины 2 - 3 тыс. м простирается батимальная зона (гр. bathys - глубокий). Площадь этой зоны - чуть более 15 % от всей площади океана. По сравнению с литоралью фауна и флора батииали гораздо беднее; общая биомасса не превышает 10 % биомассы мирового океана.

От подножия континентального склона до глубин 6 - 7 тыс. м находится абиссальная область (гр. abysses - бездна) океана. Она занимает площадь более 75 % дна океана. Абиссаль характеризуется отсутствием солнечного света у дна, слабой подвижностью водных масс, ограниченностью питательных веществ, бедностью животного мира, низким видовым разнообразием, биомассой от 0,5 до 7,0 гм² (в литорали она исчисляется десятками и сотнями гм²). В абиссальной области могут встречаться глубокие впадины - до 11 тыс. м, площадь которых около 2 % от общей площади дна океана. Открытую часть океана часто называют «пустыней».

Пресные внутренние водоемы, как правило, неглубоки. Ведущим фактором в этих экосистемах становится скорость циркуляции воды. По этому признаку различают логические (лат. b/us - омывающий), текущие ВОДЫ (реки, ручьи) И лентические (лат. lente -медленно, спокойно), СТОЯЧИВ ВОДЫ (озера, пруды, лужи).

Крупные биомы земного шара отличаются стабильностью.

2.6. Примеры антропогенных экосистем. Проследим черты сходства антропо генных экосистем с природными и их отличия на некоторых примерах.

■ Город. Любой город, особенно промышленный, является гетеротрофной экосистемой, получающей энергию, пищу, воду и другие вещества с больших площадей, находящихся за его пределами. Город отличается от природных гетеротрофных систем, примером которых может служить устричная банка, целиком зависящая от поступления энергии с пищей с большой площади окружающей среды.

Существование индустриального города поддерживается колоссальным притоком энергии, при этом возникает и огромный отток в виде теплопродукции, промышленных и бытовых отходов. Однако

потребности 1 м² города в энергии примерно в 70 раз превышают потребности такой же площади устричной банки и составляют около 4000 ккалсут⁻¹, а в год - около 1,5 млн ккал.

Большинство городов имеет «зеленый пояс», т. е. автотрофный компонент: газоны, кустарники, деревья, пруды, озера и т. п. Но органическая продукция этого зеленого пояса не играет заметной роли в снабжении энергией механизмов и людей, населяющих город. Городские леса и парки представляют в основном лишь эстетическую и рекреационную ценность, смягчают колебания температуры, уменьшают загрязнения и шумовое воздействие, являются местом обитания птиц и мелких животных. Но труд и горячее, затрачиваемые на их содержание, увеличивают расходы на жизнь города. Ежегодные энергетические дотации для газона (труд, бензин, удобрения и т. п.) оцениваются приблизительно в 530 ккалм². Без огромных поступлений извне пищи, горючего, электричества и воды люди погибли бы или покинули город.

Хотя площадь суши, занятая городами, не так уж и велика (1 -5 %), но, воздействуя на свои обширные среды на входе и выходе, они изменяют водные пути, леса, поля,

атмосферу и океан. Город может влиять на удаленный лес не только непосредственно загрязнением воздуха или спросом на продукты леса и древесину, но и изменяя состав деревьев в нем. Например, спрос на бумагу оказывает экономическое давление: естественные леса, состоящие из деревьев разных пород и возраста, превращаются в плантации деревьев одного вида и возраста.

Гектар города потребляет приблизительно в тысячи раз больше энергии, чем такая же площадь сельской местности. Образующиеся в результате функционирования города тепло, пыль и другие вещества, загрязняющие воздух, заметно изменяют климат городов. В городах теплее, повышена облачность, меньше солнца, больше тумана, чем в прилегающей сельской местности. Строительство городов стало основной причиной эрозии почвы.

Размеры загрязнения среды на выходе города зависят от интенсивности его жизнедеятельности и степени технического развития. Отсутствие очистных сооружений для сточных вод и выбросов в атмосферу, переработки твердых отходов приводят к сильному воздействию на среду в окрестностях города в виде кислых дождей, бытовых и промышленных отбросов.

Город практически не производит пищу, только перерабатывает ее, не очищает воздух, почти не возвращает в круговорот воду и органические вещества и находится в симбиотических отношениях с окружающей местностью. Он производит и вывозит товары и услуги, деньги и культурные ценности, обогащая этим сельское окружение, также получая взамен услуги и пищу. Город не имеет «экологии», независимой от окружающей сельской местности. Изучать взаимодействия человека и среды только в застроенной части города - слишком узко.

Город можно рассматривать как экосистему только в том случае, если учитываются его обширные среды на входе и выходе. Одно из имеющихся, к сожалению, препятствий для такого разумного подхода - порочное административное разделение между городом и сельской местностью. Пока городские и областные лидеры не научатся ставить общие интересы выше частных, управление городом и областью как единой функциональной экологической системой не может быть реализовано.

Агроэкосистемы. В отличие от городов, существенную часть агроэкосистем составляют автотрофные компоненты, или «зеленый пояс». Агроэкосистемы отличаются от естественных экосистем (лес, луг, поляна), работающих только на энергии Солнца. Они получают дополнительную энергию в виде мышечных усилий человека и животных, удобрений, пестицидов, орошающей воды, горючего, механизмов, машин и т. п. Для максимизации выхода какого-либо одного продукта человек резко снижает разнообразие организмов. Виды растений и животных подвергаются искусственному, а не естественному отбору. Сельское хозяйство использует только 30 % свободной от льда суши планеты: около 10 % - пахотные земли и приблизительно 20 % - пастбища.

Условно агроэкосистемы можно разделить на два типа.

Агроэкосистемы доиндустриального периода используют дополнительную энергию в виде мышечных усилий человека и животных. Они поставляют продукты питания в основном для семьи фермера и частично на местный рынок.

Интенсивные механизированные агроэкосистемы получают энергетические дотации в виде горючего, химикатов, работы машин. Эти системы производят продукты

питания в основном на рынок; продукты питания превращаются в товар, играющий важную роль в экономике.

Доиндустриальные системы сельского хозяйства часто называют примитивными и направленными только на выживание. Тем не менее они бывают очень эффективными, если оценивать их по количеству произведенной пищи на единицу затраченной энергии. К тому же они часто хорошо гармонируют с природными экосистемами. Например, на огородах со смешанными культурами соотношение полученной и затраченной энергии может составлять 16:1. Напротив, многие механизированные агроэкосистемы потребляют часто не меньше энергии, чем возвращают в виде продуктов питания. Однако даже хорошо приспособленные доиндустриальные системы, эффективно использующие энергию, часто не могут производить достаточного количества избыточных продуктов питания, чтобы прокормить огромные города.

Таким образом, неиндустриализованное сельское хозяйство эффективно расходует энергию, но оно менее продуктивно (в пересчете количества продуктов на одного фермера). Как правило, такие агроэкосистемы дают меньший урожай на единицу площади, чем интенсивное механизированное сельское хозяйство. Но выигрывая в одном, человек проигрывает в другом - ничто не дается даром. Поскольку в развитых странах и интенсивность энергетических субсидий, и урожай, видимо, достигли максимума, повышение вкладов в сельское хозяйство может привести к уменьшению выхода продукции (отрицательная обратная связь). Поэтому в будущем следует ожидать изменений в сельскохозяйственной стратегии.

Космический корабль. Автономный космический корабль, предназначенный для длительных путешествий, представляет собой миниатюрную экосистему, включающую человека. Он должен иметь все жизненно важные абиотические вещества и средства для их регенерации и многократного использования. Все пилотируемые космические корабли в настоящее время снабжены модулями жизнеобеспечения запасающего типа: в них частично осуществляется регенерация воды и воздуха лишь физико-химическими методами. Рассматривалась (но была признана непригодной) возможность сочетания в одной системе людей, водорослей и бактерий. Для настоящих регенерационных экосистем, которые могли бы долгое время находиться в космосе, ничего не получая с Земли, потребовались бы крупные организмы, которые могли бы использоваться человеком в пищу, значительное видовое разнообразие их и большие емкости для воздуха и воды. В экосистему космического корабля пришлось бы включить также нечто подобное сельскохозяйственным или другим растительным сообществам.

Основная задача, которую предстоит решить, - это чем заменить буферную способность атмосферы и океана, благодаря которой стабилизируются и поддерживаются условия жизни в биосфере в целом.

Однако, по выводам Национального управления по аэронавтике США, на современном этапе развития невозможно создать безопасную и надежную закрытую экологическую систему жизнеобеспечения даже для использования ее на Земле. Создать миниатюрную модель биосферы, т. е. искусственную экосистему без притока и оттока вещества и энергии, с полной регенерацией отходов и регуляцией условий, для использования ее в космосе не только сложно, но и очень дорого, если учитывать количество горючих ископаемых, которое придется затратить на вывод в космос всех компонентов такой системы.

Лекция 3

3.1. Законы преобразования энергии. Энергия (гр. *energeia* - деятельность) - источник жизни, основа и средство управления всеми природными и общественными системами.

Энергия - одно из основных свойств материи - способность производить работу; в широком смысле - сила. Очевидно, что законы превращения энергии проявляются во всех процессах, происходящих в природе и обществе, включая экономику, культуру, науку и искусство. Энергия - движущая сила мироздания. Компонент энергии есть во всем: в материи, информации, произведениях искусства и человеческом духе.

Фундаментальные законы термодинамики имеют универсальное значение в природе. Любая естественная или искусственная система, не подчиняющаяся этим законам, обречена на гибель. Но для управления энергетическими процессами прежде всего необходимо понять роль энергии в экологических системах. Знание закономерностей энергетических потоков в природных экосистемах поможет предсказать будущее антропогенных систем. В конечном счете состояние экономики определяется соотношением между энергией, которую человек эффективно использует на данной территории, и количеством энергии, импортируемой извне. Если эксплуатация источников энергии происходит с той же интенсивностью, с какой обнаруживают новые источники, то формируется благополучное общество. Если энергетические траты превышают имеющиеся ресурсы, то это приводит к их истощению и кризису в экономике. Проекты, связанные с изменением окружающей среды, также необходимо оценивать с позиций энергоэффективности. Например, не всякая переработка отходов нужна, поскольку некоторое количество отходов является энергетическими ресурсами биосферы. Энергетический подход помогает определять, какой уровень жизни наиболее соответствует природным возможностям.

Ясно, что будущее зависит от объединения энергетики, экономики и экологии (трех «э») в единую систему взаимосвязанных явлений и процессов. Изучение таких систем требует системного и энергетического подхода, поскольку энергия - это тот фундамент, который позволяет природные ценности перевести в разряд экономических, а экономические - оценивать с позиций экологии.

Природные экологические системы могут служить моделью общих принципов управления, основанного на энергетических процессах. Эти системы существуют на Земле много миллионов лет. Изучив природные системы, можно познать многие законы, справедливые для антропогенных экосистем.

Несмотря на огромное разнообразие природных систем, приспособленных к конкретным климатическим и биологическим условиям существования, в их поведении есть общие черты, связанные с принципиальным сходством энергетических процессов.

Преобразование энергии Солнца в энергию пищи путем фотосинтеза, происходящего в зеленом листе, иллюстрирует действие двух законов термодинамики.

Первый закон термодинамики - закон сохранения ЭНЕРГИИ - гласит: энергия не создается и не исчезает, она переходит из одной формы в другую.

Экология, по сути дела, изучает связь между солнечным светом и экологическими системами, внутри которых происходят превращения энергии света.

Лучистая энергия Солнца, попав на Землю, стремится превратиться в рассеянную тепловую. Доля световой энергии, преобразованная зелеными растениями в потенциальную энергию их биомассы, намного меньше поступившей. Незначительная часть энергии отражается, основная же ее часть превращается в теплоту, покидающую затем и растения, и экосистему, и биосферу.

Второй закон термодинамики утверждает: любой вид энергии в конечном счете переходит в форму, наименее пригодную для использования и наиболее легко рассеивающуюся.

Отношения между растениями - продуцентами и животными - консументами управляются потоком аккумулированной растениями энергии, которая используется затем животными. Весь живой мир получает необходимую энергию из органических веществ, созданных растениями и, в меньшей мере, хемосинтезирующими организмами.

Пища, созданная в результате фотосинтетической деятельности зеленых растений, содержит потенциальную энергию химических связей, которая при потреблении ее животными организмами превращается в другие формы.

Животные, поглощая энергию пищи, также большую ее часть переводят в теплоту, а меньшую - в химическую потенциальную энергию синтезируемой ими протоплазмы.

Все типы неживых систем регулируются теми же законами термодинамики, которые управляют и живыми системами. Различие заключается в том, что живые системы, используя часть имеющейся внутри них потенциальной энергии, способны самовосстанавливаться, а машины приходится ремонтировать, используя внешнюю энергию. «Потребленная» энергия не исчезает: бензин, например, расходуется в автомобиле, но энергия, содержащаяся в нем, не исчезает, а превращается в формы, уже практически недоступные для использования.

Преобразования энергии в живой материи не могут в полной мере быть описаны теорией классической термодинамики. К. М. Петров (1997) отмечает: «Законы развития живой и косной материи описываются двумя противоположными теориями - это классическая термодинамика и эволюционное учение Дарвина».

В соответствии с первой теорией дезинтеграция Вселенной неизбежна, если рассматривать ее как закрытую систему. Согласно второму закону термодинамики запас полезной энергии, приводящей «мировую машину» в движение, рано или поздно будет исчерпан, а энтропия будет расти. Рост внутренней неупорядочен-

ности будет приводить к переходу высокоорганизованных структур к низкоорганизованным, т. е. к их разрушению.

В соответствии со второй теорией эволюции биосферы направление развития разнообразных форм жизни имеет противоположную тенденцию - от низкоорганизованных форм к высокоорганизованным. Живая материя удивительным образом организуется в упорядоченные структуры в противоречии с утверждением второго закона термодинамики.

Упорядоченность природной экосистемы, т. е. структура биомассы, поддерживается за счет дыхания всего сообщества организмов, которое постоянно «откачивает» из него неупорядоченность.

Способность живых организмов снижать неупорядоченность внутри себя иногда интерпретируют как способность накапливать отрицательную энтропию.

Многие теоретики давно были обеспокоены тем фактом, что сохранение функциональной упорядоченности живых существ приводит к накоплению полезной энергии в экосистемах и как бы опровергает второй закон термодинамики. На недостаточность второго закона термодинамики еще в конце прошлого века обратил внимание украинский ученый С. А. Подолинский (1850 - 1891). Он подчеркивал наличие в природе процессов, противоположных рассеиванию энергии, - процессов накопления и концентрации солнечной энергии. С. А. Подолинский приложил законы энергетике к экономическим явлениям и показал роль человеческого труда в аккумуляции полезной энергии: расширении запасов продуктов питания, повышении количества концентрированной солнечной энергии, в том числе с помощью технических средств, и прежде всего гелиотехники.

Специфические уникальные функции преобразования рассеянной солнечной энергии в концентрированную энергию органических веществ в природе выполняют растения. К. А. Тимирязев (1903), анализируя термодинамические функции хлорофиллового аппарата растений, считал их как бы антиэнтропийными процессами.

В. И. Вернадский (1928) подчеркивал, что появление жизни на Земле связано с накоплением в биосфере «активной энергии» при одной и той же исходной энергии Солнца.

А. Е. Ферсман (1937) писал, что процессы биогенеза и техногенеза привели к тому, что «сложные органические соединения живого вещества оказались с еще большими запасами энергии, и законы энтропии если не нарушаются, то во всяком случае замедляются процессами жизни».

Совместимость второго начала термодинамики со способностью живых систем создавать высокоорганизованные упорядоченные структуры обосновал нобелевский лауреат И. Пригожий (1962, 1986, 1994). Он показал, что способность к самоорганизации может встречаться в системах, далеких от равновесных, но обладающих хорошо развитыми «диссипативными структурами», откачивающими неупорядоченность. Для поддержания внутренней упорядоченности в системе, находящейся при температуре выше абсолютного нуля, когда существует хаотическое движение атомов и молекул, необходима постоянная работа по «откачиванию неупорядоченности».

Дыхание упорядоченной биомассы можно рассматривать как своеобразную «диссипативную структуру» экосистемы.

В экосистеме отношение общего дыхания сообщества (Д) к его суммарной биомассе (Б), т. е. Д/Б, можно рассматривать как отношение затрат энергии на поддержание порядка, необходимого для жизнедеятельности, к потенциальной энергии, заключенной в биомассе, т. е. как меру термодинамической упорядоченности. Если в закрытой системе без притока энергии резко увеличивается биомасса (Б), то уменьшаются затраты энергии, необходимые для поддержания упорядоченности системы (Д), тогда она постепенно разрушается и в конце концов погибает.

Эффективное использование энергии обеспечивает выживание систем в соперничестве с другими системами. В любом лесу выживают деревья тех видов, которые наилучшим образом используют солнечную энергию, энергию дождя и питательных веществ почвы; тем самым они поддерживают жизнедеятельность леса в целом.

Для оптимизации использования энергии природная система создает хранилища концентрированной потенциальной энергии, часть которой тратит на получение новой и поддержание порядка: обеспечивает круговорот веществ, обмен с другими системами, создает механизмы устойчивости и др.

Живая материя отличается от неживой прежде всего способностью аккумулировать из окружающего пространства свободную энергию, преобразовывать и концентрировать ее, чтобы противостоять росту энтропии.

Следовательно, порядок, создаваемый энергетическими потоками в экосистемах, связан с изменением качества аккумулированной живыми организмами энергии.

3.2. Формы и качество энергии Как было отмечено, энергия существует во многих формах и видах: солнечная, тепловая, химическая, электрическая, атомная, энергия ветра, воды и др. Формы энергии различны по способности производить полезную работу. Ю. Одум (1986) пишет: «Не все калории (или другие единицы количества) одинаковы, т. е. одинаковые количества разных форм энергии могут сильно различаться по своему рабочему потенциалу». Энергия слабого ветра, прибоя, маломощных геотермальных источников может произвести небольшое количество работы. Концентрированные формы энергии (нефть, уголь и др.) обладают высоким рабочим потенциалом. Энергия солнечного света по сравнению с энергией ископаемого топлива обладает низкой работоспособностью, а по сравнению с рассеянной низкотемпературной теплотой - высокой. Качество энергии, сконцентрированной в биомассе растений, животных, топливе, отличается от качества рассеянной тепловой энергии.

Эксергия - это максимальная работа, которую совершает термодинамическая система при переходе из данного состояния в состояние физического равновесия с окру-жающей средой.

Эксергией называют полезную долю участвующей в каком-то процессе энергии, величина которой определяется степенью отличия какого-то параметра системы от его значения в окружающей среде.

В природе показателем качества энергии может служить количество калорий солнечного света, которое должно рассеяться, чтобы образовалась 1 калория более высококачественной сформированной энергии. Следует оговориться, что обычные калориметры, которые применяются для измерения количества энергии, непригодны для измерения ее качества.

Преобразование солнечного света в пищевой цепи, или цепи генерации электричества, или другой цепи превращений всегда сопровождается уменьшением количества и повышением качества аккумулированной на каждом этапе энергии.

Клетки растений, связывая на свету CO_2 и H_2O , образуют гидраты углерода (CH_2O) - строительные блоки органических веществ, обладающие высокой эксергией, а экспортируемая в космическое пространство рассеянная энергия снижает свою эксергию. Под воздействием определенных условий (температуры, давления и др.) в течение тысяч и миллионов лет органические вещества превращались в торф, уголь, нефть, т. е. энергия накапливалась в виде ископаемого топлива. В XX веке эти запасы интенсивно эксплуатировались для обеспечения жизни искусственных систем, созданных человеком: городов, заводов, машин, автомобилей и т. п. Уже сейчас в поисках новых месторождений топлива мы все глубже вгрызаемся в землю, уходим в море. Поэтому освоение таких ресурсов становится все более дорогостоящим. Огромная работа, выполняемая биосферой (сохранение и развитие жизни, накопление горючих ископаемых и др.) за счет небольшого количества (0,8 %) сконцентрированной растениями солнечной энергии, объясняется высокой эксергией аккумулированной части энергии.

В эпоху открытий новых источников ископаемого топлива большинство людей не понимают, что сконцентрированная энергия, необходимая для поддержания жизнедеятельности городов и всего общества, потребует рано или поздно разработки способов концентрации энергии. Энергия высокой концентрации совершает больший объем работы, управляет большим числом процессов. Чтобы сконцентрировать энергию, разные виды ее должны взаимодействовать.

Но, пока недостаточно разработаны технологии концентрации энергии, возможно использовать и низкокачественную энергию для «низкокачественных работ»; например, солнечную энергию для отопления зданий.

При разработке будущей стратегии в стране и в мире в целом необходимо руководствоваться важнейшим принципом - использовать энергию такого качества, которое соответствует выполняемой работе.

Горючие ископаемые должны идти в основном на поддержание механизмов, требующих высококачественной энергии (самолетов, автомобилей и др.); не следует их тратить в котельных и печах там, где обогревать дома может Солнце. Запасы нефти и угля сохранятся дольше и позволят выиграть время для разработки технологий получения высококачественной энергии.

Важным показателем эффективности использования энергии является отношение количества энергии на выходе стемы ко всей энергии на входе.

Мы привыкли отождествлять энергию, затрачиваемую в процессе производства, с энергией топлива, или электроэнергией, забывая об энергии человеческого труда и использованных материалов. На самом деле энергия, затраченная на добычу, производство, обработку и перевозку топлива, может превышать энергию, получаемую при сжигании этого топлива. Очевидно, что энергетические затраты на движение автомобиля гораздо больше, чем затраты на бензин. Они включают в себя энергию, затраченную на производство автомобиля, запасных частей, обучение шофера и подготовку ремонтных рабочих, на создание автомобильных дорог и другие работы.

Ошибка людей, определяющих те или иные затраты на какие-либо процессы, связана с тем, что они упускают из вида многообразие фактически расходуемой энергии. Кажется, например, что деятельность по обучению людей связана лишь с затратами энергии преподавателей и не включает затраты на машины. В действительности же эта энергия гораздо больше и включает в себя энергию различных форм деятельности в сфере образования.

Энергетические процессы рассматривают обычно как чисто физические и часто не предполагают, что мышление - это также энергетический процесс. Развитие умственных способностей связано с большими энергозатратами. Интеллектуальный труд является процессом, где используются высококачественные формы энергии. Ум и знание концентрируют в себе энергию, затраченную на обучение.

В экономике также следует исходить из понятий полезной энергии. Энергоэффективность должна рассчитываться как отношение энергии, воплощенной в продукции, ко всем затратам энергии. Большинство достижений экономики основано на применении многих скрытых косвенных интеллектуальных или дополнительных форм энергии, которые часто не учитываются при оценках стоимости продукции.

Необходимо разрабатывать меры по сохранению как количества, так и качества энергии.

Основой для энергооборота в будущем должно быть сбережение энергии, эффективное ее использование и разработка эксергосберегающих технологий. Обычная экономия энергии - это искусство сбережения, снижения утечек, потерь и др. Сохранение качества энергии - это задача устранения ненужной деградации энергии, ее потерь. Улавливание теплоты с помощью тепловых насосов при производстве электрической энергии - пример эксергосберегающих технологий, препятствующих рассеиванию и потерям энергии. Снижение температуры - эксергоразрушительный процесс, а рециркуляция теплоты - эксергосберегающий.

3.3. Потоки энергии и продуктивность экосистем. Перенос энергии пищи в процессах питания от ее источника - растений - через последовательный ряд животных организмов называется пищевой, или трофической цепью.

Трофические цепи делятся на два основных типа: пастбищную и Детритную (лат. *detritus* - продукт распада).

Пастбищная цепь простирается от зеленых растений к консументам: растительноядным животным и затем к плотоядным животным (хищникам).

Детритная цепь начинается с мертвого органического вещества, которое разрушается детритофагами (лат. phagos - пожиратель), поедаемыми, в свою очередь, мелкими хищниками, и заканчивается работой редуцентов, минерализующих органические остатки. Пищевые цепи тесно переплетаются друг с другом, образуя трофические сети.

При каждом очередном переносе большая часть (80 - 90 %) потенциальной энергии рассеивается, переходя в теплоту.

В сообществах организмы, получающие энергию Солнца через одинаковое число ступеней, принадлежат к одному трофическому уровню.

Так, зеленые растения - продуценты - занимают первый трофический уровень; травоядные животные - первичные консументы - второй уровень; хищники - вторичные консументы - третий. Могут присутствовать и хищники, поедающие первых хищников - третичные консументы, расположенные на четвертом уровне, и т. д. Но обычно наблюдается не более шести уровней, так как на каждом уровне количество аккумулированной энергии резко падает.

Пищевые цепи знакомы каждому: человек может потреблять мясо коров, которые едят траву, улавливающую солнечную энергию; но он может использовать и более короткую пищевую цепь, питаясь зерновыми культурами. В первом случае он является вторичным консументом на третьем трофическом уровне, а во втором - первичным консументом на втором трофическом уровне. Но чаще всего человек является одновременно и первичным, и вторичным консументом. Таким образом, поток энергии разделяется между двумя или несколькими трофическими уровнями в пропорции, соответствующей долям растительной и животной пищи в рационе.

Солнечная энергия постоянно поступает в экосистему. Но, в отличие от круговорота веществ, который обычно протекает по замкнутому кругу, энергия, переходя с одного трофического уровня на другой, постоянно теряется безвозвратно. Лишь ничтожная доля, как сказано ранее, энергии Солнца, получаемой Землей, улавливается зелеными растениями - валовая первичная продукция

Количественные соотношения первичной и вторичной продукции в экосистемах подчиняются правилу пирамиды.

Экологические пирамиды графически изображаются в виде поставленных друг на друга прямоугольников равной высоты, длина которых соответствует масштабам продукции на соответствующих трофических уровнях. Они отражают законы распределения энергии в пищевых цепях: показывают, что на каждом предыдущем трофическом уровне количество энергии биомассы, создаваемой в единицу времени, больше, чем на последующем. Эта закономерность справедлива не только для энергии, но и для численности, и биомассы.

Первоначально экологическая пирамида была построена Ч. Элтоном (1927) как пирамида чисел.

Позже строились пирамиды биомасс и энергии

Но пирамиды чисел так же, как и пирамиды биомасс, не всегда имеют классический вид. Например, когда мелкие хищники живут за счет групповой

охоты на крупных животных, пирамида чисел может иметь вид перевернутой пирамиды. Для океана пирамиды биомасс имеют также перевернутый вид, так как там имеют место тенденции к накоплению биомассы на высших трофических уровнях крупными растительноядными и хищными животными, длительность жизни которых велика, а скорость размножения мала, поэтому в их телах задерживается значительная часть веществ, поступающих по цепям питания. Лишь пирамиды накопленной энергии имеют классический вид.

На первом трофическом уровне в энергию пищи превращается лишь около 1 % солнечного света. Вторичная продукция на каждом последующем трофическом уровне консументов составляет около 10 % от предыдущей, хотя у хищников эффективность усвоения энергии может достигать 20 %. Если питательная ценность источника энергии велика, то эффективность может быть и выше, однако средняя эффективность переноса энергии между трофическими уровнями не превышает 10 - 20 %.

Важное экологическое значение имеет соотношение между долями ассимилированной энергии, расходуемой на продукцию и дыхание (П/Д). Часть энергии, идущая на дыхание, т. е. на поддержание структуры биомассы, велика в популяциях крупных организмов (люди, деревья). А в популяциях мелких организмов (бактерии, водоросли) сравнительно велика величина продукции. В молодых растущих системах, получающих энергетические дотации, продукция также может превышать дыхание. При стрессовых воздействиях на систему возрастает дыхание.

Важно понимать, что желание повысить продукцию пищи (П), например в агроэкосистемах, обязательно обернется в итоге увеличением затрат на поддержание их структуры (Д). Может наступить предел, после которого выигрыш от роста продукции сводится на нет ростом расходов на дыхание, не говоря уже о том, что система может войти в стрессовое состояние, грозящее разрушением.

Индустриализованные агроэкосистемы, возможно, уже достигли такого предела, когда увеличение расходов на повышение продукции приводит к меньшей отдаче. Важным фактором является и качество источника энергии.

Лучистая энергия, усваиваемая организмами-продуцентами в процессе фотосинтеза, накапливаемая в виде органических веществ, называется первичной продукцией, а консументами - вторичной продукцией.

Продуктивность экосистем оценивается следующими величинами:

Валовый фотосинтез - органическое вещество, которое синтезируется за наблюдаемое время, включая израсходованное на дыхание растений. Эту величину называют также общей ассимиляцией (лат. *assimilatio* - усвоение).

Чистый фотосинтез («наблюдаемый фотосинтез») - органическое вещество, накопленное в растительных тканях в единицу времени, за вычетом той части, которая использовалась растениями на дыхание за то же время. Эту величину называют также чистой ассимиляцией.

Чистая продукция экосистемы - накопленное в единицу времени органическое вещество, не потребленное консументами, т. е. чистая первичная продукция за вычетом потребления ее консументами.

Вторичная продукция экосистемы - накопленное органическое вещество на уровне консументов в единицу времени. Консументы не продуцируют, а лишь используют ранее созданные органические вещества, часть которых расходуют на дыхание, а остальные превращают в ткани своего тела.

Высокие скорости продукции наблюдаются обычно в экосистемах при поступлении дополнительной энергии извне. В естественных экосистемах дополнительная энергия может поступать в разной форме: в лесу - в виде ветра и дождя, в заливах - кроме того, в виде прилива и т. д. На возделываемых полях дополнительная энергия поступает в виде работы человека и животных, горючего. Эти энергетические субсидии следует учитывать при оценках урожая. Высокий урожай поддерживается ценой больших вложений энергии, затраченной на обработку земли, орошение, удобрение, селекцию, борьбу с вредными насекомыми и т. д. Эти дотации могут превышать выход энергии с урожаем. В горючем, которое расходуется сельскохозяйственными машинами, содержится не меньше энергии, чем в солнечных лучах, падающих на поля. Интенсивное ведение сельского хозяйства превращает растительные и животные организмы в живые машины для производства органических веществ. В этих условиях большая часть энергии для производства картофеля, хлеба и мяса берется не от Солнца, а из ископаемого топлива.

Лишь сравнительно небольшая часть биосферы является плодородной в естественных условиях. Продуктивность экосистем определяется главным образом лимитирующими факторами: наличием воды, питательных солей, интенсивностью солнечной радиации, способностью системы использовать биогенные вещества и др.

Эти факторы в разных экосистемах различны. В пустыне - это вода, в глубоководных зонах моря - освещенность и недостаток питательных солей. Оба эти района представляют собой, по существу, «биологические пустыни» с очень низкой первичной продукцией.

Структура экосистемы также влияет на ее продуктивность. Первичная продукция лиственного леса обычно превосходит продукцию пшеничного поля благодаря наличию вертикальной ярусности, когда каждый ярус (деревья, кустарник, подрост, трава) поглощает некоторую часть солнечной энергии.

Население Земли составляет свыше 5,0 млрд человек, каждому требуется ежегодно около 1 млн ккал, т. е. человечеству необходимо 5-10¹⁵ ккал энергии пищи. В мире ежегодно собирается около 6,7-10¹⁵ ккал пищи, но из-за неравномерного распределения, потерь и низкого качества части урожая этого количества энергии оказывается недостаточно. Человек использует первичную продукцию не только как пищу, но и в виде волокон (хлопок, лен),

и в качестве топлива (древесина и др.). В некоторых странах деревья сжигают гораздо быстрее, чем они могут расти, и леса превращаются в пустыни. Нехватка топлива побуждает иногда перерабатывать в горючее пищевую продукцию. Но исследования показали, что на производство спирта, например из кукурузы, уходит столько же высококачественной энергии, сколько заключено в получаемом спирте, или даже больше. Поэтому чистый выход энергии практически отсутствует. Смесь бензина со спиртом для заправки автомобилей

продается, однако, в «зерновом поясе» США, так как там имеются излишки зерна, которые не могут быть реализованы на мировом рынке, хотя с точки зрения экологов это неразумно.

Описание потоков энергии является фундаментом экологического анализа для установления зависимости выхода полезных для человека продуктов от функционирования

экосистемы.

Знание законов продуктивности экосистем, возможность количественного учета потока энергии имеют чрезвычайное практическое значение. Первичная продукция агроценозов и природных сообществ - основной источник пищи для человечества. Важна и вторичная продукция, так как животные белки включают ряд незаменимых аминокислот, которых нет в растительной пище. Пользуясь расчетами продуктивности экосистем, можно регулировать в них круговорот веществ, добываясь выхода выгодной для человека продукции. Но необходимо хорошо представлять допустимые пределы изъятия растительной и животной биомассы, чтобы не разрушить экосистемы.

3.4. Энергетические типы экосистем. Энергия - наиболее удобная основа для классификации экосистем. Различают четыре фундаментальных типа экосистем: 1) движимые Солнцем, малосубсидируемые; 2) движимые Солнцем, субсидируемые другими естественными источниками; 3) движимые Солнцем и субсидируемые человеком; 4) движимые топливом.

В большинстве случаев могут использоваться и два источника энергии - Солнце и топливо.

Природные экосистемы, движимые Солнцем, малосубсидируемые - это открытые океаны, высокогорные леса. Все они получают энергию практически только от одного источника - Солнца и имеют низкую продуктивность. Ежегодное потребление энергии оценивается ориентировочно в 103-104 ккал-м². Организмы, живущие в этих экосистемах, адаптированы к скудному количеству энергии и других ресурсов и эффективно их используют. Эти экосистемы очень важны для биосферы, так как занимают огромные площади. Океан покрывает около 70 % поверхности земного шара. По сути дела, это основные системы жизнеобеспечения, механизмы, стабилизирующие и поддерживающие условия на «космическом корабле» - Земле. Здесь ежедневно очищаются огромные объемы воздуха, возвращается в оборот вода, формируются климатические условия, поддерживается температура и выполняются другие функции, обеспечивающие жизнь. Кроме того, без всяких затрат со стороны человека здесь производится некоторое количество пищи и других материалов. Следует сказать и о не поддающихся учету эстетических ценностях этих экосистем.

Природные экосистемы, движимые Солнцем и субсидируемые другими естественными источниками, - это экосистемы, обладающие естественной плодородностью и производящие излишки органического вещества, которые могут накапливаться. Они получают естественные энергетические субсидии в виде энергии приливов, прибоя, течений, поступающих с площади водосбора с дождем и ветром органических и минеральных веществ и т. п. Прибрежная часть эстуария типа Невской губы - хороший пример таких экосистем, которые более

плодородны, чем прилегающие участки суши, получающие то же количество солнечной энергии. Избыточное плодородие можно наблюдать и в дождевых лесах.

Экосистемы, движимые Солнцем и субсидируемые человеком, - это наземные и водные агроэкосистемы, получающие энергию не только от Солнца, но и от человека в виде энергетических дотаций. Высокая продуктивность их поддерживается мышечной энергией и энергией топлива, которые тратятся на возделывание, орошение, удобрение, селекцию, переработку, транспортировку и т. п. Хлеб, кукуруза, картофель «частично сделаны из нефти». Самое продуктивное сельское хозяйство получает энергии примерно столько же, сколько самые продуктивные природные экосистемы второго типа. Их продукция достигает приблизительно 50 000 ккал-м²-год⁻¹. Различие между ними заключается в том, что человек направляет как можно больше энергии на производство продуктов питания ограниченного вида, а природа распределяет их между многими видами и накапливает энергию на «черный день», как бы раскладывая ее по разным карманам. Эта стратегия называется «стратегией повышения разнообразия в целях выживания».

Индустриально-городские экосистемы, движимые топливом, - венец достижений человечества. В индустриальных городах высококонцентрированная энергия топлива не дополняет, а заменяет солнечную энергию. Пищу - продукт систем, движимых Солнцем, - в город ввозят извне. Особенностью этих экосистем является огромная потребность плотно населенных городских районов в энергии - она на два-три порядка больше, чем в первых трех типах экосистем.

Потребление энергии человеком в городе в среднем составляет более 80 млн ккал/год¹; для питания ему требуется всего около 1 млн ккал/год¹, следовательно, на все другие виды деятельности (домашнее хозяйство, транспорт, промышленность и т. д.) человек расходует в 80 раз больше энергии, чем требуется для физиологического функционирования организма. Разумеется, в развивающихся странах положение несколько иное.

По мере углубления энергетического кризиса и роста цен на горючее люди, видимо, будут больше интересоваться использованием солнечной энергии и разрабатывать технологии ее концентрации. Возможно, в будущем и возникнет новый тип экосистем - город, движимый энергией не только топлива, но и Солнца.

В своем развитии человеческое общество прошло через все четыре типа описанных выше экосистем. Охотники и собиратели растений жили в природных экосистемах, движимых только Солнцем. Люди достигали наибольшего процветания в системах с естественными энергетическими субсидиями: в прибрежных районах моря и речных бассейнах. С развитием сельского хозяйства, когда человек усовершенствовал свое умение выращивать растения, одомашнивать животных и получать урожаи с помощью дополнительной мышечной энергии, продуктивность среды сильно возросла. Но в течение многих веков основными источниками энергии для человека оставались растения и животные. Города, деревни, соборы строились из дерева с использованием физического труда животных и человека. Этот долгий период можно назвать эрой мышечной силы.

Затем наступила продолжающаяся и сейчас эра горючих ископаемых, которые обеспечили такой обильный приток энергии, что население Земли стало удваиваться почти каждые полвека. Работа механизмов, приводимых в движение бензином и электричеством, постепенно почти полностью заменила физический труд человека в развитых странах.

Со временем стала использоваться и атомная энергия. Казалось вероятным, что после исчерпания топлива начнется эра атомной энергии. Но пока на «откачивание» неупорядоченности, связанной с этим источником, т. е. на переработку отходов, приходится тратить столько усилий и энергии, что будущее атомной энергетики неясно. Пока не отработан и не согласован весь цикл получения ядерной энергии - от добывания сырья до устранения отходов и не найдены лучшие способы извлечения энергии атома, наступление атомной эры по крайней мере откладывается.

И Чистая энергия - это энергия на выходе из системы в виде продукции после вычета всех энергозатрат на ее преобразования. Энерго- и эксергоэффективность системы определяются выходом чистой энергии. Следует помнить, что на создание источника энергии и поддержание поступления пригодной к использованию энергии приходится также затрачивать энергию. Необходимо думать и о более эффективном использовании остающихся на планете горючих ископаемых. Выбор источников энергии надо основывать на поисках способа, дающего наибольший выход чистой энергии.

Энергию обратной связи Эш, необходимую для поддержания выхода, иногда называют энергетическим штрафом. Для того чтобы источник энергии функционировал, выход чистой энергии должен как минимум в 2 раза превышать «штраф»: Эчист > 2Эш. Например, если для извлечения 12 единиц нефти путем глубокого бурения океанского дна требуется израсходовать 10 единиц горючего, ясно, что такой источник не решит проблем нехватки топлива. Следовательно, проблема не в том, много ли нефти в недрах Земли, и не в количестве энергии, высвобождаемой при расщеплении урана; проблема в том, сколько высококачественной энергии можно получить из этих источников после того, как будут уплачены все «энергетические штрафы», связанные в том числе с охраной здоровья людей и сохранением глобальных систем жизнеобеспечения. Поэтому в данном случае, как и в случае биологической продуктивности, нас должно заботить не валовое количество энергии, а количество чистой энергии.

3.5. Энергия и деньги. Еще на заре цивилизации возникли деньги.

Деньги - это мера стоимости товаров, созданных трудом; они являются непосредственным представителем абстрактного труда или выполненной работы.

Приравненные к деньгам стоимости всех товаров приобретают одинаковое выражение и становятся сравнимы между собой.

Потоки денег и энергии тесно взаимосвязаны: поток денег противоположен потоку энергии. Придадим численные значения потокам энергии, поступающим на ферму и изображенным ранее. Когда продукты питания избыточны, они превращаются в товар. После продажи товара в обратном направлении возникает поток денег.

Деньги можно приблизительно выразить в единицах энергии и наоборот, поскольку стоимость товаров и услуг тесно связана с тем, сколько энергии пришлось на них затратить. Соотношение энергии и денег определяется количеством энергии, вложенной в каждый обращающийся рубль. Чем больше энергии затрачено, тем выше реальная стоимость рубля.

Оценка работы природных экосистем - еще не решенная проблема. Деньги могут участвовать в расчетах только после того, как природные ресурсы превращены человеком в товар, работа же природы, создающей ресурсы, при этом не оценивается.

Деньгами оцениваются только труд человека и затраты по вылову, переработке и продаже рыбы. Работа водоема по производству рыбы обычно не оценивается деньгами. Но общая стоимость полезной работы водоема, рассчитанная посредством энергетического эквивалента денег, окажется выше стоимости собираемых в нем продуктов. Энергия и работа, выполняемая для поддержания биомассы растений и животных в водоеме, очистки и повторного использования воздуха и воды, остаются вне денежной системы. Было высчитано, что если бы оценить стоимость всей полезной работы водоема, выполняемой в течение года, в универсальной «энергетической валюте», а потом перевести в деньги, то 1 га плодородного водоема стоил бы в десятки раз больше, чем снимаемый с него годовой урожай.

Недостаток любых существующих политико-экономических систем состоит в том, что они оценивают в основном производимые человеком товары и услуги и не оценивают не менее необходимые для жизни естественные ресурсы и услуги природы. Деньги, оборачиваясь, оплачивают техническую работу индустриально-городских и аграрных систем, но не оплачивают поступления благ и услуг из природных экосистем. Большинство экологов и экономистов согласны с тем, что необходимо преодолеть разрыв между рыночными и нерыночными ценностями, так как обе категории ценностей тесно взаимосвязаны.

Экономическая теория в соединении с правильно понимаемой энергетической теорией позволяет включить «бесплатную» работу природы в разряд экономических ценностей и таким образом повысить экономические системы до уровня экологических.

Мировая экономика в конечном счете зависит от основных природных экосистем - морских, лесных, сельскохозяйственных. По мере того как эти ресурсы истощаются или подвергаются стрессовым воздействиям, начинает страдать и мировая экономика: товары и услуги становятся все дефицитнее, их производство все дороже, что приводит к инфляции во всем мире.

Лекция 4

4.1. Глобальный круговорот веществ. Солнечная энергия обеспечивает на Земле два круговорота веществ : большой, или геологический абиотический), и малый, или биологический (биотический).

Большой круговорот наиболее четко проявляется в циркуляции воздушных масс и воды. В основе большого геологического круговороте веществ лежит процесс переноса минеральных соединений из одного места в другое в масштабе планеты.

Около половины падающей на Землю лучистой энергии расходуется на перемещение воздуха, выветривание горных пород, испарение воды, растворение минералов и т. п. Движение воды и ветра, в свою очередь, приводит к эрозии, транспорту, перераспределению, осаждению и накоплению механических и химических осадков на суше и в океане. В течение длительного времени образующиеся в море напластования могут возвращаться на сушу - и процессы возобновляются. К этим циклам подключаются вулканическая деятельность и движение океанических плит в земной коре.

Круговорот воды, включающий переход ее из жидкого в газообразное и твердое состояния и обратно, - один из главных компонентов абиотической циркуляции веществ.

В круговороте воды суммарное испарение компенсируется выпадением осадков. Особенность круговорота в том, что из океана испаряется воды больше (примерно 3,8 геограмма), чем возвращается с осадками (примерно 3,4 геограмма). На суше, наоборот, осадков выпадает больше (примерно 1,0 геограмм), чем испаряется (суммарно около 0,6 геограмма). В связи с тем, что из океана воды испаряется больше, чем возвращается, значительная часть осадков, используемых экосистемами суши, в том числе и агроэкосистемами, производящими пищу для человека, состоит из воды, испаряющейся из моря. Излишки воды с суши стекают в озера и реки, а оттуда снова в океан. По существующим оценкам, в пресных водоемах (озерах и реках) содержится 0,25 геограмма воды, а годовой сток составляет 0,2 геограмма.

Таким образом, время оборота пресных вод составляет примерно один год. Разность между количеством осадков, выпадающих на сушу за год (1,0 геограмм), и стоком (0,2 геограмма) составляет 0,8 геограмма, которые испаряются и поступают в подпочвенные водоносные горизонты. Поверхностный сток частично пополняет резервуары грунтовых вод и сам пополняется от них.

С появлением жизни на Земле круговорот воды стал относительно сложным, так как к физическому явлению превращения воды в пар добавился процесс биологического испарения, связанный с жизнедеятельностью растений и животных. Соотношение количества воды, выделившейся в результате транспирации и испарения, меняется в зависимости от местных условий. В тропическом влажном лесу количество воды, испаряемой растениями, достигает $7000 \text{ м}^3 \text{год}^{-1}$ с 1 км^2 , тогда как в саванне на той же широте и высоте с той же площади оно не превышает $3000 \text{ м}^3 \text{год}^{-1}$. Растительность в целом играет значительную роль в испарении воды, влияя тем самым на климат регионов. Она

является также водоохраным и водорегулирующим фактором: смягчает паводки, удерживая влагу в почвах и препятствуя их иссушению и эрозии.

Общие запасы воды на земле оцениваются приблизительно в 1386 млн км³. Соленая вода составляет около 97,5 % объема водной массы, на мировой океан приходится 96,5 %. Объем пресных вод, по разным оценкам, составляет 35 -37 млн км³, или 2,5 - 2,7 % общих запасов воды на Земле. Большая часть пресных вод (68 - 70 %) сосредоточена в ледниках и снежном покрове.

Энергетика гидрологического цикла; около трети поступающей солнечной энергии затрачивается на движение воды. Это еще один пример «безвозмездной услуги», которую оказывает людям Солнце. Круговорот воды можно представить в виде двух энергетических путей.

Верхний путь (испарение) приводится в движение солнечной энергией, нижний (выпадение осадков) - отдает энергию озерам, рекам, заболоченным землям, другим экосистемам и непосредственно человеку, например на ГЭС.

Деятельность человека оказывает огромное влияние на глобальный круговорот воды, что может изменять погоду и климат. В результате покрытия земной поверхности непроницаемыми для воды материалами, строительства оросительных систем, уплотнения пахотных земель, уничтожения лесов и т. п. сток воды в океан увеличивается и пополнение фонда грунтовых вод сокращается. Во многих сухих областях эти резервуары выкачиваются человеком быстрее, чем заполняются. В засушливых районах США (западная часть Оклахомы, Техас, Канзас), например, подземные горизонты наполнены водой, которая накопилась там в более влажные предыдущие геологические периоды, и теперь количество ее не увеличивается. Вода здесь - невозобновляемый ресурс, подобно нефти. Основные источники ее будут исчерпаны через 30 - 40 лет, и ясно, что решение проблемы будет трудно найти, многие пострадают от экономического краха.

В России для водоснабжения и орошения земель разведано 3367 месторождений подземных вод. Эксплуатационные запасы разведанных месторождений составляют 28,5 км³-год¹. Степень освоения этих запасов на 1996 г. составляет в РФ не более 33 %, а в эксплуатации находится 1610 месторождений. Но в результате интенсивного водозабора в эксплуатируемых скважинах в урвонной поверхности подземных вод сформировались депрессивные воронки, площадь которых достигает 50 000 км², а снижение уровня в центре воронки - 80 - 130м (Москва, Брянск, Санкт-Петербург, Курск).

В настоящее время по всему миру создана сеть измерительных станций для выявления изменений в круговороте воды, от которого в значительной мере зависит будущее человека на Земле.

Малый круговорот. На базе большого геологического круговорота возникает круговорот органических веществ, или малый, биологический круговорот. В 1927 г. В. Р. Вильяме писал: «Из большого, абиотического, круговорота веществ на земном шаре вырывается ряд элементов, которые, постоянно увлекаемые в новый, малый, по сравнению с большим, биологический круговорот, надолго, если не навсегда, вырываются из большого круговорота и

вращаются непрерывно расширяющейся спиралью в одном направлении в малом, биологическом, круговороте».

В отличие от геологического, биологический круговорот характеризуется ничтожным количеством энергии. На создание органического вещества, как уже упоминалось, затрачивается всего около 1 % падающей на Землю лучистой энергии. Однако эта энергия, вовлеченная в биологический круговорот, совершает огромную работу по созиданию живого вещества. Чтобы жизнь продолжала существовать, химические элементы должны постоянно циркулировать из внешней среды в живые организмы и обратно, переходя из протоплазмы одних организмов в усвояемую для других организмов форму.

Иными словами, все химические элементы участвуют и в большом, и в малом круговороте веществ.

Более или менее замкнутые пути движения химических элементов называются биогенными («био» - относится к живым организмам, а «гео» - к твердым породам, воздуху и воде). Из почти ста химических элементов, встречающихся в природе, 30 - 40 являются биогенными, т. е. необходимы организмам. Некоторые из них, такие, как углерод, водород, кислород, азот, фосфор, нужны организмам в больших количествах - макроэлементы, другие - в малых или даже ничтожных - микроэлементы. Жизненно важные для организмов элементы всегда участвуют в биогеохимических циклах, которые называют круговоротом питательных или биогенных веществ.

В круговороте отдельных элементов различают две части: неподвижный фонд - большая масса медленно движущихся веществ (в основном, небиологическая часть) и подвижный, или меньший, но более активный, который быстро обменивается между организмами и окружающей их средой. Иногда резервный фонд называют «недоступным», а обменный - «доступным». Следует иметь в виду, что циклы с малым объемом резервного фонда более подвержены воздействию человека. Биогеохимические циклы делятся на два типа: круговороты газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере и гидросфере и осадочные циклы с резервным фондом в земной коре. Главными биогеохимическими циклами, обеспечивающими жизнь на планете, кроме круговорота воды, являются циркуляции углерода, кислорода, азота, фосфора, серы и других биогенных элементов. Рассмотрим некоторые из них.

4.2. Круговороты газообразных веществ. Круговороты, в которых газообразных веществ участвуют, например, углекислый газ, азот, кислород, благодаря наличию крупных атмосферных или океанических (или тех и других) фондов достаточно быстро компенсируют возникающие нарушения. Например, избыток CO_2 , обусловленный интенсивным окислением, горением или промышленными выбросами в каком-либо районе, обычно быстро рассеивается с воздушными потоками. Кроме того, излишки CO_2 компенсируются усиленным фотосинтезом и превращением их в гидрокарбонаты в море: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Таким образом, круговороты газообразных веществ с большими резервными фондами имеют мощные буферные системы в глобальном масштабе и хорошо

приспособлены к изменениям. Однако способность к саморегуляции даже при таком резервном фонде, как атмосфера и океан, конечно, не беспредельна.

Биогеохимические циклы углерода и азота - примеры круговоротов наиболее важных газообразных биогенных веществ.

Круговорот углерода. Сейчас запасы углерода в атмосфере в виде CO_2 относительно невелики в сравнении с его запасами в океанах и земной коре (в виде ископаемого топлива).

Вспомним, как образовалась современная земная атмосфера с низким содержанием углекислого газа и высоким содержанием кислорода. Когда более 2 млрд лет назад появилась жизнь, атмосфера Земли, подобно современной атмосфере Юпитера и других планет, состояла из вулканических газов. В ней было много CO_2 и мало (или совсем не было) кислорода. Первые организмы были анаэробными, т. е. жили в отсутствие кислорода. В результате того что первичная продукция в среднем превышала расходы органических веществ на дыхание, в атмосфере стал появляться O_2 .

Накопление кислорода началось с докембрия, и к началу палеозоя его содержание в атмосфере не превышало 10 % от современного. В дальнейшем оно подвергалось значительным флуктуациям, но неуклонно росло. Предполагают, что в истории Земли были периоды, когда концентрация кислорода превышала современную. Сейчас наличный запас свободного кислорода оценивается приблизительно в $1,610^{15}$ т. Современные зеленые растения могут воссоздать такое количество за 10 000 лет. Накоплению кислорода, по-видимому, способствовали также геологические и физико-химические процессы: высвобождение его из оксидов железа, восстановление кислородсодержащих соединений азота, расщепление воды ультрафиолетовыми лучами и др. Содержание же CO_2 до мелового периода в 6 - 10 раз превышало современный уровень, а затем неуклонно падало.

Циркуляция углерода в биосфере основана на поступлении CO_2 в атмосферу и его потреблении.

Поступление углекислого газа в атмосферу в современных условиях происходит в результате: 1) дыхания всех организмов; 2) минерализации органических веществ; 3) выделения по трещинам земной коры из осадочных пород (имеют также биогенное происхождение); 4) выделения из мантии Земли при вулканических извержениях (незначительная часть - до 0,01 %); и 5) сжигания топлива. Потребление углекислого газа происходит главным образом: 1) в процессе фотосинтеза; 2) в реакциях его с карбонатами в океане; 3) при выветривании горных пород (рис. 4.4).

Низкое содержание CO_2 и высокие концентрации O_2 в атмосфере сейчас служат лимитирующими факторами для фотосинтеза, а зеленые растения являются регуляторами этих газов.

Таким образом, «зеленый пояс» Земли и карбонатная система океана поддерживают относительно постоянное содержание CO_2 в атмосфере.

Полагают, что до наступления индустриальной эры потоки углерода между атмосферой, материками и океанами были сбалансированы.

Влияние человека на круговорот углерода проявилось в том, что с развитием индустрии и сельского хозяйства поступление CO_2 в атмосферу стало расти за счет антропогенных источников.

Основная масса углерода находится в земной коре в связанном состоянии. Важнейшие минералы углерода - карбонаты, количество углерода в них оценивается в $9,610^{15}$ т. Разведанные запасы горючих ископаемых (угли, нефть, битумы, торф, сланцы, газы) содержат около 110^{13} т углерода.

Сельское хозяйство также приводит к потере углерода в почве, так как фиксация CO_2 из атмосферы агрокультурами в течение лишь части года не компенсирует полностью высвобождающийся из почвы углерод, который теряется при окислении гумуса (результат частой вспашки).

При уничтожении лесов содержание углекислого газа в атмосфере увеличивается при непосредственном сжигании древесины, за счет снижения фотосинтеза и при окислении гумуса почвы (если на месте лесов распахивают поля или строят города). Леса - важные накопители углерода: в биомассе лесов приблизительно в 1,5, а в лесном гумусе - в 4 раза больше углерода, чем в атмосфере.

Современное изменение ландшафта человеком заметно повлияло на поток углерода из резервного фонда в обменный. Можно представить, какое огромное количество CO_2 выделится, если будет сожжена хотя бы половина фонда горючих ископаемых. Одновременное уменьшение поглотительной способности «зеленого пояса» может привести к сбою механизмов саморегуляции и природного контроля. Содержание CO_2 в атмосфере уже сейчас начинает возрастать. В начале промышленной революции, примерно в 1800 г., в атмосфере Земли содержалось около 290 частей CO_2 на миллион (0,029 %). В 1958 г. содержание CO_2 составляло 0,0315 %, а в 1980 г. выросло до 0,0335 %. Если содержание углекислого газа в атмосфере вдвое превысит доиндустриальный уровень (приблизится к 0,06 %), что может произойти в конце следующего столетия, то вероятно потепление климата на 1,5 - 4,5 °C. Наряду с подъемом уровня моря (в этом веке он уже поднялся примерно на 12 см) и перераспределением осадков, эти изменения могут привести к затоплению прибрежных районов. Так называемые проблемы CO_2 («парниковый эффект») должны учитываться при планировании национальной и международной энергетической и экономической политики. Правда, предполагают, что в следующем веке может установиться новое (но ненадежное) равновесие между увеличением количества CO_2 и запыленностью атмосферы частицами, отражающими тепловое излучение. Но любое результирующее изменение теплового бюджета Земли все равно повлияет на климат.

Кроме CO_2 , в атмосфере присутствуют в небольших количествах еще два углеродных соединения: оксид углерода CO (около 0,1 млн¹) и метан CH_4 (около 1,6 млн¹). Как и CO_2 , они находятся в быстром круговороте: время пребывания в атмосфере CO - около 0,1 года, для CH_4 - 3,6 года, а для CO_2 - 4 года. В естественных условиях CO и CH_4 образуются при неполном анаэробном разложении органических веществ и в атмосфере окисляются до CO_2 . Количество CO , попадающего в атмосферу при сгорании топлива, особенно с выхлопными газами, равно его естественному поступлению.

Оксид углерода - смертельный яд для человека. В глобальном масштабе его количество не представляет угрозы, но в городах концентрация этого газа достигает 100 млн¹, т. е. в 1000 раз больше естественного содержания, и становится угрожающей, особенно в районах с сильным автомобильным движением. Для сравнения приведем такие данные: курильщик (пачка сигарет в день) получает столько СО, сколько он получил бы, дыша воздухом с содержанием СО 400 млн¹. Это уменьшает содержание оксигемоглобина в его крови на 3 % и приводит к анемии и другим заболеваниям, связанным с гипоксией (гр. Нуно - низкое, ох/ - кислород): ишемической болезни, стенокардии, другим сердечно-сосудистым заболеваниям. Следовательно, вдыхание СО в насыщенных автотранспортом городах сопоставимо с его количеством, поступающим в кровь при курении табака.

Круговорот азота. Воздух по объему почти на 80 % состоит из молекулярного азота М₂ и представляет собой крупнейший резервуар этого элемента происходит: 1) в процессе денитрификации, т. е. биохимического восстановления оксидов азота до молекулярного газа М₂; 2) с вулканическими газами и 3) с «индустриальными вулканами» (дымом, выхлопными газами). В водоемы соединения азота поступают: с поверхностным и дренажным стоком с городских и сельских территорий; с подземными водами; с городскими и промышленными стоками; со сточными водами сельскохозяйственных производств происходит: 1) в процессе азотфиксации благодаря деятельности азотфиксирующих бактерий и многих водорослей (прежде всего синезеленых), 2) в результате естественных физических процессов фиксации азота в атмосфере (электрические разряды при грозе и др.) и 3) в процессе промышленного синтеза МН₃.

Минеральные соединения азота (МН₄⁺, МО₂, МО₃) потребляются растениями при фотосинтезе. Животные, поедая растения, используют азот для построения белков протоплазмы, превращая его в органические формы (рис. 4.5). - включает ряд очень сложных процессов, основную роль в которых играют микроорганизмы.

Проиллюстрировать эти процессы можно на примере распада наиболее сложных высокомолекулярных азотсодержащих органических веществ - белков. Распад белков идет в несколько стадий.

На первой стадии происходит расщепление белков до аминокислот микроорганизмами, вырабатывающими ферменты протеазы:

БЕЛКИ -> ПЕПТОНЫ -> ПОЛИПЕПТИДЫ -> АМИНОКИСЛОТЫ.

На второй стадии аминокислоты (КСНМН₂СООН) разлагаются бактериями, актиномицетами, грибами как в аэробных, так и в анаэробных условиях.

Итак, только примитивные микроорганизмы могут превращать биологически бесполезный газообразный азот в формы, усвояемые растениями. Они образуют взаимовыгодные ассоциации с высшими растениями, усиливающие фиксацию азота. Растения предоставляют бактериям «квартиры» (корневые клубеньки), защищают от избытка кислорода и поставляют необходимую энергию

(органические вещества). За это растения получают азот в доступной для них форме. Для расщепления M_2 бактериям необходимо много энергии на разрыв тройной связи ($N=N1$). Бактерии в клубеньках бобовых расходуют на фиксацию 1 г атмосферного азота около 10 г глюкозы (примерно 40 ккал), синтезируемой растением на свету. При промышленной фиксации N_2 (получение NH_3) также расходуется много энергии горючих ископаемых, поэтому азотные удобрения стоят дороже любых других. Таким образом, центральное место в биотической циркуляции азота занимает NH_3 .

Он выращивает на обширных площадях бобовые растения, а также промышленным способом связывает азот.

Подсчитано, что сельское хозяйство и промышленность дают почти на 60 % больше фиксированного азота, чем естественные наземные экосистемы. В этом случае люди пытаются копировать природную стратегию взаимовыгодного сотрудничества, способствующую выживанию. Если бы специалистам по генной инженерии удалось индуцировать образование клубеньков у пшеницы, кукурузы, риса и других пищевых культур, это помогло бы сэкономить немало средств и энергии, избавило бы от необходимости внесения азотных удобрений. Хороших результатов можно достигнуть и сейчас, если лучше использовать бобовые в сельском хозяйстве. Бобовые растения - природные фиксаторы азота - работают активнее в среде с малым количеством азота, поэтому внесение азотных удобрений под бобовые не имеет смысла, так как выключает биофиксацию атмосферного M_2 . Из азота, поступившего с удобрениями, очень небольшая часть вовлекается в круговорот повторно. Большая доля его теряется: выносится с водой, с урожаем и в процессе денитрификации. В США, например, количество используемых азотных удобрений с 1950 г. возросло в 12 раз, а урожай - не более чем в 2 раза. Кроме того, избыток нитратов в пище и воде может быть опасен для людей. Напрасной траты азота и энергии можно избежать, если рационально чередовать зерновые и бобовые культуры в севообороте.

Ежегодно в глобальном круговороте биотическим сообществом усваивается около 10^9 т азота. При этом 80 % его поступает с суши и воды и лишь около 20 % добавляется «нового» азота из атмосферы.

В масштабе биосферы, благодаря механизмам обратной связи и большому резервному фонду, круговорот азота относительно совершенен. Хотя часть азота из густонаселенных областей уходит в глубоководные океанические отложения и выключается из круговорота, возможно, на миллионы лет - эта потеря в какой-то мере недостаток которого на поверхности ограничивает рост растений, является фосфор. Циркуляция его легко нарушается, так как основная масса вещества сосредоточена в малоактивном и малоподвижном резервном фонде, захороненном в земной коре. Если «захоронение» совершается быстрее, чем обратный подъем на поверхность, то значительная часть обменного материала на длительное время выбывает из круговорота. Такая ситуация складывается часто, когда добывают фосфатные породы: свалки отходов производства возникают вблизи шахт и заводов, а часть фосфора выключается из оборота.

Человек так изменяет движение многих веществ, что круговороты становятся несовершенными, теряют цикличность. В результате в одних местах возникает недостаток, а в других - избыток некоторых веществ. Механизмы, обеспечивающие возвращение веществ в круговорот, основаны главным образом на биологических процессах.

Наибольшее значение имеет в биосфере круговорот фосфора.

Круговорот фосфора. Фосфор - один из наиболее важных биогенных элементов. Он входит в состав нуклеиновых кислот, клеточных мембран, ферментов, костной ткани, дентина. По сравнению с азотом он встречается в относительно немногих химических формах. В биотический круговорот фосфор поступает в процессе разрушения протоплазмы организмов и постепенно переходит в фосфаты. в круговорот происходит в основном:

1) в процессе эрозии фосфатных пород (в том числе, гуано) и

2) в следствие минерализации продуктов жизнедеятельности и органических остатков растений и животных.

Образующиеся фосфаты (PO_4^{3-}) поступают в наземные и водные экосистемы, где вновь могут потребляться растениями и животными для построения белков протоплазмы и в промышленном производстве удобрений и моющих средств.

Механизмы возвращения фосфора в круговорот в природе недостаточно эффективны и не возмещают его потерь. Сейчас не происходят сколько-нибудь значительные поднятия отложений на поверхность. Вынос фосфатов на сушу осуществляется в основном с рыбой. Но это не компенсирует их поток с суши в море. Морские птицы также участвуют в возвращении фосфора в круговорот (например, скопления гуано на побережье Перу). Однако перенос фосфора и других веществ из моря на сушу птицами сейчас происходит не столь интенсивно, как в прошлом.

Это ведет к потерям фосфора и захоронению его на дне океана, что делает цикл менее замкнутым. Так, по некоторым оценкам, с морской рыбой, вылавливаемой человеком, на сушу возвращается лишь около 60 тыс. т в год элементарного фосфора. Добывается же ежегодно около 2 млн т фосфорсодержащих пород. Большая часть этого фосфора попадает в море с моющими средствами, в производстве которых он используется, и с удобрениями, т. е. выключается из круговорота. Так, например, потери фосфора с ненарушенных облесенных водосборных бассейнов невелики и компенсируются поступлениями с дождем и продуктами выветривания. Но ниже по течению рек, где деятельность человека активна, - иная картина. С увеличением степени освоения, т. е. с увеличением площадей, занятых сельскохозяйственными полями и городами, в водах рек резко возрастает содержание фосфора. В воде, стекающей с городских территорий, в 7 раз больше этого элемента, чем в воде реки, протекающей по местности, занятой лесом.

Исследования показали, что в наземных экосистемах большая часть фосфора находится в связанной форме и недоступна для растений. Отсюда можно сделать очень важный для практики вывод: избыток удобрений может оказаться столь же

невыгодным, как и их недостаток. Если в почву вносится больше вещества, чем могут использовать в данный момент организмы, избыток его быстро связывается почвой и отложениями, становясь недоступным именно в тот период, когда он наиболее необходим организмам. Многие полагают, что если на площадь их сада следует внести 1 кг удобрений, то 2 кг принесут в два раза больше пользы. Но субсидии превращаются в источник стресса, если применять их в избытке.

В конечном счете, если мы хотим предотвратить угрозу голода, придется серьезно заниматься возвращением фосфора в круговорот. Уповать на геологические подьемы отложений в некоторых районах Земли, которые вернут на сушу «потерянные фосфаты», вряд ли возможно. Разумнее искать другие пути предотвращения потерь фосфора и прежде всего сократить его сброс в водные объекты. Следует активнее использовать сточные воды для орошения наземной растительности, которая аккумулирует фосфор на поверхности, или пропускать их через естественные водно-болотистые угодья, вместо того чтобы сбрасывать в реки.

Сохранение цикличности круговорота фосфора очень важно, потому что из всех биогенных веществ, необходимых организмам в больших количествах, фосфор - один из наименее доступных элементов на поверхности Земли. Фосфор и теперь часто лимитирует первичную продукцию экосистем, а в будущем его лимитирующее значение может резко возрасти, что грозит снижением пищевых ресурсов планеты.

Круговороты второстепенных элементов. Второстепенные элементы, как и жизненно важные, мигрируют между организмами и средой. Многие из них концентрируются в тканях благодаря химическому сходству с какими-либо важными биогенными элементами, что может оказаться опасным для организма. Некоторые второстепенные элементы попадают в круговорот в результате деятельности человека. Угрозу представляют токсичные отходы, все в больших объемах сбрасываемые в окружающую среду и примешивающиеся к основным круговоротам жизненно важных элементов. Большинство второстепенных элементов в концентрациях и формах, обычных для природных систем, не оказывают отрицательного влияния на организмы, так как последние к ним адаптированы. Но и очень редкий элемент, если он вносится в среду в форме высокотоксичного соединения металла или искусственного радиоактивного изотопа, может приобрести важное значение, так как даже небольшое количество такого вещества способно оказывать значительный биологический эффект.

В качестве примеров рассмотрим стронций, цезий и ртуть. При циркуляции стронция и цезия может происходить их концентрация в тканях.

Стронций ^{90}Sr - хороший пример ранее малоизученного элемента, который теперь служит объектом особого внимания в связи с большой опасностью его радиоактивного изотопа для человека и животных. По свойствам стронций похож на кальций. На 1000 атомов кальция, участвующих в биогеохимическом цикле в природе, приходится 2,4 атома стронция. При производстве ядерного оружия и при работе атомных станций среди отходов обнаруживается радиоактивный стронций-90, который был неизвестен до расщепления атома человеком. Даже ничтожно малые количества радиоактивного ^{90}Sr , поступающие в окружающую

среду с утечками из ядерных реакторов и после испытаний атомного оружия, опасны, поскольку мигрируют вместе с кальцием. Стронций, попадая через растения и животных в пищу человека, может накапливаться в костных тканях людей, как и кальций. По мнению некоторых ученых, в костях человека уже содержится такое количество стронция, которое может оказывать канцерогенное действие.

Цезий-137 - другой опасный продукт деления атома. Он схож по свойствам с калием, и потому тоже очень активно циркулирует по пищевым цепям и может накапливаться в тканях человека. Как отмечалось выше, именно неумение избавляться от опасных радиоактивных отходов пока мешает более широкому применению атомной энергии в мирных целях.

Биогеохимический цикл ртути Hg - пример круговорота природного элемента, который почти не влиял на организмы до наступления индустриальной эры. Ртуть химически малоподвижна, а концентрации ее в природе невелики. Разработка месторождений и промышленное использование увеличили поток ртути в атмосферу. Соответственно увеличился и ее сток с поверхностными водами. Увеличение содержания ртути, как, впрочем, и других тяжелых металлов (кадмия, меди, цинка, хрома), в окружающей среде стало серьезной проблемой. Ртуть используется в различном электротехническом оборудовании, термометрах, зубных пломбах, лекарствах, красках, фунгицидах и др. Больше половины расходуемой ртути не возвращается в производство. Это означает, что она попадает в природные воды и оказывается в окружающей среде.

В результате разработки отложений и увеличения выбросов ртути возрастает ее количество в почвах, воде, живых организмах. При этом микроорганизмы, участвующие в круговороте, превращают ее нерастворимые формы в растворимую, очень подвижную и очень ядовитую - метилртуть. Рыбы и моллюски накапливают метилртуть до концентраций, опасных для человека, использующего их в пищу.

Трансформация веществ в окружающей среде и накопление их в живых организмах в процессе круговорота должны учитываться при использовании опасных химических элементов.

4.4. Возврат веществ Рециркуляция веществ в природных экосистемах в кругооборот должна служить моделью для решения одной из главных природоохранных задач - возвращения различных использованных веществ в естественные циклы.

Возвращение веществ в круговорот благодаря жизнедеятельности организмов, живущих в симбиозе с растениями. Это могут быть бактерии, микроскопические грибы, водоросли, лишайники, другие растения. Они передают элементы питания непосредственно растениям, как, например, клубеньковые бактерии. Этот путь особенно важен в экосистемах с низким содержанием питательных веществ.

Поступление в круговорот элементов и веществ в результате физических процессов, движимых солнечной энергией, т. е. в результате выветривания, эрозии, с потоками воды и т. д.

Вода также возвращается в круговорот благодаря энергии Солнца. Таким путем элементы из осадочных пород выносятся из абиотического резервуара и попадают в биотические циклы.

Поступление элементов в биогеохимические циклы, связанные с деятельностью человека и затратами энергии ископаемого топлива. Таким путем возвращаются в круговорот опресненная морская вода, биогенные элементы в виде удобрений, металлы, другие ценные вещества, извлекаемые из отходов, и т. д.

На возврат веществ в круговорот всегда затрачивается энергия. Для первых трех путей энергия поступает из органических веществ, для четвертого - от Солнца, для пятого - от топлива. В четырех случаях из пяти людям не приходится затрачивать дорогостоящее топливо. Если не нарушать природные механизмы рециркуляции, то они способны возвращать в круговорот и воду, и питательные вещества. Повторное же использование промышленных материалов, например металлов (когда их запасы ограничены), требует затрат топлива и денежных средств.

Иногда элементы питания могут высвободиться из остатков и выделений организмов и без участия микроорганизмов. Этот процесс называется автолизом (саморастворением). Автолиз имеет большое значение тогда, когда степень дисперсности отмерших частичек велика (размеры очень малы), т. е. они имеют большую (относительно объема) поверхность соприкосновения с водой. В водных системах еще до бактериального разложения детрита может освобождаться от 25 до 75 % биогенных элементов. При проектировании систем очистки сточных вод часто выгодно затратить механическую энергию для распыления органического вещества, чтобы ускорить его разложение. Такую же работу выполняют и животные организмы, измельчая и перерабатывая органические остатки (например, дождевые или водные черви). Так, водные черви олигохеты, из семейства трубчатых, пропускают за сутки через кишечник количество ила, во много раз превосходящее массу их тела. Грубый ил и детрит в кишечнике перетираются и выбрасываются на поверхность отложений уже сильно измененными по механическому и химическому составу, а увеличение степени дисперсности и минерализация переработанных частиц в 3 - 4 раза ускоряют освобождение питательных веществ (Л. И. Цветкова, 1968).

Рециркуляцию веществ в антропогенной системе промышленного города удобно рассмотреть на примере повторного использования бумаги. Ее движение напоминает циркуляцию важных элементов в естественных экосистемах. Пока имеются большие запасы деревьев в лесу, бумажные фабрики и свободные участки земли для свалки ненужной бумаги, нет стимулов тратить средства и энергию на ее повторное использование. Но по мере того как растет плотность населения в пригородах, дорожает земля, становится все труднее находить места для свалок - отходы на выходе накапливаются. Запасы пригодной древесины могут постепенно иссякать (беднеют ресурсы среды на входе). Возможно также, что существующие фабрики перестанут обеспечивать спрос на бумагу. Во всех этих случаях следует подумать о повторном использовании бумаги. Для этого должен быть рынок сбыта старой бумаги, т. е. фабрика по переработке

макулатуры. Такая фабрика реализует механизмы экономии энергии путем рециркуляции и соответствует диссипативной структуре в природной системе.

Вторичное использование бумаги выгодно всему населению. Это уменьшает вред, наносимый окружающей среде, и расходы, идущие на очистку города. Для вторичного использования бумаги необходимы: участие горожан; система сбора и склады для хранения; заводы по переработке макулатуры; транспорт; рынок для использованной бумаги (перерабатывающая фабрика); экономически эффективная технология переработки. К сожалению, из-за инерции и административного разделения города и области часто слишком поздно начинают утилизировать использованные материалы, что ведет к моральным и материальным убыткам.

Лекция 5

5.1. Среда обитания и условия. Она складывается из множества неорганических и органических компонентов, включая привносимые человеком. При этом некоторые из них могут быть необходимы организмам, другие не играют существенной роли в их жизни. Так, например, заяц, волк, лиса и любое другое животное в лесу находятся во взаимосвязи с огромным количеством элементов. Без таких, как воздух, вода, пища, определенная температура, -они обойтись не могут. Другие же, например, валун, ствол дерева, пень, кочка, канавка, - элементы среды, к которым они могут быть безразличны. Животные вступают с ними во временные (укрытие, переправа), но не обязательные взаимоотношения.

Экологические факторы могут быть необходимы или вредны для живых существ, способствовать или препятствовать выживанию и размножению.

Различные организмы по-разному реагируют на одни и те же экологические факторы. Адаптация (лат. *adaptatio* - приспособление) к существованию в различных условиях выработалась у организмов исторически. Все многообразие экологических факторов обычно подразделяют на три группы: абиотические, биотические и антропогенные.

Абиотические факторы - это совокупность важных для организмов свойств неживой природы. Эти факторы, в свою очередь, можно разделить на химические (состав атмосферы, воды, почвы) и физические (температура, давление, влажность, течения и т. п.). Разнообразие рельефа, геологических и климатических условий порождают и огромное разнообразие абиотических факторов.

Биотические факторы - это совокупность воздействий жизнедеятельности одних организмов на другие. Для каждого организма все остальные - важные факторы среды обитания, они оказывают на него не меньшее действие, чем неживая природа. Эти факторы тоже очень разнообразны.

Все многообразие взаимоотношений между организмами можно разделить на два основных типа: антагонистические (гр. *антагонизма* -борьба) и неантагонистические.

Паразиты делятся на эктопаразитов, живущих на поверхности тела (клещи, пиявки, блохи), и эндопаразитов, обитающих в теле хозяина (гельминты, бактерии, вирусы, простейшие).

Конкуренция наглядно проявляется у растений. Деревья в лесу стремятся охватить корнями возможно большее пространство, чтобы получать воду и питательные вещества. Они также тянутся в высоту к свету, стремясь обогнать своих конкурентов. Сорные травы забивают другие растения. Много примеров из жизни животных. Обостренной конкуренцией объясняется, например, несовместимость в одном водоеме широкопалого и узкопалого раков: побеждает обычно узкопалый рак, так как более плодовит.

Неантагонистические взаимоотношения теоретически можно выразить многими комбинациями: нейтральные (0 0), взаимовыгодные (+ +), односторонние (0 +) и др. Основные формы этих взаимодействий следующие: симбиоз, мутуализм и комменсализм.

обязательные взаимоотношения разных видов организмов (+ +). Пример симбиоза - сожительство рака-отшельника и актинии: актиния передвигается, прикрепляясь к спине рака, а тот получает с помощью актинии более богатую пищу и защиту. Иногда термин «симбиоз» используют в более широком смысле - «жить вместе».

Мутуализм - взаимовыгодные и обязательные для роста и выживания отношения организмов разных видов (+ +). Лишайники - хороший пример положительных взаимоотношений водорослей и грибов. При распространении насекомыми пыльцы растений у обоих видов вырабатываются специфические приспособления: цвет и запах у растений, хоботок - у насекомых и др.

при которых один из партнеров извлекает выгоду, а другому они безразличны (+ 0). Комменсализм часто наблюдается в море: почти в каждой раковине моллюска, в теле губки есть «незваные гости», использующие их как укрытия. Птицы и животные, питающиеся остатками пищи хищников, - примеры комменсалов. Иногда очень трудно провести грань между симбиозом и мутуализмом, между комменсализмом и паразитизмом и другими взаимодействиями. Однако четко наблюдается тенденция перехода по ходу эволюции от паразитизма к комменсализму и мутуализму, так как в условиях, когда лимитированы некоторые ресурсы, кооперация дает преимущества.

Ясно, что люди должны переходить к мутуализму с природой. Если этого не произойдет, то, подобно неадаптированному паразиту, человек погубит своего хозяина и тем самым погубит себя.

Несмотря на конкуренцию и другие типы антагонистических отношений, в природе многие виды могут спокойно уживаться.

Например, разные виды дятлов. Хотя все они одинаково питаются насекомыми и гнездятся в дуплах деревьев, но имеют как бы разную специализацию. Большой пестрый дятел добывает пищу в стволах деревьев, средний пестрый - в крупных верхних ветвях, малый пестрый - в тонких веточках, зеленый дятел охотится на муравьев на земле, а трехпалый

выискивает мертвые и обгоревшие стволы деревьев, т. е. разные виды дятлов имеют разные экологические ниши.

Некоторые авторы вместо термина «экологическая ниша» используют термины «местообитание» или «среда обитания». Последние включают лишь пространство обитания, а экологическая ниша, кроме того, определяет функцию, которую выполняет вид.

Наблюдения показывают, что два вида, сосуществующие на одной территории, не могут иметь совершенно одинаковые требования к условиям жизни. Иначе один из них обязательно вытеснит другой.

В отсутствие убежищ или других возможностей распределения функций вид, который сильнее подавляет своего партнера, рано или поздно обязательно его вытеснит, независимо от значений коэффициентов конкуренции.

Эта закономерность экспериментально была подтверждена российским ученым Г. Ф. Гаузе (1934), который проводил опыты с родственными видами инфузорий, поместив их культуры вместе в богатую пищей среду (как бы в одну экологическую нишу).

Через 18 сут в среде обнаружили практически только один вид инфузории. При этом ни один из организмов не нападал на другой и не выделял токсичных веществ. Просто этот вид отличается более высокой скоростью естественного роста и побеждает второй вид.

Эта закономерность получила название правила или теоремы Гаузе.

Даже если два близких вида и обитают в одном месте, то более глубокий анализ показывает, что они избегают конкуренции каким-либо способом: имеют различия в суточной или сезонной активности или в пище. Так, два родственных вида баклана - большой и хохлатый бакланы - кормятся в одних и тех же водах и гнездятся на обрывах. На самом деле места их гнездования несколько различаются, и питаются они разной рыбой. Большой баклан добывает пищу у дна (камбалы и креветки), а хохлатый ловит планктонную рыбу в верхних слоях воды.

Близкородственные виды со сходными потребностями обитают часто в разных географических областях. Вероятно, действие естественного отбора в процессе эволюции направлено на предотвращение конфронтации видов со сходным образом жизни.

Кроме непосредственных воздействий организмы влияют друг на друга и косвенно: бактерии формируют химический состав почв, воды; растения влияют на микроклимат и прочие физические факторы и т. д.

Антропогенные факторы - это совокупность различных воздействий человека на неживую и живую природу. По мере исторического развития человечества природа обогатилась качественно новыми явлениями. Только самим своим физическим существованием люди оказывают заметное влияние на среду обитания: в процессе дыхания они ежегодно выделяют в атмосферу $1-10^{12}$ кг CO_2 , а с пищей потребляют около $5-10^{15}$ ккал. В значительно большей степени на биосферу влияет производственная деятельность людей. В результате нее изменяются рельеф и состав земной поверхности, химический состав атмосферы, климат, происходит перераспределение пресной воды, исчезают естественные

экосистемы и создаются искусственные агро- и техноэкосис-темы, возделываются культурные растения, одомашниваются животные и т. д.

Воздействие человека может быть прямым и косвенным. Например, вырубка и раскорчевка леса оказывают не только прямое действие (уничтожение деревьев и кустарников), но и опосредованное - изменяются условия существования птиц и зверей. Подсчитано, что с 1600 г. человеком так или иначе уничтожено 162 вида птиц и свыше 100 видов млекопитающих. Но, с другой стороны, он создает новые сорта растений и породы животных, постоянно увеличивает их урожайность и продуктивность. Искусственное переселение растений и животных также оказывает большое влияние на жизнь экосистем. Так, кролики, завезенные в Австралию, размножились там настолько, что причинили огромный ущерб сельскому хозяйству.

Стремительная урбанизация - рост городов в последние полвека - изменила лик Земли сильнее, чем многие другие виды деятельности за всю историю человечества. Наиболее очевидное проявление антропогенного влияния на биосферу - загрязнение окружающей среды.

Значение антропогенных факторов постоянно растет, по мере того как человек все больше подчиняет себе природу. Воздействие их так велико, что породило новую дисциплину - «Охрана окружающей среды», экологические принципы которой рассматриваются во второй части учебника - «Основы прикладной экологии».

Приведенное разделение экологических факторов на три группы, конечно, условно. Оно не может охватить всю сложность взаимоотношений организмов с окружающей средой. При анализе экологических факторов следует учитывать их значимость, изменчивость и адаптации организмов к ним. По мнению А. С. Мончадского (1962), например, экологические факторы следует подразделять на две группы - изменяющиеся закономерно, периодически, и изменяющиеся без каких-либо закономерностей.

5.2. Экологическая пластичность

Несмотря на большое разнообразие экологических факторов, в характере их воздействия и в ответных реакциях живых организмов можно выявить ряд общих закономерностей. Эффект влияния факторов зависит не только от характера их действия (качества), но и от количественного значения, воспринимаемого организмами: высокая или низкая температура; степень освещенности, влажности; количество пищи и т. д. В процессе эволюции выработалась способность организмов адаптироваться к экологическим факторам в определенных количественных пределах. Уменьшение или увеличение значения фактора за этими пределами угнетает жизнедеятельность, а при достижении некоторого минимального или максимального уровня наступает гибель.

Зоны действия экологического фактора и теоретическая зависимость жизнедеятельности организма, популяции или сообщества от количественного значения фактора.

Количественный диапазон фактора, наиболее благоприятный для жизнедеятельности, называется экс пот. Минимальное и максимальное

значения фактора, при которых наступает гибель, называются соответственно минимумом и экологическим максимумом.

Любые виды организмов, популяций или сообществ приспособлены, например, к существованию в определенном интервале температур. Диапазон колебаний температур в воде меньше, чем на суше, поэтому выносливость водных организмов к ее колебаниям меньше, чем наземных.

Верхним пределом жизни, вероятно, являются температуры, при которых разрушаются ферменты и свертываются белки (50 -60 °С). Однако отдельные организмы могут существовать при более высоких температурах. В горячих источниках Камчатки и Америки, например, были обнаружены водоросли при температуре 82 °С и более.

Нижний предел температуры, при котором возможна жизнь, около -70 °С, хотя часто кустарники в Якутии не вымерзают даже при такой температуре. В анабиозе, т. е. в неактивном состоянии, некоторые организмы сохраняются при абсолютном нуле (-273 °С).

Чем шире диапазон экологического фактора, в пределах которого данный организм может жить, тем больше его экологическая пластичность. По степени пластичности выделяют два типа организмов: стенобионтные (стеноэки) и эврибионтные (эвриэки).

Стенобионтные и эврибионтные организмы различаются диапазоном экологического фактора, в котором они могут жить.

Стенобионтные, или узкоприспособленные, виды способны существовать лишь при небольших отклонениях фактора от оптимального значения.

Эврибионтными называются организмы, выдерживающие большую амплитуду колебаний экологического фактора.

Таким образом, стенобионты экологически непластичны, т. е. маловыносливы, а эврибионты экологически пластичны, т. е. более выносливы. К первым относятся, например, типичные обитатели морей, которые живут в условиях высокой солености (камбала), и типичные обитатели пресных вод (карась). Они обладают невысокой экологической пластичностью. А вот трехиглая колюшка, может жить как в пресных, так и в соленых водах, т. е. характеризуется высокой пластичностью.

Организмы, живущие длительное время в относительно стабильных условиях, утрачивают экологическую пластичность, а те, которые были подвержены значительным колебаниям фактора, становятся более выносливыми к нему, т. е. увеличивают экологическую пластичность.

Стено- или эврибионтность проявляются, как правило, по отношению к одному или немногим факторам. Так, эвритермное растение может быть стеногигробионтным (невыносливым к колебаниям влажности), а стеногалинная рыба оказывается эвритермной и т. п., обычно широко распространены. Многие простейшие эврибионты (бактерии, грибы, водоросли) являются космополитами. Стенобионты имеют ограниченный ареал распространения. Избирательное отношение видов к факторам обуславливает и избирательность их к заселению той или иной территории.

Исторически, приспособляясь к экологическим факторам, животные, растения, микроорганизмы распределяются по различным средам, формируя все многообразие экосистем, образующих в итоге биосферу Земли.

5.3. Лимитирующие факторы. Представление о лимитирующих факторах основывается на двух законах экологии: законе минимума и законе толерантности.

Закон минимума. В середине прошлого века немецкий химик Ю. Либих (1840), изучая влияние разнообразных питательных веществ на рост растений, обнаружил, что урожай зависит не от тех элементов питания, которые требуются в больших количествах и присутствуют в изобилии (например, CO_2 и H_2O), а от тех, которые, хотя и нужны растению в меньших количествах, но практически отсутствуют в почве или недоступны (например, фосфор, цинк, бор). Эту закономерность Либих сформулировал так: «Рост растений зависит от того элемента питания, который присутствует в минимальном количестве». Позднее этот вывод стал известен как закон минимума Либиха и был распространен также и на многие другие экологические факторы. Ограничивать, или лимитировать развитие организмов могут и тепло, и свет, и вода, и кислород, и другие факторы, если их значение соответствует экологическому минимуму.

Дальнейшие исследования показали, что закон минимума имеет два ограничения, которые следует учитывать при практическом применении.

Первое ограничение состоит в том, что закон Либиха строго применим лишь в условиях стационарного состояния системы. Например, в некотором водоеме рост водорослей ограничивается в естественных условиях недостатком фосфатов (фосфор - биогенный элемент, который, как отмечалось ранее, является труднодоступным в природных условиях). Соединения азота при этом содержатся в воде в избытке. Если в этот водоем начнут сбрасывать сточные воды с высоким содержанием минерального фосфора, то водоем может «зацвести». Этот процесс будет прогрессировать до тех пор, пока один из элементов не израсходуется до ограничительного минимума. Теперь это может быть азот, если фосфор поступает с постоянной скоростью. В переходный же момент (когда азота еще достаточно, а фосфора уже достаточно) эффекта минимума не наблюдается, т. е. ни один из этих элементов не влияет на рост водорослей.

Второе ограничение связано с взаимодействием нескольких факторов. Иногда организм способен заменить (хотя бы частично) дефицитный элемент другим, химически близким. Так, в местах, где много стронция, в раковинах моллюсков он может заменять кальций при недостатке последнего. Или, например, потребность в цинке у некоторых растений снижается, если они растут в тени. Следовательно, низкая концентрация цинка меньше будет лимитировать рост растений в тени, чем на ярком свете. В этих случаях лимитирующее действие даже недостаточного количества того или иного элемента может не проявляться.

Закон толерантности был открыт английским биологом В. Шелфордом (1913), который обратил внимание на то, что ограничивать развитие живых организмов могут не только те экологические факторы, значения которых

минимальны, но и те, которые характеризуются экологическим максимумом. Избыток тепла, света, воды и даже питательных веществ может оказаться столь же губительным, как и их недостаток. Позднее были проведены многочисленные исследования, которые позволили установить пределы толерантности, т. е. возможного существования, для многих растений и животных. Законы Ю. Либиха и В. Шелфорда помогли понять многие явления и распределение организмов в природе.

Было установлено следующее:

- организмы с широким диапазоном толерантности ко всем факторам широко распространены в природе и часто бывают космополитами. Например, многие патогенные бактерии;

- организмы могут иметь широкий диапазон толерантности в отношении одного фактора и узкий диапазон относительно другого. Например, люди более выносливы к отсутствию пищи, чем к отсутствию воды, т. е. предел толерантности относительно воды более узкий, чем относительно пищи;

- если условия по одному из экологических факторов становятся неоптимальными, то может измениться и предел толерантности по другим факторам. Например, при недостатке азота в почве злакам требуется гораздо больше воды;

- наблюдаемые в природе реальные пределы толерантности меньше, чем потенциальные возможности организма адаптироваться к данному фактору. Это объясняется тем, что в природе пользоваться оптимальными физическими условиями среды часто мешают биотические отношения (конкуренция, отсутствие опылителей, хищники) и другие взаимодействия факторов. Любой человек лучше реализует свои потенциальные возможности в благоприятных условиях (сборы спортсменов для специальных тренировок перед ответственными соревнованиями, например). Потенциальная экологическая пластичность организма, определенная в изолированных или лабораторных условиях, как правило, больше реализованных возможностей в естественных условиях. Соответственно различают потенциальную и реализованную экологические ниши;

- пределы толерантности у размножающихся особей и потомства меньше, чем у взрослых особей, т. е. самки в период размножения и их потомство менее выносливы к условиям жизни, чем взрослые организмы. Так, географическое распределение промысловых птиц чаще определяется влиянием климата на яйца и птенцов, а не на взрослых птиц. Забота о потомстве и бережное отношение к материнству продиктованы законами природы. К сожалению, иногда социальные «достижения» противоречат этим законам;

- экстремальные (стрессовые) значения одного из факторов ведут к снижению предела толерантности по другим факторам. Если в реку сбрасывается нагретая вода, то рыбы и другие организмы тратят почти всю свою энергию на преодоление этого стресса. Им не хватает энергии на добывание пищи, защиту от

хищников, размножение, что приводит к постепенному вымиранию. Психологический стресс также может вызывать многие соматические (гр. зота-тело) заболевания не только у человека, но и у некоторых животных (например, у собак). При стрессовых значениях фактора адаптации к нему становятся все более и более «дорогостоящими».

Лимитирующим фактором называется любой экологический фактор, приближающийся к крайним значениям пределов толерантности или превышающий их. Такие сильно отклоняющиеся от оптимума факторы приобретают первостепенное значение в жизни организмов и биологических систем. Именно они контролируют условия существования.

Ценность концепции лимитирующих факторов состоит в том, что она позволяет разобраться в сложных взаимосвязях в экосистемах. К счастью, не все возможные экологические факторы регулируют взаимоотношения между средой, организмами и человеком и управляют ими в каждой конкретной ситуации. Приоритетными в тот или иной отрезок времени оказываются различные лимитирующие факторы. На этих факторах эколог и должен сосредоточить свое внимание при изучении экосистем и управлении ими. Например, содержание кислорода в наземных местообитаниях велико, и он настолько доступен, что практически никогда не служит лимитирующим фактором (за исключением больших высот и антропогенных систем). Кислород мало интересует экологов, занимающихся наземными экосистемами. А в воде он нередко является фактором, лимитирующим развитие живых организмов («заморы» рыб, например). Поэтому гидробиолог всегда измеряет содержание кислорода в воде, в отличие от ветеринара или орнитолога, хотя для наземных организмов кислород не менее важен, чем для водных.

Лимитирующие факторы определяют и географический ареал вида. Так, продвижение организмов на север лимитируется, как правило, недостатком тепла. Биотические факторы также часто ограничивают распространение тех или иных организмов. Например, завезенный из Средиземноморья в Калифорнию инжир не плодоносил там до тех пор, пока не догадались завезти туда и определенный вид осы - единственного опылителя этого растения. Выявление лимитирующих факторов очень важно во многих видах деятельности, особенно в сельском хозяйстве. Если целенаправленно влиять на лимитирующие условия, можно быстро и эффективно повышать урожайность растений и производительность животных. Так, при разведении пшеницы на кислых почвах никакие агрономические мероприятия не дадут эффекта, если не применять известкование, которое снизит ограничивающее действие кислот.

Знание лимитирующих факторов позволяет управлять экосистемами. Однако в зависимости от периодов жизни организма и в разных ситуациях в качестве лимитирующих выступают различные факторы. Поэтому только умелое регулирование условий существования может дать эффективные результаты управления.

5.4. Взаимодействие и компенсация факторов. В природе экологические факторы действуют не независимо друг от друга - они

взаимодействуют. Анализ влияния одного фактора на организм или сообщество не самоцель, а способ оценки сравнительной значимости различных условий, действующих совместно в реальных экосистемах.

Совместное влияние факторов можно рассмотреть на примере зависимости смертности личинок крабов от температуры, солености и присутствия кадмия.

Температура и влажность - самые важные климатические факторы в наземных местообитаниях. Взаимодействие этих двух факторов, по существу, формирует два основных типа климата: морской и континентальный. Водоемы смягчают климат суши, так как вода обладает высокой удельной теплотой плавления и теплоемкостью. Поэтому морскому климату, который формируется вблизи больших озер и морей, свойственны менее резкие колебания и температуры, и влажности, чем континентальному.

Воздействие температуры и влажности на организмы также зависит от соотношения их абсолютных значений. Так, температура оказывает более выраженное лимитирующее влияние, если влажность очень велика или очень мала. Каждому известно, что высокие и низкие температуры переносятся хуже при высокой влажности, чем при умеренной.

Взаимосвязь температуры и влажности как основных климатических факторов часто изображают в виде графиков - климограмм, позволяющих наглядно сравнивать различные годы и районы и прогнозировать продукцию растений или животных для тех или иных климатических условий.

Организмы, в свою очередь, не являются рабами среды. Они приспособляются к условиям существования и изменяют их, т. е. компенсируют отрицательное воздействие экологических факторов.

Компенсация экологических факторов - это стремление организмов ослабить лимитирующее действие физических, биотических и антропогенных влияний. Компенсация факторов возможна на уровне организма и вида, но наиболее эффективна на уровне сообщества один и тот же вид, имеющий широкое географическое распространение, может приобретать физиологические и морфологические (гр. *τοῦρῆ* - форма, очертание) особенности, адаптированные к местным условиям. Например, у животных уши, хвосты, лапы тем короче, а тело тем массивнее, чем холоднее климат. Так, у лисиц, живущих в Сахаре, длинные конечности и огромные уши; европейская лисица более приземиста, уши у нее намного короче; а у арктической лисицы - песца - очень маленькие ушки и короткая морда.

У животных с хорошо развитой моторной активностью компенсация факторов возможна благодаря адаптивному поведению. Так, ящерицы избегают резких охлаждений, потому что днем они выходят на солнце, а ночью прячутся под нагретые камни. Возникающие в процессе адаптации изменения часто генетически закрепляются. На уровне сообщества компенсация факторов может осуществляться сменой видов по градиенту условий среды; например, при сезонных изменениях происходит закономерная смена видов растений.

Естественную периодичность изменений экологических факторов организмы используют также для распределения своих функций во времени. Они «программируют» свои жизненные циклы таким образом, чтобы максимально использовать благоприятные условия.

Наиболее ярким примером является поведение организмов во времени в зависимости от длины дня - фотопериода. Амплитуда длины дня возрастает с географической широтой, что позволяет организмам учитывать не только время года, но и широту местности. Фотопериод - это «реле времени», или пусковой механизм последовательности физиологических процессов. Он определяет рост и цветение растений, линьку, миграции и размножение у птиц и млекопитающих и т. д. Фотопериод связан с биологическими часами и служит универсальным механизмом регулирования функций во времени. Биологические часы связывают ритмы экологических факторов с физиологическими ритмами, позволяя организмам приспосабливаться к суточной, сезонной, приливно-отливной и другой динамике факторов.

Изменяя фотопериод, можно вызывать и желаемые изменения функций организма. Так, цветоводы, изменяя световой режим в теплицах, получают внесезонное цветение растений. Если после декабря сразу увеличить длину дня, то это может вызвать явления, происходящие весной, - цветение растений, линьку и т. д. У многих высших организмов адаптации к фотопериоду закрепляются генетически, т. е. биологические часы могут работать и при отсутствии закономерной суточной или сезонной динамики.

Только в этом случае удастся достоверно прогнозировать результаты изменений и нарушений и управлять экосистемами.

5.5. Примеры лимитирующих факторов - В качестве примеров лимитирующих факторов, позволяющих управлять природными и индустриальными системами, удобно рассмотреть пожары и антропогенный стресс.

- Пожары как антропогенный фактор чаще оцениваются только негативно. Исследования в последние 50 лет показали, что естественные пожары могут являться как бы частью климата во многих наземных местообитаниях. Они влияют на эволюцию флоры и фауны. Биотические сообщества «научились» компенсировать этот фактор и адаптируются к нему, как к температуре или влажности. Пожар можно рассматривать и изучать как экологический фактор, наряду с температурой, осадками и почвой. При правильном использовании огонь может быть ценным экологическим инструментом. Некоторые племена регулярно выжигали леса для своих нужд еще задолго до того, как люди стали целенаправленно изменять окружающую среду. Пожар - очень важный фактор в том числе и потому, что человек может его контролировать в большей степени, чем другие лимитирующие факторы. Трудно найти участок земли, особенно в районах с засушливыми периодами, где бы не случился пожар хотя бы раз за 50 лет. Чаще всего причиной пожаров в природе служит удар молнии.

Пожары бывают различных типов и оставляют разные последствия.

Верховые/ юпи «дикие;», пожары обычно очень интенсивны и не поддаются сдерживанию. Они уничтожают всю растительность и разрушают всю

органику почвы. Пожары такого типа оказывают лимитирующее действие почти на все организмы сообщества. Должно пройти много лет, пока участок вновь восстановится.

Низовые пожары совершенно иные. Они обладают избирательным действием: для одних организмов оказываются более лимитирующими, чем для других. Таким образом, низовые пожары способствуют развитию организмов с высокой толерантностью к их последствиям. Они могут быть естественными или специально организованными человеком. Например, плановое выжигание в лесу предпринимается с целью устранить конкуренцию для ценной породы болотной сосны со стороны лиственных деревьев. Болотная сосна, в отличие от лиственных пород, устойчива к огню, так как верхушечная почка ее сеянцев защищена пучком длинных плохо горящих иголок. При отсутствии пожаров поросль лиственных деревьев заглушает сосну, а также злаки и бобовые. Это приводит к угнетению куропаток и других мелких травоядных животных. Поэтому девственные сосновые леса с обильной дичью являются экосистемами «пожарного» типа, т. е. нуждающимися в периодических низовых пожарах. В данном случае пожар не ведет к потере питательных элементов почвой, не вредит муравьям, насекомым и мелким млекопитающим. Азотфиксирующим бобовым небольшой пожар даже полезен. Выжигание проводится во влажных условиях - вечером, чтобы ночью пожар был потушен росой, а узкий фронт огня было легко перешагнуть. Кроме того, небольшие низовые пожары дополняют действие бактерий по превращению отмерших остатков в минеральные питательные вещества, пригодные для нового поколения растений. С этой же целью весной и осенью часто сжигают опавшую листву. Плановое выжигание - пример управления природной экосистемой с помощью лимитирующего экологического фактора.

Решение вопроса о том, следует ли полностью исключить возможность пожаров или огонь надо использовать как фактор управления, должно целиком зависеть от того, какой тип сообщества желателен на этом участке. Американский эколог Г. Стод-дарт (1936) одним из первых выступил «в защиту» контролируемых плановых выжиганий для увеличения продукции ценной древесины и дичи еще в те времена, когда с точки зрения лесоводов любой пожар считался вредным. Тесная связь выгорания с составом трав играет также ключевую роль в поддержании удивительного разнообразия антилоп и поедающих их хищников в восточно-африканских саваннах. Положительно влияют пожары на многие злаковые, так как точки роста их и запасы энергии находятся под землей. После выгорания сухих надземных частей быстро возвращаются в почву элементы питания, и травы пышно вырастают.

Растения выработали специальные адаптации к пожарам. Толерантные к пожарам виды можно разделить на две группы. Первые вкладывают в подземные запасающие органы больше энергии, чем в органы размножения - незаметные цветы, мало семян. Эти виды быстро восстанавливаются после пожара. Вторые, напротив, дают многочисленные устойчивые семена. Эти растения гибнут в огне, но семена их готовы прорасти сразу после пожара.

Вопрос «жечь или не жечь», конечно, может смущать. По неосторожности человек нередко бывает причиной увеличения частоты «диких» пожаров. Борьба за пожарную безопасность в лесах и зонах отдыха - вторая сторона проблемы.

Антропогенный стресс также может рассматриваться как своеобразный лимитирующий фактор. Природные экосистемы в значительной степени способны компенсировать антропогенный стресс. Возможно, что они от природы адаптированы к острым периодическим стрессам. А многие организмы нуждаются в случайных нарушающих воздействиях, таких, как пожары или бури, которые способствуют их долговременной устойчивости. Большие водоемы часто обладают хорошей способностью к самоочищению и восстанавливают свои качества после загрязнения, так же как и многие наземные экосистемы. Однако долговременные хронические нарушения могут привести к выраженным и устойчивым негативным последствиям. В таких случаях эволюционная история адаптации не может помочь организмам - компенсационные механизмы не беспредельны. Особенно это касается тех случаев, когда сбрасываются сильнотоксичные отходы, которые постоянно производит индустриализованное общество и которые ранее отсутствовали в окружающей среде. Если мы не сможем изолировать эти ядовитые отходы от глобальных систем жизнеобеспечения, то они будут угрожать непосредственно нашему здоровью и станут для человечества основным лимитирующим фактором.

Антропогенный стресс условно подразделяют на две группы: острый и хронический. Для первого характерны внезапное начало, быстрый подъем интенсивности и небольшая продолжительность. При втором - нарушения невысокой интенсивности продолжаются долго или повторяются. Природные системы часто обладают достаточной способностью справляться с острым стрессом. Например, стратегия покоящихся семян позволяет лесу восстановиться после вырубki. Последствия хронического стресса могут быть более тяжелыми, так как реакции на него не столь очевидны. Могут пройти годы, пока изменения в организмах будут замечены. Так, связь между заболеванием раком и курением была выявлена лишь несколько десятков лет тому назад, хотя существовала давно.

В период адаптации к таким хроническим антропогенным воздействиям снижается толерантность организмов и к другим факторам, например к болезням. Хронические стрессы часто связаны с токсичными веществами, которые, хотя и в небольших концентрациях, но постоянно поступают в окружающую среду.

В статье «Отравление Америки» (журнал «Тайме» за 22.09.80) приводятся такие данные: «Из всех вмешательств человека в естественный порядок вещей ни одно не нарастает такими тревожными темпами, как создание новых химических соединений. Только в США хитроумные «алхимики» ежегодно создают около 1000 новых препаратов. На рынке имеется около 50000 разных химикатов. Многие из них, бесспорно, приносят человеку большую пользу, но почти 35000 используемых в США соединений определено или потенциально вредны для здоровья человека».

Опасность, возможно, катастрофическую, представляет загрязнение грунтовых вод и глубоких водоносных горизонтов, составляющих значительную долю водных ресурсов на планете. В отличие от поверхностных, грунтовые воды не подвержены естественным процессам самоочищения ввиду отсутствия солнечного света, быстрого течения и биотических компонентов. Опасения вызывают не только вредные вещества, попадающие в воду, почву и пищу. Миллионы тонн опасных соединений выносятся в атмосферу. Только над Америкой в конце 70-х годов выбрасывалось: взвешенных частиц - до 25 млн т-год¹, SO₂ - до 30 млн т-год¹, MO - до 23 млн т-год⁻¹, CO - до 105 млн т-год¹. Все мы также вносим вклад в загрязнение воздуха, пользуясь автомашинами, электричеством, промышленными товарами и т. д. Загрязнение воздуха - сигнал отрицательной обратной связи, который может спасти общество от гибели, так как это четкий сигнал, легко обнаруживаемый всеми.

Обработка твердых отходов долгое время считалась второстепенным делом. До 1980 г. были случаи, когда на бывших свалках радиоактивных отходов строили жилые кварталы. Теперь, хотя и с некоторым опозданием, стало ясно: накопление отходов лимитирует развитие промышленности. Без создания технологий и центров по их удалению, обезвреживанию и рециркуляции невозможен дальнейший прогресс индустриального общества. Прежде всего необходимо безопасно изолировать самые ядовитые вещества. Нелегальную практику «ночных сбросов» надо заменить их надежной изоляцией. Нужно искать заменители ядовитых химикатов. При правильном руководстве центры обезвреживания и утилизации отходов сами могут стать особой отраслью промышленности, которая даст новые рабочие места и внесет вклад в экономику.

Решение проблемы антропогенного стресса должно основываться на холистической концепции и требует системного подхода. Попытки заниматься каждым загрязняющим веществом как самостоятельной проблемой не только неэффективны - они лишь, перенеся? проблему из одного место » другое,

Если в ближайшем десятилетии не удастся сдержать процесс ухудшения качества окружающей среды, то вполне вероятно, что не дефицит природных ресурсов, а воздействие вредных веществ станет фактором, лимитирующим развитие цивилизации.

Лекция 6

6.1. Биосфера - живая оболочка земли

Автором термина «биосфера» является французский естествоиспытатель Жан Батист Ламарк, который употребил его в 1803 г. в труде по гидрогеологии Франции для обозначения совокупности организмов, обитающих на земном шаре. Затем термин был забыт. В 1875 г. его «воскресил» профессор Венского университета геолог Эдуард Зюсс (1831 - 1914) в работе о строении Альп. Он ввел

в науку представление о биосфере как особой оболочке земной коры, охваченной жизнью. В таком общем смысле впервые в 1914 г. использовал этот термин и В. И. Вернадский в статье об истории рубидия в земной коре.

И Учение В. И. Вернадского о биосфере было еще впереди. Его книга «Биосфера», переведенная затем на французский и английский языки, вышла в 1926 г. Статьи по этой тематике он публиковал до конца жизни. Изучение геохимической роли живого вещества В. И. Вернадский считал своей основной научной задачей. Но его главные мысли о биосфере, глубина и значение его идей, только теперь начинают осознаваться обществом. К сожалению, как зарубежные, так и отечественные исследователи раньше мало опирались на труды В. И. Вернадского, часть из которых впервые была опубликована только в конце 70-х гг. Идеям В. И. Вернадского предстоит сыграть ключевую роль в формировании мировоззрения современного человека, в понимании им своего места в природе и ответственности за будущее биосферы, в формировании новой экологической морали И ЭТИКИ.

Естественно, что в своих построениях В. И. Вернадский опирался на эмпирические данные своего времени, которые во многом устарели с позиций современности. Но главные его мысли об уникальной роли «живого вещества», которое неразрывно связано с окружающей материей и космическим пространством, учение о биосфере как развивающейся и самоорганизующейся системе еще долго будут служить науке. Авторы не ставили перед собой задачу подвергать ревизии количественные оценки тех или иных явлений и процессов, представленные в работах В. И. Вернадского. Они хотели лишь познакомить читателя с основными миропредставлениями ученого в их первоизданном виде.

Многие затронутые им проблемы остаются до сих пор нерешенными или спорными: возникновение жизни, ноосфера и др. Их актуальность в наши дни свидетельствует о могуществе и гениальности теоретических обобщений В. И. Вернадского, который во многом опередил свое время.

Взглянем на нашу планету глазами В. И. Вернадского. Он подчеркивал, что не строил никаких гипотез, а пытался описать картину планетного процесса на основе эмпирических обобщений. «Основные физические и химические свойства нашей планеты меняются закономерно в зависимости от их удаления от центра. В концентрических отрезках они идентичны, что может быть установлено исследованием» (В. И. Вернадский, 1926). Возможно выделить большие концентрические области и дробные внутри них, называемые земными оболочками, или геосферами (гр. де - земля, зрНа/га - поверхность шара). МОЖНО Предполагать, ЧТО В Глубоких областях Земли имеются достаточно устойчивые равновесные системы: ядро и мантия, а над ними - земная кора.

Вещество ядра, мантии и земной коры, вероятно, отделено друг от друга, и если переходит из одной области в другую, то очень медленно.

Ядро земного шара имеет иной химический состав, чем земная кора, в которой находимся мы. Можно лишь предполагать, что вещество ядра находится под давлением в тысячи атмосфер и состоит из тяжелых элементов (возможно, из железа) в вязком и газообразном состоянии при высокой температуре - свыше 1000 °С (по современным оценкам, до 5000 °С). Удельный вес ядра, по-видимому,

8-10 г см³, если исходить из того, что удельный вес верхних оболочек около 3, а в среднем для планеты - около 6 (в настоящее время считают, что плотность ядра выше 12 г еж³). Предполагаемая глубина до поверхности металлического ядра - около 2900 км, что соответствует скачкообразному изменению скорости распространения сейсмических волн, которые на такой глубине входят в другую область.

Мантия - вторая концентрическая область Земли - была названа СИМОЙ. Она имеет толщину мощностью в сотни или тысячи километров. Важную роль в ней играют пять химических элементов: кремний (Si), магний (Mg), кислород (O), железо (Fe) и алюминий (Al). Материя мантии во всех концентрических слоях является гомогенной, что связано с очень большим давлением, когда перестает существовать различие между твердым, жидким и газообразным состоянием. Такая материя не может иметь кристаллическое строение и, вероятно, напоминает стекловатую структуру или массу металла под большим давлением.

Энергия этих областей может быть только потенциальной и в течение геологического времени (сотни миллионов лет) не достигала земной поверхности. Нет никаких данных, которые указывали бы на химическую активность и отсутствие равновесия в ядре и мантии. Область мантии отделяет от земной коры изостатическая поверхность (гр. /зов - одинаковый, 5/0/05 - состояние покоя). Ниже изостатической поверхности должно существовать равновесие вещества и энергии. Эту поверхность удобно принять за нижнюю границу земной коры, которая отделяет глубинную область устойчивых равновесий от верхней области постоянных изменений на планете.

Земная кора - область планеты, лежащая выше изостатической поверхности. Материя земной коры в пределах одного и того же концентрического слоя, на одинаковом расстоянии от центра планеты, в отличие от материи первых двух областей, может быть различной. На это указывает распределение силы тяжести. Участки коры разной плотности (от 1 для воды до 3,3 для основных пород) сосредоточены именно в этой верхней части планеты. Из недр земной коры на поверхность Земли проникает свободная энергия - теплота, связанная с атомной энергией радиоактивных химических элементов, сосредоточенных главным образом в этой области. В земной коре различают несколько концентрических оболочек. Поверхности их разграничения не являются строго шаровыми, и разделение их иногда затруднительно. Каждая такая оболочка характеризуется своими физическими и химическими динамическими равновесиями. Ниже поверхности Земли, вероятно, существуют три оболочки. Верхняя из них - гранитная оболочка - состоит из кислых пород и относительно богата радиоактивными элементами (до глубины 9-15 км). В более глубоких слоях (до 34 км) происходят изменения кристаллического состояния вещества и залегают основные породы, аналогичные стеклу. Ниже 60 км лежат тяжелые породы с удельным весом 3,4 - 4,4.

Геосферы - установленные эмпирическим путем земные оболочки - можно классифицировать по разным признакам. В. И. Вернадский выделил 6 термодинамических оболочек, определяемых независимыми переменными - температурой и давлением; 8 фазовых оболочек, характеризуемых фазовым

состоянием веществ, т. е. твердым, жидким, газообразным, стекловатым и др.; 10 химических оболочек, различающихся химическим составом.

Вне этой схемы остается оболочка - биосфера. В биосфере кроме двух независимых переменных - температуры и давления - появляются такие независимые переменные, как солнечная энергия и «живое вещество». Живые организмы, привнося в физико-химические процессы лучистую энергию Солнца, резко отличаются от остальных независимых переменных. Они меняют существовавшие на планете физико-химические равновесия. Организмы представляют собой особые автономные вторичные системы динамических равновесий в первичном термодинамическом попе Земли. Так, например, организмы удерживают свою собственную температуру в среде другой температуры, имеют свое внутреннее давление, отличное от внешнего. С точки зрения химии, их особенность проявляется в том, что вещества, образующиеся в организмах, не могут получиться из тех же элементов в косной, окружающей их среде, а попадая во внешнюю среду, неизбежно в ней разрушаются. При этом выделяется свободная энергия и нарушается термодинамическое равновесие. В организмах происходят такие реакции, которые не могут происходить в абиотической среде. Например, восстановление CO_2 и расщепление H_2O одновременно возможны только в живых организмах: это основа биохимических процессов. Таким образом, все химические равновесия в биосфере изменяются в присутствии живых организмов, не нарушая при этом общие законы равновесий.

Живое вещество может рассматривать[^] '*o« одна из независимых переменных энергетического поля планеты. Очень вероятно, что в живом веществе основную роль играют не только состав и форма, но и симметрия атомов и молекул. Поэтому симметрия расположения атомов имеет в формировании оболочек планеты такое же значение, как и другие независимые переменные. В. И. Вернадский считал, что земные оболочки можно классифицировать также и по этому признаку, названному парагенетическим (гр. рагадепе $\$/z$ - закономерность в соотношении элементов). Он выделил 5 парагенетических оболочек. Кроме того, несомненно, что строение биосферы является результатом взаимодействия космических излучений и энергии планеты. Поэтому В. И. Вернадский выделил вокруг Земли еще 5 лучистых оболочек.

Классификация земных оболочек - геосфер, построенная В. И. Вернадским на основе эмпирических данных его времени, должна рассматриваться только как первое приближение к реальности и подлежит изменениям и дополнениям по мере расширения наших знаний о природе и строении планеты (табл. 6.1).

Биосфера - это живая оболочка Земли, совокупность экосистем, третья парагенетическая оболочка. Пределы биосферы обусловлены полем возможного существования жизни, которая может проявляться только в определенных энергетических, физических и химических условиях. Следовательно, жизнь охватывает не все оболочки планеты. Биосфера лежит в пределах одной термодинамической оболочки (второй); трех фазовых оболочек (третьей, четвертой и пятой); трех химических (четвертой, пятой и шестой) и двух лучистых (частично второй и третьей). Обычно биосферу подразделяют на три геосферы в зависимости от их фазового состояния: газовую оболочку, т. е. атмосферу

Атмосфера - газовая оболочка Земли, связанная с ней силой тяжести и принимающая участие в ее суточном и годовом вращении. Атмосферный воздух состоит из азота (78,09 %), кислорода (20,93 %), аргона (0,93 %), углекислого газа (0,03 %), водорода, гелия и др. Ближе к поверхности Земли (20 - 30 км) содержатся пары воды. Атмосфера делится на слои, различающиеся температурой, степенью ионизации молекул, давлением и др.: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера и экзосфера. Плотность воздуха постепенно убывает, и атмосфера без резких границ переходит в межпланетное пространство. Жизнь охватывает только нижнюю часть атмосферы - тропосферу.

Гидросфера - прерывистая водная оболочка Земли, занимает 71 % площади планеты. Гидросфера является средой обитания гидробионтов, встречающихся от пленки поверхностного натяжения до максимальных глубин мирового океана (11 км), и практически полностью входит в состав биосферы. Живые организмы играют огромную роль в круговороте воды. Весь объем гидросферы (около 1,5 млрд км³) проходит через живое вещество за 2 млн лет.

Литосфера - верхняя твердая оболочка Земли, часть которой входит в состав биосферы. Преобразование литосферы живым веществом началось около 450 млн лет назад и привело к появлению почвы, населенной живыми организмами (до 8 - 10 м от поверхности). Фактором, лимитирующим распространение жизни вглубь, является в основном высокая температура.

Верхняя граница биосферы обуславливается лучистой энергией, убивающей все живое, т. е. естественной верхней границей является озоновый экран, расположенный на расстоянии около 16 км от поверхности Земли на полюсах и до 25 км над экватором. Но только немногие птицы поднимаются до высочайших горных вершин, т. е. до 7 - 8 км. Нет ни одного организма, который всегда жил бы в воздушной среде. Лишь тонкий слой тропосферы (менее 100 м над Землей) можно считать наполненным жизнью.

Нижняя граница жизни в литосфере теоретически определяется высокой температурой. Температура 100 °С представляет непреодолимую преграду. Живые организмы в трещинах и нефтеносных скважинах могут встречаться на глубине до 3 км от земной поверхности.

В морях предельная для жизни температура встречается на глубине около 10 км.

По-видимому, захват геосфер жизнью не закончился, и границы биосферы будут расширяться. В частности, человек, наделенный разумом, может достигать посредством техники областей, недоступных для остального живого мира.

6.2. Биосфера и космос - оболочка Земли собирает из небесных пространств бесконечное число излучений, из которых видимые нам - световые - являются лишь их ничтожной частью. «Лик Земли становится видимым благодаря проникающим в него световым излучениям небесных светил, главным образом Солнца», - писал В. И. Вернадский (1926). Из невидимых излучений, охватывающих все мыслимое пространство, нам известны пока немногие; их значение в биосфере едва начинает осознаваться. Почти невозможно представить космическую среду мира, в которой мы живем, и сейчас мы далеки от удовлетворительного ее познания. Исходя из изучения длины волны, различают

огромную область космических излучений. Эта область, по оценкам В. И. Вернадского, «охватывает сейчас около сорока октав», причем видимая часть солнечного спектра является лишь одной из них. Космические лучи, принимаемые нашей планетой и строящие ее биосферу, лежат в пределах четырех с половиной октав солнечного света: одна октава световых, три - тепловых и половина октавы - ультрафиолетовых лучей.

Ультрафиолетовые коротковолновые излучения (180 -200 нм) в значительной мере задерживаются в разреженной части атмосферы - стратосфере (лат. зь-ал/т - настил, второй слой). Здесь происходит трансформация энергии коротких волн. Под влиянием этих лучей изменяются магнитные поля, распадаются молекулы, происходят ионизация, новообразование газов и других химических соединений. Эти процессы можно наблюдать в виде северных сияний, зарниц, различных свечений. Коротковолновые излучения разрушают все живое, в то время как длинноволновые организмам не вредят. Задерживая коротковолновое излучение, стратосфера охраняет от него область жизни. Поглощает эти лучи главным образом озоновый экран. Интересно, что образование самого озонового слоя обусловлено появлением кислорода – продукта ЖИЗНИ.

Как бы ни разрушался озон, он постоянно восстанавливается из кислорода, который поступает в нижние слои атмосферы в достаточном количестве.

Инфракрасные тепловые излучения Солнца необходимы для существования жизни. Тепловая энергия Солнца превращается на Земле в механическую, химическую, электрическую и другие виды энергии. Проявления этих превращений видны на каждом шагу: фотосинтез, жизнь организмов, движение ветра, морских течений и рек, разрушение скал, работа осадков и т. д. Атмосфера, океан, озера, реки, дождь и снег - все это аппарат, который производит колоссальную работу по трансформации тепловой энергии.

Однако как ультрафиолетовые, так и инфракрасные лучи Солнца участвуют в биохимических процессах только косвенным путем. Энергия «извлекается» из солнечной радиации «живым веществом» Земли.

- Видимый свет - основной источник жизни на планете. Почему же лишь малая часть космических излучений ответственна за процесс фотосинтеза, от которого зависит жизнь на Земле? Вся биологическая активность связана в основном с одними и теми же длинами волн видимого света (380 - 750 нм). Полагают, что это не случайно. Существуют две гипотезы.

Согласно первой гипотезе, живое вещество состоит из огромных молекул, конфигурация которых поддерживается в основном водородными и другими слабыми связями. Коротковолновые излучения с мощной энергией разрушают эти связи и выбивают электроны из атомов (ионизирующее излучение). Энергия же излучения с длиной волны больше, чем у видимого света, активно поглощается водой, которая составляет основную долю массы живых организмов. Длинноволновые лучи не могут изменить структуру органических молекул. Только средневолновое излучение видимой части спектра способно вызывать необходимые изменения в биологических системах.

Вторая гипотеза предполагает, что видимый свет был «выбран» организмами как наиболее доступный. Основная часть солнечного света, достигающего нашей планеты, лежит в пределах именно этой области. Коротковолновое излучение экранируется озоном, а значительная часть длинноволновой инфракрасной радиации поглощается водяными парами и углекислым газом, не успевая достигнуть земной поверхности.

Видимый свет создает «приспособленность окружающей среды» для жизни. Пригодность условий для жизни и соответствие живых систем физическим условиям среды - явления взаимосвязанные. Если бы эта взаимосвязь отсутствовала, то жизнь была бы невозможной.

С космическими излучениями биосфера получает новые, неизвестные для земного вещества свойства и формирует измененную силами космоса картину земной поверхности. Вещество биосферы благодаря им становится активным и распределяет аккумулированную солнечную энергию, превращая ее в другую, способную производить работу.

В этом смысле представления о людях как о детях Солнца гораздо ближе к истине, чем представления тех ученых, которые объясняют возникновение жизни лишь случайными изменениями земного вещества. Появление живой оболочки на границе с космической средой закономерно. Возникновение организмов является результатом сложных космических процессов, частью «стройного космического механизма», в котором нет случайностей. Это косвенно подтверждается многими фактами. Такими, например, как сходство в строении и составе земного вещества и вещества метеоритов и космической пыли; постоянство изотопного состава входящих в них химических элементов и др. Строение земной коры связано не только с историей Земли, но и с историей космоса. Много сходства обнаруживается и в составе наружных атмосферных оболочек небесных тел - Земли, Солнца, звезд. Объясняется это, вероятно, их непосредственным контактом с космической средой. Возможно также, что в космосе происходит обмен материей между этими телами. «Прошли тысячелетия, - писал В. И. Вернадский, - пока человеческая мысль смогла отметить черты единого механизма в кажущейся хаотической картине природы».

В процессе фотосинтеза живые организмы трансформируют солнечный луч в энергию новых химических соединений. «Живое вещество» с умом непостижимой быстротой покрывает планету мощной толщей молекулярных систем, дающих новые соединения, богатые свободной энергией. Эти неустойчивые соединения постоянно стремятся перейти в термодинамическом поле биосферы в устойчивое равновесие.

В чем бы явления жизни ни состояли, энергия, выделяемая организмами, есть в основном, а может быть, и целиком, энергия Солнца.

Итак, биосфера сочетает как сугубо земные, так и космические процессы, отражает их изменения в истории космоса. Биосферу нельзя понять, изучая явления, происходящие только в ней, без учета связей земных процессов со всем космическим пространством.

6.3. Живое вещество

По мнению В. И. Вернадского, «живой организм» биосферы должен изучаться целиком, как особое тело. Через организмы регулируются все химические процессы на поверхности планеты. Жизнь захватывает значительную часть атомов, составляющих земную кору. Из них организмы создают миллионы разнообразнейших соединений, и этот процесс длится без перерыва сотни миллионов лет. Чем больше изучаются химические явления на земной поверхности, тем больше доказательств того, что нет случаев, где бы они были независимы от жизни. Становится ясным, что прекращение биологической жизни привело бы к прекращению и геохимической жизни. Установилось бы химическое спокойствие, которое временами нарушалось бы лишь привнесением из земных глубин газов, лав и других веществ. Но эти вещества быстро приняли бы формы, характерные для безжизненной планеты. И даже нагревание Солнцем и деятельность воды мало изменили бы картину, ибо с прекращением жизни исчез бы свободный кислород, увеличилось бы содержание углекислого газа в атмосфере. Да и вода, лишенная биогенного кислорода, при температуре и давлении на поверхности Земли, в инертной газовой среде стала бы химически безразличным телом. Так жизнь является великим нарушителем спокойствия, инертности и косности нашей планеты.

Зеленые растения - это та часть единого «живого вещества», которая непосредственно использует солнечные лучи и создает энергетически активные химические соединения, т. е. «живое вещество» первого порядка. Даже по своей морфологии (гр. *τοφη* - форма) зеленые организмы приспособлены к исполнению своей космической функции - улавливанию солнечного луча. Свет как будто лепит формы листа, как из пластичного материала. Условия биосферы обеспечивают встречу луча с зеленым растением.

С зеленой частью биосферы неразрывно связан и весь остальной живой мир. Дальнейшую переработку созданных растениями химических соединений осуществляет живое вещество второго порядка - животные. Их деятельность можно рассматривать как развитие единого процесса превращения солнечной энергии в работающую энергию Земли. После смерти организмы попадают в иное термодинамическое поле среды и разрушаются с выделением энергии. Следовательно, совокупность всех живых организмов, все «живое вещество» - это область превращения световых излучений Солнца и накопления солнечной энергии в виде химической энергии.

Величие и значение этого процесса огромны. Непрерывно падает на Землю поток солнечного света и непрерывно растекается по всей поверхности Земли (и суши, и моря) аппарат его улавливания и превращения - «живое вещество». Живое вещество, подобно массе газа, растекается по земной поверхности и в окружающей среде, обходит препятствия и овладевает пространством.

В Размножение организмов, т. е. увеличение их численности, обеспечивает это движение и идет с определенным темпом во времени. Несмотря на чрезвычайную изменчивость жизни, размножение, рост, т. е. работа по превращению солнечной энергии в земную, - все подчиняется стройным математическим закономерностям, мере и гармонии, какие мы видим в движениях небесных светил и в системах атомов.

Область жизни - вся поверхность планеты. По выражению В. И. Вернадского, жизнь «всюдна» и стремится охватить все доступное пространство, расширяясь в геологическом времени. Растекание жизни есть проявление ее внутренней энергии. Эта энергия проявляется в переносе химических элементов и в создании из них новых тел - это геохимическая энергия жизни. Наблюдая за заселением пустых пространств, человек может созерцать движение солнечной энергии, превращенной в земную - биохимическую.

Размножение совершается с удивительной и неизменной математической правильностью и идет в биосфере непрерывно мириады лет. Если бы не было препятствий во внешней среде, то любые организмы, особенно бактерии, могли бы создать с непостижимой быстротой невероятные количества сложнейших химических соединений, являющихся вместилищем огромной химической энергии. Так, в морской воде обитают шаровые бактерии объемом 10^{12} см³. Если бы для их жизни не было препятствий, то менее чем за 1,5 суток они образовали бы пленку, покрывающую земной шар. Скорость продвижения шаровых бактерий по земной поверхности была бы равна 33100 см/с. Эта скорость может рассматриваться как потенциальная скорость передачи жизни (геохимической энергии). С такой скоростью бактерия могла бы за 1,47 суток путем размножения совершить полный оборот вокруг земного шара.

Скорость передачи жизни по наибольшему ей доступному расстоянию есть характерная для каждого вида организмов постоянная величина, которую можно использовать для выражения его геохимической энергии жизни; она отражает пределы возможного распространения вида, ограниченные размерами данной планеты. Аналогично тому, как вес тела зависит от того, на какой планете оно находится, так и скорость распространения жизни на Земле должна отличаться от таковой на других планетах (если она там есть). Жизнь в биосфере есть чисто земное планетное явление, ограниченное пределами физических свойств планеты, и прежде всего ее размерами. Предельное, одинаковое для всех организмов расстояние, по которому может распространяться жизнь, равно длине земного экватора, т. е. 40075721 м. Скорость продвижения организмов зависит также от их размеров и темпов размножения.

Газовый обмен организмов, т. е. дыхание, также имеет важнейшее значение. Газовый режим тоже ставит пределы скорости распространения жизни. Газы биосферы те же, которые образуются при газовом обмене живых организмов: O₂, N₂, CO₂, H₂O, H₂, CH₄, NH₃. И это не случайность. Свободный кислород образуется только благодаря зеленым организмам.

Количество организмов, появляющихся путем размножения в единицу времени, не может перейти за пределы, нарушающие свойства газов, т. е. число организмов в 1 см³ среды не может превышать числа газовых молекул в нем (около 2,710¹⁹). В биосфере идет борьба не только за пищу, но и за нужный газ, так как последний контролирует размножение.

В каждый момент живое вещество в биосфере разрушается и вновь создается, главным образом не ростом, а размножением. Поколения создаются в сроки от десятков минут до сотен лет. Ими обновляется биосфера. Главное условие жизни определяется полем существования зеленой растительности, т. е.

областью планеты, пронизанной солнечным светом. Здесь же собраны не только автотрофные, но и гетеротрофные организмы, так как в своем существовании они тесно связаны с продуктами жизни зеленых организмов, т. е. с кислородом и органическими веществами.

В течение миллионов лет геологического времени шло и сейчас идет постоянное проникновение живого вещества в обе стороны от зеленого покрова. Мы живем в стадии медленного расширения поля жизни. Может быть, одним из проявлений этого является биохимическое создание новых форм лучистой энергии гетеротрофными организмами. К таковым можно отнести свечение микроскопических организмов в морских глубинах или свечение поверхности моря, которое позволяет фитопланктону синтезировать органические вещества в часы, когда до него не доходит солнечный свет. Глубоководные экспедиции встречали зеленые растения на глубине 2 км, т. е. там, куда не проникают лучи Солнца. Эти факты еще ждут объяснений. Но если бы оказалось, что живое вещество способно трансформировать лучистую энергию не только в химическую, но и вторичную лучистую, то, возможно, это расширило бы область жизни.

Новой в биосфере является и световая энергия, созданная человеком: электричество, например. Но пока в фотосинтезе планеты она практически не играет никакой роли, так как составляет ничтожную долю от солнечной энергии, используемой растениями.

6.4. ЭВОЛЮЦИЯ биосферы

Начало ЭВОЛЮЦИИ биосферы - это начало жизни. Б. И. Вернадский считал жизнь явлением вечным, подобно материи или энергии. Хотя в основе его учения о биосфере и лежат представления о глубочайшей взаимосвязи живого и неживого, он полагал, что барьер между косной и живой материей непроходим.

Возникновение жизни на Земле - вопрос дискуссионный. По мнению В. И. Вернадского, в обозримой геологической истории образование живого вещества из неживого на Земле произойти не могло. Отправной точкой его воззрений в этой области был принцип, сформулированный флорентийским врачом Франческо Реди в 1668 г.: «Все живое от живого». Доказательство тому он видел в работах Л. Пастера и П. Кюри об особенностях молекулярного строения органического вещества. Живое вещество обладает свойством оптической диссимметрии, т. е. являются фильтром, способным отделять правовращающие молекулы от левовращающих. Благодаря концентрации молекул одинаковой симметрии живое вещество способно поляризовать световые лучи. В неживом веществе молекулы, поляризующие свет, могут быть смешаны в произвольных пропорциях. В. И. Вернадский уделял большое внимание этому факту, высказав гипотезу о том, что диссимметричные структуры стабильны в основном в живом веществе.

В своей работе «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения», опубликованной впервые в 1965 г., он писал: «Надо искать не следов начала жизни на нашей планете и вообще на планетах, но материально-энергетические условия для проявления планетной жизни». Таким образом, В. И. Вернадский в последних своих работах допускал идею абиогенеза в определенных условиях догеологической истории планеты.

Для В. И. Вернадского было несомненным существование биосферы в течение 2 млрд лет, но была ли она раньше - он сомневался. Теперь возраст биосферы, по последним косвенным данным, оценивается приблизительно в 4 млрд лет.

За последние полвека накоплено много материалов, расширяющих наши познания о появлении жизни на Земле. Во-первых, можно считать доказанным отсутствие жизни на Марсе и Венере, на которых В. И. Вернадский предполагал возможность существования живого вещества. Теперь изучено достаточно много космической материи, состоящей из различных смесей право- и левовращающих молекул. Результаты доказывают, что земная жизнь не привнесена на Землю с ближайших планет.

Во-вторых, получены и достаточно хорошо изучены природные органические вещества абиогенного происхождения. В книге М. Руттена (1974) описаны опыты по получению аминокислот из водорода, аммиака и метана в бескислородной среде под действием электрических разрядов и ультрафиолетового излучения. В России подобные опыты проводил А. И. Опарин (1936). Вскоре такие соединения были обнаружены в грозовых тучах после молний и в стерильно отобранных горячих вулканических пеплах (Е. К. Мархинин, 1980). При этом в одинаковых по химическому составу органических веществах биогенного и абиогенного происхождения наблюдается диссимметрия, т. е. всегда преобладает одна группа молекул, чаще всего левовращающих. Эти факты указывают на стирание граней между живым веществом его абиогенными аналогами. Поэтому ученые второй половины XX века (А. И. Опарин, Дж. Бернал, М. Руттен, Р. С. Юнг и др.), не допуская занесения жизни на Землю с других планет, признавали абиогенез на Земле.

По-видимому, абиогенез мог происходить в условиях, отличных от ныне существующих, при первичной бескислородной атмосфере. В настоящее время проблема сводится к выяснению времени превращения абиогенных органических соединений в биогенные и к выяснению причин появления резко диссимметричной структуры ДНК в живом веществе. Вероятно, что нарушение зеркальной симметрии - необходимый этап эволюции. Физик В. И. Гольданский (1986) считает, что появление диссимметрии в органическом веществе уже обеспечивает возможность начальных форм размножения. В последние годы, однако, получают подтверждение идеи В. И. Вернадского и о возможном космическом происхождении живого вещества. Исследования в Антарктиде обнаружили большое количество метеоритов на поверхности льда. В них были найдены различные аминокислоты, нуклеотиды, которые не могли образоваться во льдах Антарктиды. Можно предполагать, что абиогенные органические вещества существуют и в далеких космических просторах. Таким образом, если не живое вещество, то его «матрица» в виде абиогенного органического вещества существует в космосе и может переноситься на звездные расстояния. Поэтому идею В. И. Вернадского о «вечности» жизни в современном представлении можно сформулировать так: жизнь - это этап эволюции материи, возможность, присущая всем пространствам и временам.

Академик Н. Н. Моисеев (1994) высказывает такую точку зрения: картину мира можно представить как эволюцию единой системы - Вселенной - от начального взрыва до появления живого вещества и разума, а в конце концов и общества. Развитие этой системы происходит за счет внутренних взаимодействий, присущих самой системе. Имеет место грандиозный процесс самоорганизации, в котором появление живого вещества является одним из важнейших этапов. В пользу этого говорят последние исследования в физике. Обнаружено, что мировые константы (скорость света, гравитационная постоянная и др.) обладают удивительным свойством. Их изменение даже на малые доли процента привело бы к такому изменению мирового процесса самоорганизации, которое исключило бы появление структур, дающих возможность возникновения живого вещества (как Солнечная система, например). Иными словами, «живое вещество» определяет величины мировых констант, а мировые константы дают возможность возникновения живого вещества. Этот парадокс заставляет трактовать роль живого вещества в мироздании по-иному: мир таков потому, что мы есть. Следовательно, можно предполагать, что «Вселенная, может быть, является не самостоятельной системой, а лишь составляющей некой суперсистемы, в которой одним из принципов отбора является возможность появления живого вещества» (Н. Н. Моисеев, 1994).

В допущениях абиогенеза на нашей планете на уровне предположений остается этап перехода от косного к живому веществу, который знаменуется появлением метаболизма и переноса энергии и информации из поколения в поколение.

Эволюция живого вещества шла по пути усложнения структуры биологических сообществ, увеличения числа видов и совершенствования их приспособленности.

Усложнение жизни связано с развитием многоклеточных организмов. В этом отношении наиболее признана колониальная гипотеза. Считают, что образовавшиеся в результате деления клетки не разошлись в пространстве, а образовали колонии. Позже в клетках возникли различия в химическом составе, а затем и в функциональной специализации. Многоклеточные организмы совершенствовались и приобретали различия в течение многих миллионов лет. Совершенствовался круговорот веществ в непрерывном обмене веществом и энергией между организмами и средой, в процессах рождения и смерти. Завладевая все новыми областями земной коры, организмы приспособлялись к новым физико-химическим условиям, что неизбежно приводило к гибели части организмов и дальнейшему естественному отбору. Эволюционный процесс сопровождался повышением эффективности преобразования энергии и вещества организмами, популяциями и сообществами. И в этой эволюции четко прослеживается постепенное развитие и усложнение нервной системы. Достигнутый уровень мозга, - писал В. И. Вернадский, - не идет уже вспять - только вперед. Вершиной эволюции живого на Земле явился человек, ознаменовавший своим появлением новый этап развития жизни - антропогенез.

В истории антропогенеза неоднократно происходили качественные перестройки. В первой половине каменного века - палеолите у человека сфор-

мировались зачатки нравственности. Стадо антропоидов постепенно стало превращаться в человеческое общество. Естественный отбор перешел с уровня организма на уровень племен, народов, цивилизаций. Нечто подобное произошло и во второй половине каменного века - неолите (гр. *neos* - новый): преодолев глобальный экологический кризис, который привел к исчезновению крупных копытных, в том числе мамонтов, люди освоили земледелие и скотоводство, создали новую экологическую нишу. Выходы из кризисов происходили естественным путем, и на них уходило десятки тысяч лет. Человечество все активнее перестраивало экосистемы, все больше вовлекало в биогеохимические циклы запасы планеты - остатки былых биосфер. В. И. Вернадский воспринимал все это как естественный процесс развития, в 1925 г. он писал: «Измененная культурой поверхность не есть что-то чуждое Природе и в ней наносное, но есть естественное и неизбежное проявление жизни как природного явления». Анализируя возможности все возрастающей мощи цивилизации, он пришел к выводу о том, что человечеству как разумной части живого вещества придется взять на себя ответственность за будущее планеты. Будущее требует активного вмешательства разума в судьбу биосферы. Во взаимодействии природы и общества все должно измениться: и биогеохимические циклы, и способность природы обеспечивать потребности человечества, а может быть, и природа самого человека и общества. Все это должно делаться целенаправленно с участием разума.

Учение о ноосфере получило развитие в работах русских ученых М. М. Камшилова (1979), В. П. Казначеева (1985) и др. Современные ученые также рассматривают ноосферу как новую высшую стадию эволюции биосферы, связанную с возникновением и развитием в ней человечества, которое, познавая законы природы и совершенствуя технику, создает техносферу и начинает оказывать определяющее влияние на ход биосферных и космических процессов.

Только недавно на идеи В. И. Вернадского стали опираться и зарубежные исследователи биосферы.

В этой связи интересно отметить уникальный эксперимент, проводимый в США с замкнутой биолого-технической системой «Биосфера-2», задуманной как микромодель «Биосферы-1», т. е. биосферы Земли. Ее разработчики Домон Аллен и Марк Нельсон (1991) во многом использовали концепцию ноосферы В. И. Вернадского, полагая, что с помощью разума возможно управление техносферой и биосферой. Модель отличалась от предыдущих микрокосмов размерами (площадь 1,3 га, объем более 180 тыс. м³) и разнообразием экосистем. «Биосфера-2» была изолирована от атмосферы и почвы, но энергетически открыта для солнечного излучения, т. е. для фотосинтеза. Она также имела электропитание для термо- и влагорегуляции и была связана с внешним миром информационно через компьютеры, теле- и радиосвязь. В модели имелись антропогенное крыло (сельскохозяйственный и жилой отсеки) и природное крыло (тропический лес, саванна, болото, пустыня, океан). С инженерной точки зрения - это венец применения высоких технологий.

Однако результаты первого научного эксперимента, проведенного 8 испытателями в замкнутой «Биосфере-2» в течение двух лет, оказались не столь

блестящи. Здоровью и выживанию экспериментаторов грозило и повышение концентрации CO₂, и катастрофическое снижение O₂, хронический недостаток калорий в пище и т. д. Эксперимент показал, что люди еще плохо знают, как действует наша глобальная система жизнеобеспечения -«Биосфера-1». Путь к ноосфере не так легок, как могло показаться. Пока мы не можем управлять даже маленькой «ноосферой», смоделированной человеком.

В обобщающем труде «Научная мысль как планетное явление», написанном в 1938 г., а опубликованном впервые только в 1977 г., В. И. Вернадский предстает как великий оптимист в отношении будущего человечества. Он пишет, что взрыв научной мысли в XX столетии подготовлен всем прошлым биосфер, развитие не может остановиться и пойти назад.

Но только в наше время, после выхода в космос энергетическая мощь технологических процессов в руках человека действительно сравнялась с масштабом и мощью природных процессов. В болезненной форме человечество начинает испытывать последствия

Противоречий Между техногенной Экспансией (лат. ехратю - расширение, захват) и ресурсами биосферы. Поэтому не все в полной мере разделяют оптимизм В. И. Вернадского. Так, академик Н. Н. Моисеев в статье «В. И. Вернадский и современность» (1994) пишет о том, что у В. И. Вернадского и Тейяр де Шардена было больше оснований для оптимизма, чем у людей сегодняшнего дня. Тогда ничего еще не знали об атомном оружии, парниковом эффекте, кислотных дождях, демографическом взрыве и других экологических проблемах. Переход в эпоху ноосферы, вероятно, не будет таким плавным и безболезненным, как они предполагали. Человечеству придется согласовать свои потребности с возможностями биосферы. По существу, придется обратиться к новой нравственности в своей жизни, так как духовный мир должен превратиться в фактор, определяющий развитие и выживание человечества. Это будет новый этап эволюции Нота 5ар1еп5, поскольку в основу приспособления ляжет разум, душа человека.

Оптимизм В. И. Вернадского опирался на представления о том, что «наука - природное явление» и как один из способов приспособления человечества она не может «не сработать». Действительно, расшифровка основных взаимосвязей в природе на количественном уровне, определение управляющих факторов, выявление критериев развития, разработка моделей биосистем всех уровней, вплоть до биосферного, развитие высоких технологий, оценка устойчивости и экологической емкости экосистем, т. е. решение главных задач экологии - это и есть работа по становлению ноосферного мышления.

В мировом сообществе пока еще с трудом пробивает дорогу осознание того, что общая судьба человечества зависит не от политических, государственных и национальных амбиций, а от угрозы самоуничтожения в планетарной экологической катастрофе. Выбор стратегии взаимодействия человека с биосферой, формирующейся как «модель устойчивого развития» - это и есть ноосфера В. И. Вернадского. Но при наличии современного ядерного оружия движение к ноосфере не может занимать тысячи и даже сотни лет. Для такого перехода остаются десятилетия. Времени нет! Несомненно, эволюционный

процесс идет, «природные явления действуют». Признаки этого движения видны: это и энергосберегающие технологии; и перестройка экономики; и стремительное развитие коллективного интеллекта, основанного на новых средствах коммуникаций и возможностях компьютеризации; и постепенный поворот в сознании ученых, политиков и простых людей в сторону экологического мировоззрения, перевод экологических ценностей в экономические категории и многое другое. Но хватит ли у людей времени? Не разразится ли катастрофа раньше?

Лекция 7

7.1. Натурные наблюдения и эксперименты.

Признание экосистем предметом экологии и принцип эмерджентности неизбежно приводят к необходимости использовать в качестве методологической основы науки экологии системный анализ и междисциплинарный синтез явлений.

Системный анализ - это направление методологии научного- познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объекта системы,

Важные положения системного подхода были сформулированы учеными еще в XVIII - XIX веках. Так, Ю. Либих в 40-х годах прошлого столетия писал: «Мы рассматриваем природу как одно целое, и все явления представляются нам взаимосвязанными, как узлы в сети. Исследовать явления - это значит отыскать те нити, посредством которых данный узел в сети связан с двумя или тремя другими».

Системные принципы исследований завоевывают признание только во второй половине XX века, что связано прежде всего с развитием инструментальных и дистанционных методов наблюдений и вычислительной техники, давших возможность изучать природные и социальные сообщества как целостные системы на количественном уровне, а также с проникновением в биологию идей кибернетики.

Системный подход в экологии состоит в определении составных частей экосистемы и взаимодействующих с ней объектов окружающей среды; установлении совокупности внутренних связей и компонентов экосистемы, а также связей между экосистемой и средой за ее пределами, т. е. на входе и выходе системы; нахождении законов функционирования и их изменений в результате внешних воздействий.

Для решения этих основных задач в арсенале современной экологии из всего разнообразия выделяют три главные группы методов: 1) натурные наблюдения; 2) эксперименты; 3) моделирование.

И Натурные наблюдения в природе - исторически первый прием экологического исследования.

Эти исследования прошли длительный путь развития - от красочных описаний картин природы до современных комплексных программ изучения экосистем с помощью новейшей аппаратуры и космических спутников. Вот, например, что писал в начале века Ш. Брэм (1901) о птицах: «Ни одно живое существо не живет такой полной жизнью, как птица, и не умеет так хорошо

пользоваться своим временем. Самый длинный день кажется ей слишком коротким, самая короткая ночь - слишком длинной; вечно подвижная, она не проводит половины своей жизни в мечтаниях или во сне; она желает бодро, жизнерадостно, весело проводить время, которое ей суждено прожить».

В практике же современных экологических исследований может использоваться сложнейшая трехуровневая система наблюдений.

Однако, несмотря на совершенствование технических средств натуральных исследований, неоднократно предпринимавшиеся попытки объединения разных специалистов под флагом комплексных исследований (до последних лет не связанных общей теоретической и методологической концепцией) долгое время приносили скудные результаты из-за отсутствия системного анализа данных. В лучшем случае они завершались публикацией научного сборника, в котором независимо сосуществовали статьи по ботанике, зоологии, микробиологии, химии, гидрологии, метеорологии и другим дисциплинам, но отсутствовал междисциплинарный синтез.

Прогресса натурные экологические исследования достигли лишь в конце 70-х годов, с развитием стационаров международных программ, которые предусматривают всесторонние глобальные наблюдения характерных типов экосистем, исследования на специальных полигонах и их междисциплинарный синтез.

Эксперименты широко применяют в экологии, как и в других естественных науках. Отличие эксперимента от наблюдения состоит в том, что исследователь сознательно вносит определенные изменения в экосистему и далее следит за ее ответной реакцией. Например, слежение за перемещением стада оленей в естественных условиях с помощью вживленных в тело животных миниатюрных радиопередатчиков является не экспериментом, а всего лишь наблюдением. В то же время регистрация (даже без всякой аппаратуры) численности того же стада после введения искусственной подкормки будет экологическим экспериментом.

Число возможных воздействий экспериментатора на экосистему необозримо, так же как число сознательно варьируемых факторов. Обычно эксперименты делятся на лабораторные и полевые.

Классической схемой проведения лабораторных опытов является однофакторный эксперимент, когда изучается влияние избранного фактора при зафиксированных значениях всех остальных. Однако при изучении биологических объектов (в отличие от физических) однофакторный эксперимент малоэффективен, так как поведение биосистем зависит от комплекса факторов. Поэтому лишь многофакторные эксперименты с предварительным планированием могут дать удовлетворительные результаты в экологии.

Многие ученые справедливо поднимают вопрос о том, в какой степени выводы, полученные в лабораторных условиях, можно применить к реальным экосистемам; они считают, что экспериментатор, меняя условия опыта, в лаборатории может достичь заранее запрограммированного результата. Так, можно получить самые разные значения допустимых концентраций токсичных веществ в воде, если варьировать условия содержания организмов, на которых проводятся опыты; при этом влияние тех же веществ на те же организмы и в тех

же дозах в естественных условиях водоема будет отличаться от того, что было получено в лабораторных условиях. Поэтому в арсенале экологии лабораторные эксперименты играют второстепенную роль.

Но эксперименты в природных условиях имеют огромное значение в экологических исследованиях, несмотря на то, что «в натуре» не может быть обеспечен высокий уровень контроля экспериментатора над всеми факторами внешней среды.

В качестве примера можно привести крупномасштабный уникальный эксперимент в природных условиях, который был осуществлен в Санкт-Петербурге в 1992 г. с целью оценить возможность управления экологическим состоянием Невской губы и восточной части Финского залива с помощью затворов водопропускных отверстий комплекса защитных сооружений (КЗС) города от наводнений.

Сама идея возможности разрушать малопроточные зоны в Невской губе, смещать потоки сточных вод, интенсифицировать процессы самоочищения и управлять экологическим состоянием водоема путем маневрирования затворами возникла еще на стадии проектирования. Однако проверка ее с помощью математического и гидравлического моделирования приводила к противоречивым результатам. Дать четкий ответ могли лишь натурные испытания.

В эксперименте приняли участие 16 институтов и организаций. В программу исследований входили: гидрологические наблюдения; анализ качества воды по многим гидрохимическим и бактериологическим показателям; гидробиологические и ихтиологические исследования; аэрокосмические наблюдения; наблюдения за распределением загрязняющих веществ от городских очистных станций с помощью трассеров; исследования химического состава и бактериологического загрязнения донных отложений и др.

Были задействованы все возможные технические средства: аэрофотосъемка, инструментальные методы для замеров гидрофизических характеристик, стационарные автоматические самописцы расходов воды и скоростей течения, современные методы химического анализа воды и донных отложений и новейшие способы оценки ее качества. Результаты исследований обрабатывались и анализировались с помощью компьютерной техники. Были проведены 2234 замера скоростей (самописцы работали более 2000 часов), отобраны более 1500 проб воды на 46 станциях и 360 проб донных отложений. Выполнено свыше 12000 различных анализов, 6 аэрофотосъемок. Работы велись на 5 специально оборудованных плавсредствах при различных регламентах перекрытия водопропусков. Проведенные исследования подтвердили наличие принципиальной возможности управлять экологическим состоянием акватории путем маневрирования затворами водопропускных отверстий. При этом возможно при необходимости подбирать такие схему и регламент перекрытия водопропусков, которые улучшают экологическую ситуацию в той или иной части водной системы.

Непреднамеренные антропогенные «эксперименты» - это вся история развития цивилизации, в процессе которой человек постоянно «экспериментирует» с природой.

Значение натурального эксперимента в экологии, особенно в последние годы, чрезвычайно велико. Научно-технический прогресс открывает перед ним грандиозные перспективы. Однако экологический эксперимент становится наиболее эффективным в сочетании с третьим важным методом - моделированием, который заслуживает специального рассмотрения.

7.2. Моделирование

Под моделированием понимается изучение экологических процессов с помощью лабораторных, натуральных или математических моделей. Модели биосистем столь многочисленны, что классификация их почти невозможна.

В простейшей форме модель может быть вербальной (словесной) или графической, т. е. неформализованной. Если необходимы достаточно надежные количественные прогнозы, то модель должна быть формализованной, строго математической. Модели, созданные на ЭВМ, позволяют получать на выходе искомые характеристики при изменении, добавлении или исключении каких-либо параметров модели, т. е. возможна «настройка» математической модели, позволяющая усовершенствовать ее, приближая к реальному явлению.

На протяжении XIX и первой половины XX веков применение математики для отслеживания природных явлений было уделом талантливых одиночек. Сейчас использование математических методов не только для обработки экспериментов, но и для описания работы биосистем становится массовым.

Толчок развитию моделирования, как в биологии вообще, так и в экологии в частности, дала кибернетика. Но относиться к математическому описанию работы биосистем нужно с осторожностью. Математические модели таят опасности, когда, опалкиваясь от математики, начинают интерпретировать работу природной системы. Поэтому необходимо доказать адекватность используемого математического аппарата объекту и целям исследования.

Создание методологии и технологии моделирования биосистем вообще, а тем более самых сложных из них - экосистем - дело будущего. Можно лишь наметить некоторые этапы в развитии технологии моделирования: 1) переход от эксперимента к адекватной математической модели; 2) построение математических моделей с различной глубиной содержания; 3) переход от одних моделей к другим; 4) систематизация математических моделей биосистем различного уровня иерархии. Но несмотря на необходимость критического взгляда на математическое моделирование явлений природы, назад, к чисто описательной экологии, дороги нет. И как ни трудна математика - в экологии без нее уже не обойтись.

Стратегия моделирования заключается в попытке путем упрощения получить модель, свойства и поведение которой можно легко изучать. В то же время модель должна иметь достаточное сходство с оригиналом, чтобы результаты ее изучения были применимы к оригиналу. Переход от модели к оригиналу называется интерпретацией модели. Обычно оригинал представляет собой многокомпонентную систему, где взаимодействия между популяциями столь сложны, что не поддаются достаточно удовлетворительному анализу. В то же время законы функционирования некоторой модели могут быть найдены тем или иным путем. Учитывая это, исследования системы можно заменить

исследованиями модели, а затем интерпретировать результаты применительно к оригиналу.

Наиболее сложная проблема при работе с реальными лабораторными моделями - установление адекватности модели оригиналу, а следовательно, обоснование возможности применения результатов моделирования к изучаемой природной системе. В отличие от аэро- или гидродинамики, где разработаны количественные критерии подобия модели оригиналу (критерий Рейнольдса и др.), в экологии таких критериев нет. Идеальные знаковые модели богаче возможностями, чем реальные, так как почти не связаны техническими ограничениями их создания.

Знаковые модели - концептуальные и математические - имеют в экологии наибольшее значение. Концептуальная представляет собой более или менее формализованный вариант традиционного описания изучаемой экосистемы, состоящего из текста, блок-схемы, таблиц, графиков и прочего иллюстративного материала.

Методы математического моделирования при изучении экосистем в динамике более эффективны. При конструировании математических моделей экосистем прослеживаются две тенденции. Математики часто берутся за глубокую теоретическую (математическую) разработку моделей, неадекватность которых известна заранее (так как это не представляет для математиков большого труда). А экспериментаторы и натуралисты пытаются включить в модель как можно большее число изученных свойств моделируемого объекта, не заботясь об их значимости. При этом, если реальные процессы неверно оцениваются количественно, то модель, естественно, даст неправильную картину экосистемы в целом. Математические модели могут быть классифицированы по ряду признаков, в соответствии с которыми и выбирается аппарат какого-либо раздела математики, призванный служить языком описания свойств, структуры и поведения оригинала.

Выбор математического аппарата зависит также от состава фактической информации. Описания функционирования экосистем характеризуются обычно неравномерностью изученности отдельных процессов. Часто не известен не только математический вид зависимостей между отдельными компонентами, но вообще отсутствуют какие-либо количественные характеристики процессов.

Попытки создания моделей, совмещающих физико-динамические и химико-биологические процессы, обычно приводят к использованию дифференциальных уравнений. К 70-м годам таких моделей появилось достаточно много. К достоинствам применения систем дифференциальных уравнений в качестве математических моделей природных комплексов относится принципиальная возможность установления общих положений теории функционирования экосистем. Однако современное состояние некоторых математических дисциплин (теории устойчивости, оптимального управления и др.) не позволяет достаточно подробно исследовать системы высокого порядка с существенными нелинейностями связей.

Отсюда зарождение стремлений к применению обобщенных компонентов и характеристик для снижения порядка системы.

Учитывая условность отображения в модели реальных параметров, изменение масштабов времени и внешних воздействий, построение математической модели биосистемы можно выполнять параллельно с исследованием в натуре или с постановкой экспериментов. При этом поиск наилучшей структуры модели может производиться автоматически на ЭВМ на основании некоторой системы критериев. В то же время полная автоматизация не всегда эффективна. В некоторых случаях в качестве одного из звеньев целесообразно использовать человека, на которого возлагаются выбор типа, структуры модели и критериев наилучшего сходства модели и оригинала, их изменение и смена.

При моделировании экологических систем на основе дифференциальных уравнений не следует забывать о фундаментальных экологических принципах и прежде всего о принципе эмерджентности, т. е. о том, что экосистема обладает качественно новыми свойствами, которые нельзя предсказать исходя из свойств отдельных ее компонентов. Поэтому информационные потоки, состоящие из множества отдельных физических, химических и биологических показателей, не могут в полной мере отразить законы функционирования того или иного природного объекта. Необходимо учитывать и то, что экосистемы управляются и контролируются не всеми, а ключевыми, эмерджентными факторами. Поэтому многие специалисты, и классик американской школы экологов Ю. Одум в том числе, утверждают: «для построения удовлетворительных математических моделей не требуется необъятного количества информации об огромном множестве переменных». Кроме того, стремление приблизиться к оригиналу с помощью наращивания показателей входит в противоречие с оперативностью решения задач. Таким образом, практическая реализация «экологических» моделей природных комплексов еще не достигла значительных успехов.

Создание работоспособной модели многокомпонентной системы, функционирующей в трехмерном пространстве и во времени, связано с решением многих проблем, основными из которых являются следующие:

1. Выбор функциональных зависимостей и параметров, описывающих процессы обмена веществом и энергией между физическими и химико-биологическими компонентами. Сложность проблемы усугубляется тем, что многие сложнейшие процессы: турбулентность, гравитация, кинетика реакций, взаимоотношения организмов и т. п. - еще далеко не полностью изучены.

2. Информационный «голод» на начальном этапе моделирования, т. е. отсутствие, как правило, трехмерных полей наблюдений согласованных между собой физических, химических и биологических характеристик, изменяющихся во времени. Иначе говоря, возникает несоответствие между желаниями исследователя и техническими возможностями при ограниченном объеме фактической информации. Операции задания входной и анализа выходной информации перерастают в самостоятельные проблемы.

3. Реализация алгоритма моделирования экосистемы. Это связано с разработкой целого комплекса взаимосвязанных программ для описания весьма сложных физических и химико-биологических процессов. Решение каждой из задач в отдельности представляет собой самостоятельную проблему, требующую огромной работы. Далее возникает проблема информационной и программной увязки отдельных подсистем. Комплекс задач моделирования экосистемы в целом перерастает, по существу, в автоматизированную систему анализа поведения избранного объекта, а процесс создания «экологической» модели становится соизмеримым с процессом создания автоматизированных систем управления. По мнению многих авторов, работавших в области моделирования биосистем, являются более прагматичными. Действительно, взаимосвязи между компонентами экосистемы можно формально описать методами математической статистики, т. е. на основе натуральных данных. Множественный корреляционный или регрессионный анализы полезны как для установления факта зависимости между отдельными элементами системы, так и для получения уравнений регрессии, которые могут служить моделями экосистемы или отдельных подсистем. Однако возможности прогнозирования временной динамики ограничены условиями, в которых получена исходная информация.

Другая задача математической статистики в экологии связана с тем, что исследователь почти никогда не имеет возможности изучить все компоненты экосистемы. Обычно изучается лишь некая выборка. В связи с этим возникает проблема оценки степени соответствия свойств выборки свойствам всей совокупности. Ответы на эти вопросы также дает математическая статистика. Наиболее важным является использование статистики для изучения связей между признаками живых организмов, между разными организмами, между организмами и факторами неживой среды.

Разумеется, область применения статистических методов значительно шире, чем указано выше, и с ними приходится сталкиваться все чаще, а разнообразие методов очень велико. Все это является предметом специального изучения. Экологам необходимо помнить, что пренебрежение статистической обработкой исходной информации при построении математических моделей может приводить к дискредитации самой модели.

Наряду со статистическим анализом для уплотнения информации ведутся усиленные поиски репрезентативных для оценки экосистем. Это может стать началом нового этапа системных наблюдений природных явлений.

7.3. Схема системного исследования

Общая схема системного подхода к изучению экосистем предложена В. Д. Федоровым и Т. Г. Гильмановым (1980). Все рассмотренные выше методы (наблюдение, эксперимент, моделирование) интегрируются в единый процесс экологического исследования, который должен осуществляться в рамках междисциплинарного исследовательского проекта.

Процесс системного исследования целесообразно разделить на ряд этапов, выполняемых последовательно или параллельно.

Постановка задачи и концептуализация. При решении той или иной экологической проблемы (охрана, рациональное использование, управление, прогноз состояния и др.) возможно выделить ограниченное и достаточное число наиболее существенных факторов, свойств или процессов. Назначение первого этапа состоит в выборе наиболее важных приоритетных факторов, определяющих направление дальнейших исследований.

Задача концептуализации состоит в том, чтобы суммировать известную информацию об изучаемой экосистеме в виде логически непротиворечивой концептуальной модели. Модель концентрирует данные, необходимые для решения рассматриваемой проблемы. Определяется место изучаемой экосистемы в ландшафте, устанавливаются ее «входы» и «выходы», т. е. связи с соседними экосистемами, атмосферой, гидросферой, твердой средой, деятельностью человека и т. п. Далее в модели характеризуются состав, структура и особенности функционирования экосистемы, т. е. определяются число компонентов и совокупность связей.

Спецификация и наблюдения. Назначение этапа спецификации состоит в том, чтобы определить состав входных переменных, переменных состояния экосистемы и, по возможности, строго задать отображение оригинала на модель. При спецификации указывается, с какими измеряемыми характеристиками экосистемы и внешней среды сопоставляются переменные ее состояния, какие методы и единицы измерения используются. При этом целесообразно создавать автоматизированные компьютерные банки данных.

На основании спецификации и концептуальной модели планируются полевые наблюдения за динамикой изучаемых свойств экосистемы и прежде всего за переменными экологического состояния и входными характеристиками. Результаты наблюдений используются на последующих этапах работы (идентификация, проверка и исследование модели). Кроме того, они могут служить основой для пересмотра в случае необходимости концептуальной модели.

Идентификация и эксперименты. Задача идентификации заключается в математическом описании соотношений между переменными, образующими структуру модели. В частности, основу структуры динамических моделей с n переменными состояния составляют чаще всего n дифференциальных уравнений, выражающих закономерности изменения каждой из переменных во времени.

При идентификации, как правило, возникает потребность в проведении полевых или лабораторных экспериментов с целью

проверки различных гипотез о характере взаимосвязей между компонентами экосистемы или для оценок параметров известных зависимостей. Экспериментальные работы проводятся параллельно с другими стадиями исследования, вследствие чего возможно возвращение к предыдущим этапам и их повторение в новом цикле исследований с учетом дополнительной информации, полученной в результате эксперимента.

И Реализация и верификация модели. После идентификации модели встает проблема ее реализации, т. е. нахождения оператора, который позволит рассчитывать динамику состояния экосистемы во времени в соответствии с

входными данными и начальным состоянием. Обычно реализация осуществляется в виде программы расчета на ЭВМ. Эта работа требует подготовки специалистов по программированию и обеспечения современной вычислительной техникой. На этом этапе очень плодотворным оказывается сотрудничество экологов, владеющих основами программирования, с математиками, достаточно глубоко овладевшими основами экологии.

Верификация Модели имеет целью проверить, в какой степени модель соответствует оригиналу. Оценка пригодности модели может быть дана на основе сравнения с данными наблюдений и, главное, на основе опыта практического использования модели как инструмента прогнозирования, оптимизации и управления моделируемой системой. Однако предварительные сведения об адекватности модели необходимы в течение процесса ее построения.

Существует много способов оценки адекватности моделей. Р. Сай-ерт (1966) предложил, например, проверять способность модели воспроизводить такие характеристики эмпирических кривых, как число и распределение экстремальных точек во времени, амплитуда возмущений, средние значения переменных и др. Т. Г. Нейлор и Д. Фигнер (1975) предлагают производить сравнение статистических критериев модели и наблюдений: математического ожидания, дисперсий, асимметрий, эксцессов и др. Однако наиболее наглядным способом проверки модели является сравнение расчетных кривых ее состояния в рассматриваемом интервале времени с данными наблюдений за системой за тот же промежуток времени. Кривые могут быть построены по непрерывным или дискретным наблюдениям. Для оценки степени совпадения могут быть использованы как численные значения характеристик, так и статистические показатели. При хорошем совпадении расчетных и эмпирических данных модель можно считать адекватной оригиналу и приступать к проверке других аспектов ее работы. Однако часто обнаруживается, что нет удовлетворительного совпадения результатов моделирования с эмпирическими данными. В поисках причин приходится возвращаться к предшествующим этапам (чаще всего на этап идентификации). После этого последовательность этапов повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто требуемое согласие. Эффективным способом проверки модели являются также имитация на ней разнообразных экспериментальных воздействий (орошение, удобрение, изменение температуры, течений и т. п.) и сравнение результатов с данными реальных экспериментов.

Неспособность модели правильно предсказать последствия тех или иных воздействий является основанием для ее пересмотра. Но абсолютно точного воссоздания оригинала требовать от модели нереалистично. Поэтому при достаточно надежной концептуальной модели и хороших критериях адекватности после нескольких проверок и исправлений обычно удается построить приемлемую модель и приступить к дальнейшему исследованию.

Заключительный этап основывается на исследовании модели и оптимизации решений. Процесс исследования включает описание общих черт изменения состояний и поведения модели в зависимости от изменения входных данных. Один из основных разделов исследования - «анализ чувствительности» модели. Результаты этой операции показывают, какие начальные условия, взаимосвязи

между переменными, внешние факторы или другие параметры оказывают наиболее сильное (или, наоборот, незначительное) влияние на поведение модели. После получения ответов можно решить, какие параметры должны определяться с высокой точностью, а какие могут задаваться приближенно при наблюдениях, экспериментах и идентификации. Данные теоретических исследований модели и результаты имитационных расчетов дают дополнительную информацию для оценки адекватности модели и необходимости ее дальнейшего усовершенствования.

В практической работе по охране или рациональному использованию природных экосистем человек может задавать и регулировать те или иные воздействия с целью оптимизации их состояния. Например, при управлении заповедником стремятся к сохранению редких видов организмов, в агроэкосистемах - к получению высокого урожая. При управлении водоемом можно использовать принудительную аэрацию для оптимизации его экологического состояния и т. п.

При многоцелевом использовании природных ресурсов часто приходится сталкиваться с противоречиями. Например, трудно совместить забор питьевой воды с пляжем или сбросом в водоем сточных вод. Поэтому часто решение оптимизационных задач носит компромиссный характер, обусловленный многофакторностью и множеством критериев качества. Методической основой решения таких задач являются теория оптимального управления и оптимизационные модели.

Изучение любой экосистемы может продолжаться бесконечно долго, раскрывая все новые грани. Однако каждый исследовательский проект должен иметь конечную цель и рано или поздно завершаться. В итоге должны также намечаться перспективы будущих исследований.

Приведенная схема системного подхода к изучению экосистем, разумеется, является упрощенной и может быть модифицирована

в зависимости от целей и задач проекта, а также от объема информационного обеспечения.

Лекция 8

8.1. Проблемы цивилизации

Сложилась парадоксальная ситуация: мировая цивилизация достигла поразительных высот и в то же время оказалась на краю пропасти. К общепланетарным проблемам относятся: бурный рост населения; обострение энергетического кризиса; нехватка продовольствия и нищета в слаборазвитых странах; эскалация этнических конфликтов и малые войны; возникновение эпидемий; разгул бандитизма и терроризма; религиозные конфликты; кризис культуры, нравственности, семьи; экологические проблемы регионального и глобального уровней и т. д.

Экологические проблемы в современном мире вышли на первое место. Получив неограниченную власть над природой, люди варварски используют ее.

«Сегодня угроза выживанию пришла со стороны окружающей природной среды, быстро деградирующей под натиском человеческой деятельности», - сказал генеральный секретарь Конференции ООН по охране окружающей среды и развитию (КОСР) Морис Стронг на ее открытии в 1992 г. в Рио-де-Жанейро. Ресурсы планеты иссякают. Катастрофически быстро загрязняются воздух и вода. Превращаются в пески плодородные земли. На глазах сокращаются площади лесов. На планету буквально «вываливаются» горы отходов; человек провоцирует природные катастрофы.

Возможное потепление, истощение озонового слоя, кислотные дожди, «цветение» водоемов, накопление токсичных и радиоактивных отходов представляют угрозу для выживания. Конечно, есть страны, для которых эти проблемы не столь остры. Но, в целом, все человечество озабочено ими, и поэтому они являются глобальными.

Однако во многих государствах до проблем охраны окружающей природной среды просто не доходят руки. Американский эколог Дж. Холлиман пишет: «Там, где эндемична массовая безработица, свирепствуют болезни и нужда, а растущее народонаселение рвет общество по швам, на охрану природной среды будут смотреть как на роскошь, которую могут позволить себе те, кто стоит на верхней ступени лестницы прогресса». Выйдя на поверхность, люди увидят изуродованную планету и окажутся без шансов на выживание.

Конечно, можно не верить таким прогнозам. Но, увы, испытания ядерного оружия доказывают их вероятность. Поэтому крайне необходимо мирное урегулирование региональных конфликтов в «горячих точках» планеты, так как они не только приводят к человеческим жертвам и «пожирают» материальные ресурсы, но и чреваты опасностью перерастания в столкновения глобального масштаба с использованием ядерного, химического и бактериологического оружия. Мировое сообщество должно найти пути решения этих проблем.

8.2. Энергетические проблемы

Казавшиеся неистощимыми такие источники энергии, как нефть, газ, уголь, тают буквально на глазах.

Ископаемое топливо при современных объемах энергопотребления, по разным оценкам, в среднем иссякнет приблизительно через 150 лет, в том числе нефть - через 35, газ - через 50, уголь - через 400 лет. Освоение новых месторождений становится все более трудным: за ними приходится идти все дальше на север и восток, устремляться все глубже в недра Земли. Понятно, что стоимость их разработки повышается. Грозит ли людям энергетический голод? Анализ показывает, что катастрофы можно избежать, если не повторять ошибок прошлого и искать альтернативные источники энергии.

Топливо - основа современной энергетики. В развитых странах его используют на 60 %, а в развивающихся - на 40 %. В начале 70-х гг. разразился энергетический кризис. Страны Ближнего Востока, владевшие 37 % мировой добычи нефти, резко подняли на нее цены. С 1973 по 1981 г. они подскочили в 5 раз, что вызвало шок на Западе. Но нефтяной кризис заставил сработать обратную связь, что принесло определенную пользу. Были приняты активные меры. В первую очередь это касалось экономии нефти и энергии вообще, даже в бытовых

мелочах. Например, в Германии температура в государственных учреждениях устанавливалась не выше 18°C, на лестницах свет зажигался только на время подъема человека на нужный этаж. В США начали производить стекла с особым покрытием, сокращающим потери тепла. Меньше стало буйство световой рекламы. В промышленности возросла роль отраслей с энергосберегающими технологиями, дешевыми энергоносителями. Разрабатывались экономичные модели автомобилей и т. д. Эти «мелочи» сэкономили миллиарды долларов, марок, франков. К 1990 г. доля нефти в потреблении энергии упала в среднем с 42 до 33 % и продолжает снижаться. Кризис дал толчок освоению новых месторождений нефти: Аляска (США), Северное море (Великобритания и Норвегия), Тюмень, Ямал (Россия) и др.

А как поступало в это «золотое» для нефтедобывающих стран время наше государство? Мы наращивали добычу и экспорт нефти, кризиса не испытывали. Скачок мировых цен в период с 1976 по 1984 г. принес стране 176 млрд долларов, при том что нефтяное сырье продавалось в 10 раз дешевле, чем на мировом рынке (70 р. за тонну). По еще более «мягким» ценам советская нефть шла в страны Восточной Европы. Внутри страны экономия энергии никак не стимулировалась. С 1965 по 1986 г. расход энергии на производство 1 т стали поднялся с 689 до 727 кВтч; на 1 т бумаги - с 697 до 867 кВтч, на добычу 1 т угля - с 30 до 34 кВтч; энергоемкость нефтедобычи выросла с 26 до 59 кВтч на 1 т. В 80-х гг. наша страна потребляла нефти на 36 %, угля - на 56 %, газа - на 42 % больше, чем США. В то же время в Западной Европе, США, и особенно в Японии, более других зависящей от импорта топлива, происходили чудеса снижения энергоемкости экономики. Япония на 50 % уменьшила потребление энергии и стала мировым лидером в области энергосберегающих технологий. Она тратила миллиарды долларов на поиски альтернативных источников энергии, повышение эффективности ее использования и разработку энергосберегающих технологий. На топливо стали расходовать только 4 % валовой национальной прибыли (в США - 10 %). В России же лишь в начале 90-х гг. стали задумываться о сбережении энергии: были снижены поставки нефти в страны Восточной Европы и изменены внутренние оптовые цены. Но и в годы перестройки показатели энергосбережения не улучшились, а распад Союза ухудшил всю систему энергоснабжения. Теперь России, при меньших энергоресурсах, неизбежно придется вводить режим жесткой экономии энергии и снижать энергоемкость всех производств.

Уголь - наиболее распространенный на планете энергоноситель. Его запасы оцениваются в 7 трлн т. Только разведанных месторождений (300 млрд т) хватит на несколько веков. Может быть, в угле будущее мировой энергетики? Мнения разные. Так, эксперты Института всемирных наблюдений (США) считают, что экологический кризис нарастает такими же темпами, как использование угля. Лидеры угольной энергетики (Китай, США, СНГ) являются одновременно и главными загрязнителями атмосферы. На долю США приходится 26 % выброса углерода в атмосферу, а на долю СНГ - 19 % (больше, чем на всю Западную Европу). Теплоэлектростанции (ТЭС), работающие на угле, дают в среднем 10-25 кг вредных выбросов на 1 кВтч. Тем не менее в США принята дорогостоящая программа, по которой до 2000 г. предполагается построить ТЭС на угле общей

мощностью 150 млн кВт, но с почти тотальной очисткой выбросов. То же придется делать и России, так как пока угольные станции дают более половины всей электроэнергии. Сторонники угольной энергетики связывают надежды с переработкой угля в синтетические жидкие топлива, газ и полукокс. В ЮАР уже налажено производство таких продуктов - около 3 млн т в год. В России же, к сожалению, все меньше обращают внимание на развитие угольной промышленности. В годы перестройки угольная промышленность была отброшена на уровень 1970 г., хотя и остается жизненно важной отраслью энергетики.

Ядерная энергетика вызывала мало опасений до чернобыльской трагедии. Но и теперь, несмотря на протесты, остается много сторонников использования этого топлива.

Ископаемое топливо порождает экологические проблемы, альтернативные источники ограничены, концентрировать солнечную энергию пока слишком дорого и, за редким исключением, нерентабельно. Поэтому многие считают, что удовлетворить растущие потребности может только ядерное топливо. Судьба его зависит от того, в какой степени удастся обеспечить безопасность и примирить людей с работой атомных электростанций (АЭС). В Японии, например, уровень техники безопасности столь высок, что крупнейшая в мире АЭС Фукусима построена в сейсмоопасной зоне (до 10 баллов). Япония вообще стала лидером наращивания мощностей АЭС: из 23 строящихся в мире станций в 1991 г. 12 было в Японии. Решительно внедряют ядерное топливо французы. В Германии бунтующее против АЭС население зазывает на станции, чтобы показать надежность систем безопасности. Сейчас в мире 400 блоков АЭС, они дают уже 20 % всей энергии.

Чернобыльская катастрофа расколола мировое общественное мнение. Группа стран склонна совсем отказаться от АЭС. Швеция предполагает закрыть свои 6 станций к 2000 г., Австрия так и не ввела в строй свою единственную АЭС. Какой же путь выбрать? Наша страна склонна следовать путем большинства развитых стран, т. е. использовать весь арсенал усиления безопасности АЭС. Многие считают, что мы вынуждены будем в ближайшие 30 - 50 лет продолжать использование атомной энергии, чтобы не превратиться в слаборазвитую страну.

Очень важен выбор площадок для строительства АЭС. Так, например, Армянская АЭС, построенная в 25 км от Еревана, в сейсмоопасном районе, конечно, представляет большую угрозу. Страшно представить, что могло бы произойти, если бы эпицентр армянского землетрясения в 1988 г. находился на несколько десятков километров ближе к АЭС.

Альтернативные источники энергии: солнечная, ветровая, океаническая, геотермальная и др. являются возобновляемыми. Их использование видится многим единственным выходом из надвигающегося энергетического кризиса. Но будущее альтернативных источников пока достаточно туманно. Сегодня крупномасштабное энерго-сбережение на базе альтернативных источников экономически не оправдывается. Энергозатраты на получение такой энергии часто равны или больше получаемой от этих источников энергии. Крупнейший

советский физик П. Капица считал, что альтернативные источники не смогут серьезно потеснить традиционные энерго-носители.

Солнечная энергия считается абсолютно экологически чистой. Следует отметить, что это не совсем верно. Например, для концентрации солнечной энергии необходимо множество зеркал, металл, кремний, свободная площадь и традиционное топливо. Отходы производства гелиотехники представляют экологическую опасность. Самые крупные солнечные электростанции (СЭС) построены в Калифорнии (типовая мощность - 30 тыс. кВт): одна станция может снабжать до 10 тыс. домов. Таких станций пока немного. Они есть в Испании, Италии, Израиле, Японии. Разумеется, СЭС могут быть размещены только в районах, где велико число солнечных дней в течение года. Солнечная энергия может ограниченно использоваться в бытовых водонагревателях, в калькуляторах, работающих на солнечных батареях, для зарядки аккумуляторов альпинистов и др. Но все это не решает энергетических проблем, а стоимость гелиоустановок пока очень высока. Только в районах с сильной солнечной радиацией СЭС могут быть экономичнее гидроэлектростанций (ГЭС).

Гидроэнергетика занимает важное место во многих странах. Но здесь тоже есть свои плюсы и минусы. Казалось бы, ГЭС - экологически чистые станции, не дающие никаких отходов. Но при сооружении гигантских водохранилищ, рукотворных морей не учитывались гибель миллионов кубометров ценной древесины, миллионов гектар затопленных сельскохозяйственных земель и лесов, разрушение водных биоценозов в приплотинных участках, ущерб, наносимый рыболовству и рыбоводству и т. д. Кроме того, в развитых странах осталось немного возможностей для гидростроительства. В Америке доля используемых гидроресурсов уже составляет 60 %, в Европе - более 30 %. Мощные ГЭС построены в Венесуэле (10 млн кВт), Бразилии (12,6 млн кВт), Китае (13 млн кВт). Средняя мощность наших ГЭС (Нурекская, Рогунская, Куйбышевская, Братская и др.) - около 10 млн кВт.

Началась реализация идеи приливных электростанций (ПЭС), где турбины вращаются приливами и отливами. Во Франции успешно эксплуатируется ПЭС мощностью 240 тыс. кВт. Она практически является экологически чистой, а залив стал излюбленным местом отдыха и туризма. Природных возможностей для ПЭС у России больше, чем у других стран: Охотское море, европейские северные моря и др. Однако пока не начато строительство даже запланированной опытной ПЭС на Кольском полуострове.

Все чаще используется и гидротермальная энергия. В мире уже работают гидротермальные электростанции (ГТЭС) общей мощностью более 6 млн кВт. Доминируют здесь США, Филиппины, Мексика, Италия, Япония.

Ветровая энергия в последнее время вновь привлекает внимание. Ветряные электрогенераторы построены в Дании, Калифорнии, Индии, Китае, Греции, Нидерландах, Швеции. Строительство ветровых турбин - типичный путь развития энергетики малых стран.

Дорогая нефть толкнула некоторые страны на производство из сахарного тростника и кукурузы спирта, который в смеси с бензином используется в качестве горючего для автомашин. В Бразилии производство 1 л спирта дешевле,

чем 1 л бензина. Но если цена на нефть падает до 20 долларов за баррель (159 л), такое производство становится экономически невыгодным. Для европейских стран бразильский опыт вообще непригоден. Так, в Германии для перевода 28 млн легковых машин на «алкогольное» топливо пришлось бы занять тростником половину площади всей страны. В США, правда, для производства спиртовых добавок к бензину стали использовать излишки кукурузы. Преимущество бензоспирта перед бензином - экологическая чистота.

Будущее, вероятно, принадлежит тем странам, которые вкладывают достаточные средства в разработку энергосберегающих технологий и альтернативных источников энергии. Примером могут служить лидеры перестройки энергетики - Япония и Швеция.

8.3. Демографическая и продовольственная проблемы

Население планеты постоянно растет. Сегодня эта проблема волнует и демографов, и социологов, и экономистов, и экологов, и политиков.

Рост населения в значительной мере определяет будущее планеты: растет население - растут потребности, иссякают природные ресурсы, повышается нагрузка на биосферу.

В 1970 г. прирост населения Земли составил 1,8 %, но в 80-х гг. ежегодный прирост упал до 1,7 % (в абсолютных цифрах он уменьшился на сотни миллионов человек). Это соответствует теории демографического перехода, разработанной в 1945 г. Ф. Ноутстойном, согласно которой есть три стадии роста населения, определяемые экономическим и социальным развитием.

Для первой стадии характерны высокие рождаемость и смертность. Эта стадия практически пройдена всем человечеством. Во второй стадии рождаемость остается высокой, а смертность снижается (развитие экономики, прогресс здравоохранения). На этой стадии численность населения быстро увеличивается - большинство развивающихся стран находятся в этом периоде. На третьей стадии показатели рождаемости снижаются, одновременно снижается детская смертность. Меняются экономические и социальные цели общества. Происходит выравнивание показателей рождаемости и смертности. Эта стадия характерна для развитых стран Европы, США и Японии.

Эксперты ООН считают, что снижение рождаемости в развивающихся странах произойдет после 2000 г., а к 2100 г. население Земли стабилизируется на уровне примерно 11-13 млрд человек. Эта цифра совпадает с прогнозом советского ученого С. Струмилина, сделанным еще в 30-х гг.

Проблема демографического взрыва не является надуманной. В конце XX в. в богатых странах рост населения замедлился; в бедных странах темп роста населения продолжает увеличиваться. Рекордсменом здесь остается Африка, где ежегодный прирост населения составляет в среднем 2,8 % (в 3 раза выше, чем в США), а в Кении он достигает 4,2 %. В Индостане прирост населения - 2,5 %, на Ближнем Востоке - 2,0 % в год. Наблюдается как бы запаздывание сценария «демографического перехода». Бурный рост населения, а с ним нищета, голод, болезни, неграмотность увеличивают людские бедствия в современном мире и могут привести к социальным и политическим взрывам.

Но даже при благополучном «сценарии» демографическая проблема сохранит остроту и в XXI веке. К 2025 г. население слаборазвитых стран составит 84 % всех жителей Земли, в то время как сейчас - около 68 %.

Вероятно, лишь отдельные островки в этих странах будут экономически благополучными. Произойдет также «омоложение» мира (уже сейчас в развивающихся странах молодежь составляет почти 60 % населения). Ожидается взлет ислама: с 800 млн мусульман в 1980 г. до 4,4 млрд - в 2100 г., а число христиан увеличится всего с 1,4 до 2,2 млрд человек.

Общество XXI в. будет еще более «городским», а из 5 самых крупных городов мира 3 будут находиться в странах «третьего мира»: Мехико (более 18 млн человек), Сан-Паулу и Калькутта. Такой взрыв скорее всего приведет к «трущобной урбанизации». Все это может обострить контрасты в развивающихся странах. Смягчить демографические проблемы сможет стабилизация численности населения Земли. И некоторые страны уже проводят более или менее жесткую политику регулирования рождаемости: в Китае разрешен один ребенок в семье, в Индии - двое детей. Однако, по данным Международного Банка Реконструкции и Развития (МБРР), решительный поворот к сокращению рождаемости в этих странах могут обеспечить только разумные социальные преобразования: поднятие жизненного уровня, улучшение социального обеспечения, повышение уровня образования и грамотности населения. Так, в одном из штатов Индии, в котором 70 % населения грамотно, прирост населения стал меньше 2 % в год, в то время как в среднем по Индии он превышает 2 %. В странах Средней Азии проблема роста населения также актуальна. В Таджикистане, например, прирост населения составляет более 3 % в год.

Хотя демографические проблемы и глобальны, решение их не может быть стандартным для всех стран.

Проблема голода неизбежно связана с прогрессирующим ростом населения. Зона, где большинство населения страдает от голода и недоедания, протянулась по обе стороны экватора и включает многие страны Азии, Латинской Америки и особенно Африки. Специалисты ООН считают, что число голодающих около 500 млн человек; эксперты МБРР называют более 1 млрд человек.

Еще большее число людей недоедают, т. е. испытывают недостаток в рационе питания необходимых питательных веществ (белков, жиров, витаминов, микроэлементов, солей). Эксперты Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) полагают, что около 50 % детской смертности (до 5 лет) в Латинской Америке связано с плохим питанием. Прослеживается четкая связь между смертностью новорожденных и недостатком в рационе питания населения животных белков. Не лучше продовольственная обстановка и в странах СНГ. Голода пока нет, но дефицит важнейших элементов в питании существует во многих районах бывшего Союза.

Далее рассмотрим экологические проблемы глобального масштаба.

8.4. Парниковый эффект

Некоторые явления в природе заставляют задумываться: не началось ли глобальное потепление? Последние 10 лет были самыми теплыми в XX столетии.

Так, 1988 г. побил все рекорды: в Нью-Йорке в течение 40 дней температура не падала ниже 31°C, суровая засуха привела к тому, что в США впервые сбор зерна упал ниже потребностей страны. На Ямайке пронесся страшный ураган, лишив крова 500 тыс. человек. Муссонные дожди затопили 2/3 территории Бангладеш - 25 млн людей потеряли жилище. В Антарктиде откололся гигантский айсберг длиной 130 км. Жарко было и в Европе.

Потепление климата связывают с парниковым, или тепличным эффектом (по-английски «эффект гринхауз»). Многие считают, что парниковый эффект уже действует. Чем же это вызвано?

Миллиарды тонн углекислого газа ежечасно поступают в атмосферу при сжигании дров, угля, нефти, газа. Миллионы тонн метана каждый год выделяются при разработках газа и гниении органических остатков. Кроме того, в атмосфере увеличивается содержание водяного пара. Все вместе эти газы и создают парниковый эффект.

Как стеклянная крыша в парнике, пропуская солнечную радиацию, не дает уходить теплу, накопившиеся в атмосфере «парниковые газы», задерживая длинноволновое тепловое излучение Земли, не дают уходить теплоте в космос. Солнечный свет, проходя через стратосферу и тропосферу, достигает поверхности Земли. Поглощенная Землей теплота излучается в окружающее пространство. Но только часть тепловых лучей, достигающих стратосферы, рассеивается в космическом пространстве.

По расчетам американских ученых, в 1988 г. в атмосферу ушло 5,5 млрд т углерода от сжигания ископаемого топлива и 2,5 млрд т - от сжигания лесов в Амазонии. Более 40 % выбросов приходится на США и СНГ, к ним приближаются другие развитые страны.

Энергетический бум уходящего столетия увеличил содержание CO₂ в атмосфере на 25 %, а метана - на 100 %. Если рост добычи и использования топлива будет идти такими же темпами, то к 2010 г. будет выбрасываться около 10 млрд т углерода в год, и концентрация CO₂ в атмосфере значительно возрастет.

За последние 100 лет потепление на Земле составило 0,5 - 0,7 °C: в 1890 г. средняя температура была приблизительно 14,5 °C, а в 1990 г. - 15,0 - 15,2 °C. Большинство ученых считают это следствием парникового эффекта.

- Последствие парникового эффекта, которое вызывает наибольшие опасения - это подъем уровня Мирового океана. Международная конвенция климатологов в Австрии (1988) прогнозировала к 2030 - 2050 гг. повышение температуры на 1,5 - 4,5 °C, которое может вызвать подъем уровня океана на 50 - 100 см, а к концу XXI века - на 2 м. Трудно предсказать все страшные последствия повышения уровня моря. Людей ждет не только «всемирный потоп», могут усилиться и засухи. Наземные экосистемы не смогут достаточно быстро приспособиться к изменению климата. Огромные лесные массивы в результате разложения и сгорания будут дополнительными источниками углерода, что усугубит потепление.

Сработает ли прогнозируемый сценарий? В природе действуют и обратные связи. Фотосинтез и мировой океан являются буферной системой, потребляющей

CO₂. В какой мере они могут компенсировать избыточное поступление в атмосферу CO₂? С другой стороны, запыленность атмосферы вследствие промышленных выбросов твердых частиц может препятствовать поступлению теплового излучения на Землю, как, например, после извержения вулкана.

Пылевое облако настолько снизило солнечную радиацию, что похолодание привело к увеличению снежного покрова. Это, в свою очередь, вызвало гибель 90 % молодых зайчат, а через 3 года было зафиксировано снижение поголовья рыси, которая погибала из-за недостатка пищи.

И все-таки из-за неопределенности ситуации с потеплением климата нельзя отказываться от стратегического планирования, мириться с уничтожением лесов, выбросом в атмосферу парниковых газов.

На совещании ООН по охране окружающей среды в Гааге (1989) Бразилия предложила создать специальный фонд для оказания экологической помощи развивающимся странам. Если бы каждая страна платила в этот фонд по 1000 долларов за тонну выброшенного в атмосферу CO₂/ то за год накопилась бы сумма, достаточная для погашения внешнего долга стран «третьего мира» и финансирования программ по защите климата. В Торонто (1989) прозвучал другой призыв ко всем странам: сократить выбросы углерода к 2005 г. на 20 %. На Конференции по охране окружающей среды в Рио-де-Жанейро (1992) была принята рамочная Конвенция ООН об изменении климата, в которой записано, что участвующие страны «преисполнены решимости защитить климатическую систему в интересах нынешнего и будущего поколений». Конечная цель Конвенции - добиться стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на уровне, не допускающем опасного антропогенного воздействия на климатическую систему. При этом 25 развитых стран, а также страны, осуществляющие переход к рыночной экономике, включая Россию, должны взять на себя более конкретные обязательства: вернуться к уровням выбросов парниковых газов 1990 г., предоставить финансовые ресурсы, передать безопасные технологии другим заинтересованным сторонам и др.

8.5. Озоновые дыры

Мы уже говорили, что жизнь сохраняется потому, что вокруг планеты образовался озоновый экран, защитивший биосферу от смертоносных ультрафиолетовых лучей. Но в последние десятилетия отмечено снижение содержания озона в защитном слое.

Разрушение озонового экрана обнаруживалось каждой весной над Антарктидой с 1975 г. Позже над Северным полюсом было также замечено сокращение озонового столба на 10 %, а над Антарктидой - на 40 % (озоновый столб - это количество озона, через которое ультрафиолетовые лучи должны пройти из верхних слоев атмосферы до поверхности Земли в данном пункте). В защитном озоновом слое появились «дыры».

Средняя концентрация озона в стратосфере составляет приблизительно 0,0003 %, хотя и колеблется в разных географических областях. Колебания концентрации озона' даже до 30 % в одном и том же месте считаются нормальными. Колебания среднего уровня могут достигать 10 % и обусловлены, вероятно, естественными флуктуациями содержания озона. Уменьшение

количества озона в результате деятельности человека может оказать влияние на здоровье людей и климат Земли. Так, американские ученые полагают, что каждое уменьшение озонового столба на 1 % приводит к 2 %-ному усилению ультрафиолетовой радиации и 2,5 %-ному учащению случаев заболеваний раком кожи.

Причины появления «озоновых дыр» объясняют по-разному. Возможно, это связано с естественными циклами в природе, на которые раньше не обращали внимания? Первоначально основной причиной считали разрушительное воздействие на озоновый слой сверхзвуковых транспортных самолетов, которые загрязняют стратосферу водой и оксидами азота, способными разрушать озон.

Но высокая стоимость таких полетов настолько замедлила развитие сверхзвуковых перевозок, что теперь они не представляют существенной угрозы для озонового экрана.

Однако в одном ученые сходятся: фреоны (хлорфторуглеводороды) способствуют разрушению озонового слоя. Эти химические вещества, созданные человеком, широко используются в качестве аэрозолей, хладагентов и растворителей. Попадая в стратосферу, хлорфторуглеводороды разрушаются, а атомы хлора, выделяющиеся при этом, взаимодействуют с озоном. Образовавшийся монооксид хлора (СЮ) взаимодействует с атомами кислорода и восстанавливает хлор.

Затем возникает цепная реакция разрушения озона.

Производство хлорфторуглеводородов в мире очень высоко: только США дают половину всего количества - 800 - 900 тыс. т. Хлор и фторзамещенные углеводороды не только воздействуют на озон, но и поглощают инфракрасное излучение, что может усугублять парниковый эффект.

Кроме того, ученые осознали, что хлор и фторзамещенные углеводороды и сверхзвуковая авиация вовсе не единственные факторы, наносящие ущерб озоновому слою. Ядерные взрывы также высвобождают оксиды азота, разрушающие озон. Следовательно, в случае ядерной войны ультрафиолетовая радиация может стать такой же проблемой, как и радиоактивные осадки.

Выхлопные газы автомобилей и удобрения в почве - тоже источники оксидов азота. Известно, что бром в виде метилбромида CH_3Br , широко используемый в сельском хозяйстве, также может разрушать озон. Сколько его улетучивается в атмосферу, пока неизвестно. Предполагают, что большие количества таких промышленных химикатов, как четыреххлористый углерод и метилхлороформ, могут выделять заметные количества хлора.

Но существуют явления и процессы, которые тормозят разрушение озона или способствуют его образованию. Так, считается, что парниковый эффект приводит к нагреванию атмосферы лишь вблизи поверхности Земли, а в стратосфере - возможно охлаждение, которое замедляет разрушение озона. Метан и оксиды азота в тропосфере способствуют образованию озона. Таким образом, действует комплекс противоположно направленных факторов.

Следовательно, образование озона происходит, главным образом, в тропосфере, а разрушение - в стратосфере.

Но даже если предположить, что эти противоположные процессы компенсируют друг друга, то вследствие перемещения озона из одного слоя атмосферы в другой могут происходить нарушения естественного равновесия. Последствия этого пока неизвестны. Однако, весьма вероятно, что этим разрушается защитный экран Земли.

В США, на долю которых приходилась половина всего мирового выброса хлор- и фторуглеродов, в 1979 г. использование их в аэрозолях было запрещено законом. Однако применение этих соединений в холодильниках и кондиционерах после некоторого снижения в 70-х гг. вновь возросло.

Международная конференция по этой проблеме (Монреаль, 1987) приняла резолюцию сократить выпуск хлорфторуглеродов к концу века на 50 %. В материалах Конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992) отмечено, что есть основания для беспокойства по поводу разрушения стратосферного озонового слоя Земли. Несмотря на Монреальский протокол, общее содержание разрушающих озоновый слой веществ в атмосфере продолжает увеличиваться. Это свидетельствует о том, что принятые соглашения, если и выполняются, то не всеми странами. В связи с этим правительствам всех стран предлагается ратифицировать или принять Монреальский протокол и поправки к нему 1990 г. Это означает, что развитые страны должны в кратчайшие сроки сделать взносы в Венский и Монреальский целевые фонды по озоновому слою и содействовать передаче технологий замены хлорфторуглеродов развивающимся странам.

8.6. Кислотные дожди

Другим видом загрязнения атмосферы, непризнающим государственных границ, являются оксиды серы и азота. Во многих странах (вначале в Скандинавии, а затем в США, Канаде, Северной Европе, Японии и др.) ученые обнаружили, что дождевая вода, казалось бы, самая чистая в природе, содержит большое количество кислот.

- Оксиды серы и азота в атмосфере - основная причина кислотных дождей. Оксиды серы поступают в воздух при сжигании ископаемых видов топлива, содержащих серу, первое место среди которых занимает каменный уголь (до 90 %), на втором месте - нефть, значительно уступает им газ. Оксиды азота NO_x также образуются при сжигании топлива, а дополнительным крупным их источником является автомобильный транспорт.

В 1983 г. тепловые электростанции при сжигании угля и неф-ти выбросили в атмосферу 16,8 млн т серы, или 87 % всех оксидов серы, выброшенных в том же году. При сжигании угля и нефти образуются два кислородных соединения серы: двуокись и трехокись серы. Серная кислота присутствует в воздухе в виде легкого тумана, состоящего из крошечных капель. При сжигании топлива выбрасываются в атмосферу также оксиды кальция и железа, которые вступают в реакцию с серной кислотой, образуя твердые частички сульфатов кальция и железа.

Количество содержащихся в городском воздухе твердых частиц сульфатов и капелек серной кислоты может достигать 20 %. Ветер разносит эти загрязнения за сотни километров от места их выброса, образуются туманы и смоги. Оксиды азота окисляются в воздухе до диоксидов, которые тоже растворяются в капельках воды, образуя азотную кислоту

Эти две кислоты, а также их соли и обуславливают выпадение кислотных дождей. На растения, почву и воду выпадают также сухие частицы в виде солей.

Естественная дождевая вода имеет слабокислую реакцию ($pH \gg 6$), так как находится в контакте с CO_2 (естественный компонент атмосферы) и растворяет ее, образуя слабую угольную кислоту.

Однако дожди, выпадающие в Новой Англии, например, имеют иногда $pH=4$ - весьма необычное явление для дождевой воды. В других регионах мира часто наблюдаются дожди с pH ниже 4.

Европа также страдает от кислотных дождей. Широко распространенное сжигание угля как основного топлива, особенно в Великобритании и Центральной Европе, оказывает разрушительное воздействие на природные экосистемы.

По данным 1975 г., в США 51 % озер имели pH воды меньше 5, в 90 % этих озер рыба полностью отсутствовала. Правда, трудно предположить, что такая вода может сильно влиять на взрослых рыб. Скорее всего, низкий pH препятствует размножению рыб, убивая икру.

Вероятно также снижение развития фитопланктона, а следовательно, и кормовой базы для рыб. Снижение численности рыб влечет за собой исчезновение животных, которые питаются рыбой: белоголового орлана, гагар, чаек, норки, выдры и др. Численность земноводных (лягушек, жаб, тритонов), возможно, тоже сокращается.

Кроме того, подкисленные воды лучше растворяют различные минералы. Ртуть, содержащаяся в природных водоемах, в кислой среде может превратиться в ядовитую монометилловую ртуть. Подкисление воды в источниках водоснабжения может приводить к растворению в трубах токсичных металлов, которые могут попасть в питьевую воду. Так, в одном из районов Нью-Йорка подкисленная питьевая вода, простоявшая в трубах целую ночь, растворила свинец, и его содержание в воде превысило допустимые нормы.

Кислотные дожди разрушают строительные материалы (растворы, гипс, камень и др.), реагируя с кальцием и магнием, входящими в их состав; усиливают коррозию строительных конструкций из железа и других металлов. Шведские специалисты обнаружили высокую корреляцию между кислотными дождями и коррозией стали.

Конечно, кислотные дожди отрицательно влияют и на наземные экосистемы. Несомненно, что они - одна из причин деградации лесов. По имеющимся данным, например, в Чехословакии серьезно повреждены деревья на 200 тыс. га лесов именно в тех местах, где интенсивно сжигают бурый уголь с высоким содержанием серы. В Польше погибшие деревья в районах, где используется бурый уголь, обнаружены уже на 500 тыс. га. То же самое отмечено в Австрии, Швейцарии, Швеции, Германии, Голландии, Румынии, США и других странах. Кислотные дожди могут высвободить из почв токсичный для растений алюминий.

Твердые частицы и оксиды серы, действуя совместно, вредно влияют и на здоровье людей. Серная кислота, растворяясь в каплях воды, образует едкий туман, вызывающий аллергию и другие заболевания. Частицы сульфатов железа могут создавать дополнительный канцерогенный потенциал в городском воздухе.

Предотвращение последствий кислотных дождей - непростая проблема. В Швеции и США в порядке эксперимента было предпринято известкование озер. Известняк содержит карбонат кальция, который уменьшает кислотность воды и создает некоторый резерв сопротивляемости - буферную емкость.

Известкование можно применять и для снижения кислотности почв в лесах. В Шварцвальде (Германия) в одном из лесов в почву внесли смесь сульфата магния (800 кг га⁻¹) и известняка (2270 кг га⁻¹). После такой обработки поврежденные деревья стали «выздоровливать».

Для борьбы с кислотными дождями используются те же технические средства, что и для ограничения выбросов оксидов серы и азота в атмосферу. Очистные установки различных конструкций хорошо известны. В 1982 г. Норвегия, Финляндия и Швеция предложили уменьшить выброс в атмосферу серы на 30 %. К ним присоединились Дания, Германия, Швейцария, Австрия, Канада. Великобритания и Франция отказались от таких обязательств. Канада же поставила целью снизить выбросы оксидов серы на 50 %.

В настоящее время по сравнению с 1975 г. выброс в атмосферу оксидов серы, несмотря на принятые меры, уменьшился примерно на 20 %. Многие источники и промышленные объекты, выбрасывающие оксиды серы, за этот период были просто перенесены из одного места в другое. Не следует забывать и о том, что при сжигании угля и в других промышленных производствах образуется большое количество твердых частиц. Транспортные средства также выбрасывают в воздух частицы солей свинца, капельки углеводородов, что обуславливает фотохимический смог.

Основные «поставщики» оксидов азота - выхлопные газы от автомобилей. Для борьбы с ними применяются каталитические конверторы и усовершенствованные двигатели. В США эти меры используются довольно широко, но в Европе пренебрегают контролем за выхлопными газами, хотя европейская автомобильная

промышленность располагает необходимыми технологиями и на автомобили, экспортируемые в США, защитные устройства устанавливаются.

8.7. Антропогенное эвтрофирование Одним из проявлений воздействий человека на природную среду является антропогенное эвтрофирование водоемов (гр. (горHe - пища, ей - хороший, избыточный).

- Трофность водоемов как термин был введен в 1921 г. немецкими гидробиологами А. Тинеманом и Э. Науманом для обозначения способности водоемов фотосинтезировать органическое вещество как основу кормовой базы для рыб. Впоследствии термином стали пользоваться для обобщенной характеристики и классификации водных экосистем. Выделяют три степени трофности.

Наиболее очевидным проявлением антропогенного эвтрофирования является массовое развитие микроскопических планктонных водорослей, обитающих в толще воды - фитопланктона, и высшей водной растительности.

Антропогенное эвтрофирование ведет к вторичному загрязнению воды и нарушению всех видов водопользования. Прежде всего, из-за засорения фильтров, водоприемных устройств, трубопроводов массой водорослей требуется их

промывка, что серьезно затрудняет водоснабжение. Повышение уровня трофности сопровождается изменением состава фитопланктона: начинают преобладать синезеленые водоросли (90 - 95 % от общей численности фитопланктона). Некоторые виды этих водорослей придают воде неприятный запах и вкус, могут выделять токсичные вещества. При отмирании водорослей в местах их массового скопления поглощается кислород и возникают заморные явления.

Серьезные нарушения вызывает интенсивное зарастание прибрежных мелководий высшей водной растительностью. Зарастания затрудняют водопользование и рыбный промысел, воздействуют на динамику вод: уменьшают скорость береговых течений, гасят волновые движения, увеличивают седиментацию, нарушают водообмен. Органические остатки на мелководьях могут вызывать процессы гниения и брожения, сопровождающиеся выделением дурнопахнущих продуктов разложения. В случае рекреационного использования водоемов к отрицательным последствиям цветения и зарастания следует добавить снижение эстетических достоинств ландшафтов. При разложении водорослей в воде увеличивается концентрация свободной углекислоты, аммиака, сероводорода, восстановленных соединений железа, марганца и других веществ. Это приводит к резкому ухудшению качества питьевой воды, иногда делает ее токсичной. В водопроводной сети выпадает осадок гидроксида железа. Увеличивается агрессивность воды относительно бетона, разрушаются материалы, применяемые в гидростроительстве. Ресурсная деградация водоемов и нарушение всех видов водопользования ставят проблему антропогенного эвтрофирования в ряд глобальных.

Причины антропогенного эвтрофирования - избыточное поступление в водоемы биогенных веществ. Основными питательными для водорослей (биогенными) веществами являются минеральные формы углерода, азота и фосфора. Содержание углерода в воде в форме углекислоты, дикарбонатов и органических веществ практически всегда достаточно; лимитируют или стимулируют развитие водорослей обычно соединения фосфора и азота. Связь эвтрофирования водоемов с обогащением их фосфором и азотом не нуждается в специальных доказательствах и вытекает из схемы балансового уравнения фотосинтеза.

Согласно закону действующих масс при увеличении концентрации азота и фосфора скорость прямой реакции, т. е. скорость фотосинтеза, возрастает, что и приводит к эвтрофированию. Это положение подтверждено многочисленными исследованиями на водоемах. Считается, что максимальная скорость роста достигается в воде, в которой соотношение углерода, азота и фосфора (C:N:P) соответствует их атомно-массовому отношению в составе вещества водорослей. Для фитопланктона в среднем оно приближается к 106:16:1. Всякое отклонение от данного соотношения в окружающей среде говорит об изменении обеспеченности водорослей питательными веществами.

Роль фосфора в эвтрофировании заслуживает особого рассмотрения в связи с тем, что он не содержится в атмосфере, а резервный фонд его находится в земной коре. Долгое время именно фосфор, как труднодоступный элемент, лимитировал эвтрофирование. Сейчас концентрация растворенных фосфатов в

бытовых стоках возрастает вследствие применения фосфорсодержащих моющих средств. По имеющимся данным, очищенные сточные воды обогащаются минеральными формами азота и фосфора, большая часть которых образуется в процессе биологической очистки.

Основные источники антропогенного поступления биогенных веществ в воду - бытовые и промышленные сточные воды, поверхностный сток с городских территорий, рекреационные зоны и смыв с полей минеральных удобрений. При этом соотношение азота и фосфора для разных источников различно. Так, для Германии приводятся следующие данные: поступление азота с коммунальными водами - 30 %, со стоками с сельскохозяйственных угодий - 70 %, фосфора, соответственно, - 91 и 9 %. Для Европы в целом при плотности населения 150 чел/км² принято считать, что с сельскохозяйственных угодий поступает азота от 10 до 25 %, а фосфора - от 10 до 12 %. Однако в отдельных районах эти цифры могут варьировать. Другие источники поступления веществ, стимулирующих эвтрофирование: атмосферные осадки, судоходство, донные отложения - можно считать второстепенными, хотя в отдельных случаях они имеют существенное значение.

При разработке мероприятий по предотвращению антропогенного эвтрофирования прежде всего должен решаться вопрос о предельно допустимом сбросе (ПДС) биогенных веществ в конкретный водоем. Для инженерных расчетов ПДС эвтрофирующих веществ необходимо располагать нормативами на предельно допустимые концентрации их в водоеме, хотя бы для основных регуляторов трофности - азота и фосфора. Утвержденных нормативов на предельные концентрации минеральных соединений фосфора и азота, при превышении которых начинается эвтрофирование водоема, в настоящее время не существует. Имеются лишь эмпирические данные для различных водоемов, позволяющие косвенно судить об экологических нормативах на биогенные вещества. Принято считать, что цветение воды становится вероятным, когда содержание минерального азота превышает 0,3 - 0,5 мг/л, а минерального фосфора - 0,01 - 0,03 мг/л.

Эвтрофирование водоемов зависит не только от нагрузки на водоем биогенных веществ, но и от условий развития автотрофных гидробионтов, т. е. от климатических, гидродинамических и морфологических особенностей водоема. Лимитировать цветение при достаточной концентрации питательных веществ могут низкая температура, недостаточная солнечная радиация, высокие скорости течений, большая глубина, мутность воды и другие экологические факторы. Наиболее сильно эвтрофирование происходит в хорошо прогреваемых и освещаемых прибрежных мелководьях. Поэтому нормативы биогенных веществ должны быть региональными, а для крупных водных систем - локальными.

Мероприятия по предотвращению антропогенного эвтрофирования разрабатываются в основном в двух направлениях: 1) ограничение поступления в водоемы эвтрофирующих веществ и 2) воздействие на комплекс условий в самом водоеме с целью снижения скорости развития водорослей. Ограничение поступления в водоем эвтрофирующих веществ со сточными водами возможно

отведением стоков за пределы водосбора или изъятием биогенных веществ в системе очистных сооружений.

Первый вариант является наиболее радикальным. Эффект обратимости эвтрофирования при использовании первого варианта был достигнут на озерах Вашингтон, Монона, Аннеси и др. Но из-за высокой стоимости и возможности осуществления лишь в благоприятных климатических условиях это не всегда целесообразно.

Извлечение из сточных вод эвтрофирующих веществ является актуальной технологической задачей, так как даже наиболее совершенные методы очистки не освобождают их от минеральных соединений азота и фосфора. Появилась необходимость введения третьего этапа глубокой доочистки. Методы очистки сточных вод от фосфора и азота подразделяются на физико-химические (осаждение, коагуляция, ионный обмен, электролиз) и биологические (потребление биогенов бактериями, водорослями и другими организмами).

Ограничение поступления биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий и зон рекреации связано с множеством трудностей. Одни обусловлены природой материкового стока в конкретных географических условиях, его сезонными и годовыми колебаниями; другие - различием поведения соединений азота и фосфора. Соединения азота хорошо растворимы и переходят в состав жидкого стока, соединения же фосфора сохраняют связь с частицами почвы и плохо переходят в раствор. Наибольший вынос фосфора осуществляется в процессе эрозии почв. Отсюда возникают два пути снижения выноса биогенных элементов - уменьшение потерь азотных удобрений, вносимых в почву, и борьба с эрозией почв. Решить эти задачи можно только совместными усилиями гидро- и агротехников, специалистов по санитарной технике и др. Институтом по охране вод в Харькове разработан план основных технических мероприятий, предупреждающих загрязнение вод минеральными удобрениями: развитие водоохранной лесомелиорации; применение противоэрозионной агро- и гидротехники; устройство прибрежных водоохраных зон. Однако реализация этого плана требует серьезного экономического обоснования.

Ограничить поступление биогенных элементов из рекреационных зон можно путем организации мест сбора отходов, облегчающих их удаление за пределы водосбора.

Воздействие на водоемы, которые уже стали подвергаться эв-трофированию, в частности, увеличением проточности и водообмена, лимитирует эвтрофирование. Применение этого способа пока ограничивается единичными опытами, в которых увеличивали проточность путем введения в озера вод из других источников. Таким образом можно снизить концентрацию основных питательных веществ или уменьшить содержание одного из компонентов до лимитирующих концентраций, а также увеличить биосток, т. е. скорость удаления из озера планктонных водорослей.

Удаление питательных веществ, накопленных в отложениях, эффективно только при ликвидации всех отложений в случае содержания в них больших запасов фосфора. Однако в современных условиях этот способ не может широко применяться как по техническим, так и по экономическим соображениям.

Для устранения цветения и зарастания применяют обработку водоемов сульфатом меди, выкашивание прибрежной растительности и ее механическое удаление. Эти мероприятия могут привести к уменьшению запасов биогенных веществ в водоеме, только если отмершие водоросли и укусы высшей водной растительности будут извлечены и увезены за пределы водосбора.

Заслуживают внимания воздействия на процессы обмена веществами контакта между донными отложениями и водой. Известно, что обмен между грунтом и водой регулируется окислительно-восстановительными условиями по обе стороны зоны контакта. Для ликвидации бескислородной области, обогащенной продуктами анаэробного распада и биогенными веществами, успешно может применяться принудительная аэрация. Воздействие на антропогенное эвтрофирование и восстановление качества воды этим способом приобретает широкое распространение. Совершенствуются и становятся все более разнообразными технические решения этой задачи. Аэрация, как правило, осуществляется перемешиванием либо при помощи сжатого воздуха. Устранение дефицита кислорода в глубинных слоях задерживает выход фосфора из донных отложений и замедляет его оборачиваемость.

Для замедления вторичного поступления фосфора в воду из донных отложений предлагалась его изоляция от воды путем нанесения на поверхность дна тонко раздробленных материалов: глины, вулканических пород и др. Однако широкого применения этот метод не нашел.

Биологические способы борьбы с цветением водоемов находятся в стадии разработки. Наиболее перспективной мерой борьбы с интенсивным развитием фитопланктона и прибрежной растительности является разведение в водоемах растительноядных рыб. В России проведены опыты по акклиматизации белого амура и толстолобика в пресноводных водоемах. Для аккумуляции биогенов можно использовать и прибрежные заросли макрофитов с последующим их удалением.

Таким образом, используя те или иные способы воздействия на водоемы, можно снизить первичную продукцию до оптимального уровня и, при необходимости, ускорить деструкционные процессы. Существуют различные методы смещения процессов эвтрофирования в сторону олиготрофирования водоемов. Однако практическое распространение получили лишь технологии доочистки сточных вод от биогенных веществ, не всегда оправданные экономически.

8.8. Деграция наземных экосистем

Председатель Госкомитета по экологии и охране окружающей среды России академик В. И. Данилов-Данильян в интервью газете «Аргументы и факты» в конце 1996 г. говорил: «... человечество не изобрело ничего, что могло бы заменить биоту в качестве регулятора окружающей среды. Но за время своего существования оно уже уничтожило 70 % естественных экосистем, которые способны переработать все отходы... Подчеркиваю, уничтожение био- и экосистем - самый страшный знак близкой катастрофы». Прежде всего следует обратить внимание на почвы, леса, водоемы, растительный и животный мир.

Почвы - ценнейшие природные ресурсы. Почва - это поверхностный слой земной коры, возникший под действием света, воздуха, влаги, растительных и животных организмов и деятельности человека. В результате бессистемного использования за всю историю цивилизации около 2 млрд га продуктивных земель превратились в пустыни: на заре земледелия продуктивные земли составляли около 4,5 млрд га, а сейчас их осталось около 2,5 млрд га. Угрожающе расширяет свои границы Сахара - величайшая пустыня мира. По официальным данным властей Сенегала, Мали, Нигера, Чада и Судана, темпы ежегодного продвижения края Сахары составляют от 1,5 до 10 м. За последние 60 лет она разрослась на 700 тыс. км². А ведь в 3000 г. до н. э. территория Сахары представляла собой саванну с густой гидрографической сетью. Там, где еще не так давно процветало земледелие, песчаный покров достигает полуметровой толщины.

Все это можно объяснить поспешной ломкой традиционного земледелия и кочевого животноводства в развивающихся странах. Интенсификация посевов монокультур привела к увеличению числа видов вредителей сельского хозяйства. Отрицательное воздействие оказывают водная эрозия и ливневые дожди, смывая плодородный слой. Негативные антропогенные изменения почв часто являются результатом вторичного засоления при искусственном орошении.

Зарубежные экологи подвергают критике усиливающуюся эксплуатацию африканских почв с использованием современной техники и призывают к возрождению древних методов земледелия, объясняя это особым механическим составом этих почв и концентрацией микроорганизмов в верхнем слое, который разрушается современной техникой.

Зловещие симптомы деградации почвенно-растительного покрова проявляются сегодня в Латинской Америке, Южной Азии, Австралии, Казахстане, Поволжье и т. д. Площади пахотных земель постоянно сокращаются из-за горнопромышленных разработок, расширения селитебных зон, промышленного и гидротехнического строительства.

Деградация лесов способствует разрушению почв и интенсификации эрозийных процессов. Леса играют уникальную роль в эко-экономических системах. Сокращение лесных массивов неизбежно влечет за собой изменение состава атмосферы, водного баланса ландшафтов, уровня грунтовых вод, что, в свою очередь, влияет на плодородие почв и микроклимат.

Экономический потенциал лесных ресурсов связан с использованием древесины (в качестве топлива и строительных материалов, сырья для целлюлозно-бумажной промышленности), а также другой лесной продукции (растений, ягод, грибов, смолы и др.) и животных. Исключительно велико значение лесных массивов в сохранении устойчивости природы в региональном и глобальном масштабе (поглощение CO₂). Возрастает роль лесов и как источника генетических ресурсов для сохранения биологического разнообразия организмов. Хищническая вырубка лесных массивов уже привела к трудно поправимым экологическим последствиям в странах Африки, Азии, Латинской Америки. На глазах «тают» леса Амазонии. Бичом амазонских джунглей являются и пожары (население использует огонь для расчистки участков земли под посевами): по данным Национального института космических исследований (США), в 1987 г.

огонь уничтожил в Бразилии 20 млн га джунглей, в 1990 г. - 12 млн га. Спутники ежедневно фиксируют до 8,5 тыс. очагов пожаров. Дым от них препятствует воздушной и речной навигации. Если правительство Бразилии не примет чрезвычайных мер по охране лесов Амазонии, то это грозит экологической катастрофой мирового масштаба.

Проблема охраны лесов остро стоит и в Африке, так как топливом для домашних очагов там испокон веков служат дрова. В развивающихся странах ежегодно превращаются в дым 12 млн га леса. Так, в Индии сорок лет назад леса охватывали 22 % территории, сейчас на их долю приходится не более 10 %. Тревогой охвачены также экологи США, Западной Европы, России, Австралии и других стран. Опасными темпами сокращаются леса Сибири. Здесь ежегодно вырубается более 500 тыс. га леса. Ученые фиксируют изменение сибирского ландшафта: на месте вырубок начинается заболачивание местности. Поскольку вырубает прежде всего ценные сосновые, а иногда и кедровые леса, повсеместно наблюдается обеднение леса этими породами. Под натиском человека леса отступают на всех континентах, практически во всех странах. Как мы писали вначале, первое срубленное дерево было началом цивилизации. Последнее дерево означало бы ее конец.

Но леса гибнут не только вследствие пожаров или вырубки, их деградация идет повсеместно из-за кислотных дождей, поступающих в атмосферу, воду, почву. В Шварцвальде (Германия) отмечены массовые повреждения и заболевания хвойных пород деревьев, дубов, берез, рябины, бука и платанов. Большинство ученых считают, что причина повреждений - кислотные дожди и загрязнение воздуха. Леса начали гибнуть. По оценкам 1984 г., три четверти деревьев в Германии получили различные повреждения.

Аналогичные повреждения деревьев обнаружены и в США в горах Аризондо, в штатах Вермонт, Нью Гемпшир, Северная Каролина, в Чехословакии, Польше, Швеции и других странах.

Отмеченные примеры имеют общие черты. Во-первых, все описанные регионы были охвачены кислотными дождями. Во-вторых, в большинстве случаев поврежденные леса находятся на возвышенностях и значительную часть их окутывают облака, которые также могут иметь кислую реакцию (до $pH=3,5$). В третьих, из-за повышенной кислотности в высокогорных районах из почв легко вымываются кальций и магний. В четвертых, химический анализ показал, что в листьях больных деревьев серы на 10 % больше, чем в листьях здоровых. И, наконец, в воздухе в этих горных лесах было обнаружено высокое содержание озона, который может быть токсичным для деревьев. Появление озона на горных склонах оказалось неожиданностью. Возможно, это объясняется реакциями с углеводородами (терпенами), выделяемыми хвойными деревьями. На солнечном свете терпены могут вступать в реакции с диоксидом азота, в результате чего выделяется озон. Итак, комплекс факторов: кислотные дожди; большая высота над уровнем моря; облачный покров; повышение кислотности и изменение минерального состава почв; наличие серы в листве; содержание озона в атмосфере - могут привести к гибели лесов и, как следствие, к экологической катастрофе в северном полушарии. Но леса - возобновляемые природные ресурсы и при

сохранении устойчивости лесных экосистем могли бы использоваться в течение длительного времени. Поэтому, как записано в документах Конференции ООН в Рио-де-Жанейро, назрела острая необходимость «принять достаточно решительные меры по сохранению многогранной роли и разнообразных функций всех видов лесов и лесных угодий на основе целостного и рационального подхода к устойчивому и экологически безопасному развитию лесного хозяйства».

9 Растительный и животный мир планеты вместе с ее лесами, степями, реками, озерами, морями составляют гигантский суперорганизм. Поэтому, говоря о почвах и лесах, нельзя не коснуться растительного и животного мира. Многие виды растений и животных исчезают на наших глазах, некоторые из них человек даже не успел изучить. Это происходит не только в результате их истребления, но и вследствие уничтожения природных экосистем, в которых они обитают. Каждый исчезнувший вид растений может унести с собой пять видов насекомых или других беспозвоночных животных. По прогнозам ученых, уничтожение влажных тропических лесов может привести к исчезновению от 2 до 5 млн видов животных. И это при общем числе живущих на Земле около 10 млн видов!

В 1966 г. Международный союз охраны природы (более чем 100 стран) начал издавать Красную книгу. Еще в конце 80-х гг. в печальном списке растений и животных, находящихся под угрозой исчезновения, значились 768 видов позвоночных, 264 вида птиц, 250 видов растений. В Красную книгу занесены лемуры, орангутанги, гориллы, белый журавль, кондор, морские черепахи, носороги, слоны, тигры, гепарды и многие другие.

Особенно хищнически истребляются промысловые животные: осетровые рыбы, морские котики, носороги, слоны, леопарды и многие другие. Если 20 лет назад в Африке обитало 60 тыс. носорогов, то сегодня их осталось не более 2 тыс. Поголовье слонов с 1990 г. сократилось в 4 раза.

Сохранение разнообразия растений и животных, существующих на Земле, - это не только условие сохранения систем жизнеобеспечения человека, но и сложнейшая нравственная проблема. Это обусловлено как необходимостью сохранения целостности природных экосистем, так и тем, что растения, животные и микроорганизмы являются носителями генетического ресурса планеты. Каждая страна должна разработать национальную стратегию охраны биологического разнообразия и регулярно представлять в ООН доклады о состоянии работ в этом направлении. В данной главе мы рассмотрели лишь основные экологические проблемы, касающиеся всех стран и народов, т. е. проблемы глобального масштаба. Охрана природной среды (атмосферы, воды, почвы) не затрагивалась в полном объеме - это предмет «Охраны окружающей среды», которая входит в цикл профессиональных дисциплин. В данной части учебника освещаются лишь некоторые вопросы прикладной экологии.

Лекция 9

9.1. Состояние биосферы и болезни

Человек - лишь незначительная часть биосферы. На протяжении тысячелетий он стремился не столько приспособиться к природной среде, сколько сделать ее удобной для своего существования. Только теперь люди осознали, что, подчиняя себе природу, они опасно изменяют условия обитания всех живых существ, включая самих себя. Химические, физические, биологические и другие виды загрязнений оказывают вредное влияние прежде всего на организм человека.

На здоровье влияет множество экологических факторов: болезнетворные микроорганизмы, загрязнение воды, воздуха, почвы, питание, погода, другие условия окружающего мира.

Охрана здоровья людей - проблема, которая приобрела глобальный характер раньше других экологических проблем. Еще в эпоху средневековья и раннего капитализма распространялись грозные эпидемии и пандемии, против которых национальные меры были малоэффективны - потребовались согласованные международные действия. В 1881 г. Луи Пастер открыл принцип действия вакцин, вырабатывающих невосприимчивость организмов к некоторым заразным болезням. В 1883 г. И. И. Мечников создал теорию иммунитета. Однако до сих пор не удалось получить эффективных вакцин против малярии, гриппа, стафилококков, венерических болезней, не говоря уже о раке и СПИДе.

Появились новые болезни. Есть факты, говорящие о том, что некоторые ядовитые выбросы в воздух и водоемы влияют на наследственность. Растет число новорожденных с генетическими отклонениями от нормы. Очень велика детская смертность.

Ежегодно появляются десятки тысяч химических соединений, действие которых на организмы неизвестно. Наивно надеяться, что загрязнение может продолжаться бесконечно. По мнению многих ученых, уровень цивилизованности страны сегодня определяется не развитием техники, а продолжительностью жизни населения. Чтобы не погибнуть, человечество должно принять срочные меры.

Причины «средовых болезней» и опасных отклонений в здоровье людей очень разнообразны. Статистика говорит, что 60 - 90 % наиболее грозных раковых заболеваний у человека обусловлено факторами окружающей среды: загрязнением канцерогенами и лекарств, табаком, наркотиками, алкоголем и т. д. Рак - общечеловеческая проблема: около 2,9 млн случаев ежегодно в развитых странах и 3,0 млн - в развивающихся. Велика угроза здоровью со стороны бактериального и вирусного загрязнения воды и воздуха. Опасно влияние на здоровье разнообразных вредных веществ: ртути, кадмия, нитратов, пестицидов, асбеста и многих других. Страшно то, что воздействие большинства так называемых средовых загрязнителей отдельный человек почти не может контролировать. Примерами могут служить асбест и другие строительные материалы, радиация, загрязнение воздуха при выработке электроэнергии и т. д. Факторы можно подразделить на биологические, химические, физические и факторы добровольного риска. Рассмотрим основные из них.

9.2. Биологические факторы риска

В окружающей человека природной среде обитает огромное число патогенных микроорганизмов природного и антропогенного происхождения, вызывающих различные болезни. Их можно отнести к основной группе биологических факторов, влияющих на здоровье людей.

Инфекционные заболевания характерны, в первую очередь, для слаборазвитых стран. Голод и лишения, несчастья и болезни - близнецы-братья. До недавнего времени в Азии, Африке и Латинской Америке были распространены практически забытые в развитых странах оспа, чума, холера, желтая лихорадка, малярия. Сегодня, благодаря успехам медицины и фармакологии, ситуация изменилась в лучшую сторону. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) взяла на себя координацию всех мер, направленных на борьбу с болезнями. Свои достижения ВОЗ демонстрирует так: в приемной генерального директора висит плакат - «Оспы в мире больше нет». И это правда!

Но остаются малярия, корь, столбняк, дифтерия, туберкулез, полиомиелит, проказа, чума, шистозоматоз (переносчики - моллюски), сонная болезнь (переносчик - муха цеце), лептоспироз (водяная лихорадка) и др. В конце 80-х гг. около 270 млн жителей Земли болели малярией, 200 млн - шистозоматозом, 12 млн - проказой и т.д. Основная зона этих болезней - тропическая Африка. Но болезни не знают границ. Так, в 1988 г. в СССР было зарегистрировано 2 случая чумы, а в США - 14. О ликвидации чумы говорить трудно, так как в природе она циркулирует среди более 260 видов грызунов и мелких хищников. Ежегодно в мире регистрируется 500-600 случаев чумы.

В нашей стране встречается также лептоспироз, возбудитель которого переносится обыкновенными мышами-полевками. Во многих странах серьезная проблема - гепатит, несмотря на то, что ВОЗ разработала стратегию борьбы с этим заболеванием и активно помогает внедрению технологии получения вакцины в десятках стран. Наиболее массовой инфекцией остается грипп.

«Чума» XX века - синдром приобретенного иммунодефицита - СПИД. Страх перед этой болезнью не исчезает, а данное ей название «чума XX века» не утрачивает зловещей актуальности.

В 1990 г. эпидемия СПИДа охватила 156 стран, расположенных на всех континентах. Общее число больных, по мнению экспертов ВОЗ, составляло 600 тыс. человек, в 1997 г. называлась цифра более 1,7 млн человек, сейчас в мире зарегистрировано 30 млн. человек. Около половины больных - в Америке, затем идут Африка, Европа, Азия, Австралия. К 2000 г. ожидается около 40 млн носителей вируса СПИДа. Эта болезнь поражает иммунную систему человека, делает ее неспособной сопротивляться смертоносному вирусу. По литературным данным, основные ее симптомы таковы: 1) увеличение лимфатических узлов на шее, в локтевых сгибах, подмышками, в паху; 2) длительное беспричинное повышение температуры - от 37 до 39 °С; 3) прогрессирующая потеря веса; 4) частые гнойные поражения; 5) длительное расстройство стула. Главными распространителями СПИДа являются наркоманы, гомосексуалисты и проститутки. По данным П. Ревелль и Ч. Ревелль (1995), в Нью-Йорке почти каждый четвертый житель в возрасте от 25 до 44 лет заражен этой болезнью. СПИД отличается от

других болезней тем, что в его распространении решающую роль играет нравственное и духовное состояние общества. Социальные пороки общества служат благодатной почвой для распространения СПИДа. Хотя масштабы этой болезни в нашей стране относительно невелики, но она уже «с нами». В 1990 г. в СССР было зарегистрировано 500 больных, в 1997 г. в России - 264, а в 1998 г. - 10200 человек.

Во многих странах мира уже действуют общенациональные программы борьбы со СПИДом; в нашей стране такая программа только создается. Она обязательно должна включать нравственное воспитание молодежи, пропаганду здорового образа жизни и разъяснительную профилактическую работу в школе и среди всего населения.

Создание вакцины против СПИДа осложняется отсутствием живой модели, т. е. животных, обладающих иммунной системой, сходной с иммунной системой человека. Даже если ученым будет сопутствовать удача, и вакцина будет найдена, то для победы над зловещей болезнью потребуется еще много времени.

9.3. Химические биофакторы

Последствия химического загрязнения сферы для человека могут быть различными, в зависимости от природы, концентраций и времени действия. Реакция организма на загрязнения зависит от возраста, пола, состояния здоровья. Наиболее уязвимы дети, пожилые и больные люди. При систематическом поступлении в организм даже небольших количеств токсичных веществ могут наступать хронические отравления, признаками которых являются: нейропсихические отклонения, утомление, сонливость или бессонница, апатия, ослабление внимания, забывчивость, колебания настроения и др. Сходные признаки наблюдаются и при радиоактивном загрязнении среды, превышающем нормы. Высокотоксичные соединения часто приводят к хроническим заболеваниям различных органов и нервной системы; действуют на внутриутробное развитие плода, вызывая различные отклонения у новорожденных. Медики устанавливают прямую связь между ростом числа больных аллергией, бронхиальной астмой, раком и ухудшением экологической обстановки в регионе.

Канцерогены вызывают особую озабоченность людей. Установлено, что многие вещества (хром, никель, бериллий, бенз(а)пирен, асбест, табак и др.) являются канцерогенными. Еще в прошлом веке рак был почти неизвестен у детей, сейчас он встречается среди них довольно часто. В США основное число заболеваний раком легких приписывается курению, а меньшее - работе в некоторых отраслях промышленности. Интересно, что процент заболеваний той или иной формой рака различен в разных регионах и разных группах населения. Например, на северо-востоке США высока доля раковых заболеваний ротовой полости, горла, пищевода, гортани и мочевого пузыря, но преимущественно у мужчин. Очевидно, это связано с высокой концентрацией химических производств, на которых работают в основном мужчины. В районе Линьсянь в Китае встречается рак пищевода, в Японии обычен рак желудка, рак печени - проблема в Африке и юго-восточной Азии (но редко встречается в других

частях мира). Поэтому можно предполагать, что рак вызывается сочетанием каких-то условий окружающей среды в разных районах.

Многие канцерогены могут вызывать необратимые изменения в генах, называемые мутацией (лат. *ти* - изменение, перемена).

Фактически сегодня отсутствуют надежные способы для испытания 9000 синтетических веществ, производимых в настоящее время (к тому же число их ежегодно увеличивается на 500 - 1000). В США, например, по данным Национального института профессиональной безопасности и здоровья, каждый четвертый рабочий, т. е. почти 22 млн человек, может подвергаться действию токсичных веществ: ртути, свинца, пестицидов, асбеста, хрома, мышьяка, хлороформа и др. Не составляют исключения и служащие, которые подвергаются воздействию вредных веществ в воздухе, так же как и семьи рабочих, контактирующих с этими веществами через рабочую одежду.

Диоксины- группа органических веществ, которую в последние годы считают наиболее экологически опасной. В группу диоксино-подобных соединений входят суперэкоксиканты - универсальные клеточные яды, поражающие все живое. Пик выброса диоксинов пришелся на 60 - 70-е гг. Диоксины не производятся промышленно, они образуются при производстве других химических веществ: при синтезе гексахлорфенолов, гербицидов и др. Источниками диоксинов являются также сточные воды предприятий целлюлозно-бумажной, металлообрабатывающей, электронной, радиопромышленности и др., использующих для обезжиривания хлорорганические растворители. Кроме того, диоксины попадают в атмосферу с выхлопными газами автомобилей, при хлорировании питьевой воды, горении «техногенной» древесины, сжигании галогенсодержащих и бытовых отходов и т. д. Загрязнения среды возникают и при промышленных авариях. Наиболее известна авария в городе Севезово (Италия) в 1976 г. с большим выбросом диоксинов в результате нарушения правил захоронения отходов. Исследователи Миланского университета наблюдали 37000 жителей этого города - среди них был зарегистрирован 891 случай рака.

В 1968 г. в Японии, а в 1979 г. на Тайване были отмечены массовые пищевые отравления рисовым маслом, загрязненным диоксинами. Пострадало более 4000 человек; в печени было выявлено высокое содержание диоксинов (болезнь Юшо-Ю-Ченг).

Диоксины способны влиять на репродуктивную систему. У рабочих, занятых в производстве хлорфенолоксигербицидов, отмечается импотенция, а у их жен - повышенная частота выкидышей.

Сегодня мы еще не представляем реальных масштабов диоксино-вой опасности. В 1994 г. в России разработана и представлена в Правительство РФ целевая программа «Защита окружающей природной среды и населения от диоксинов и диоксиноподобных токсикантов». Первый этап программы направлен на создание нормативно-правовой базы, формирование сети аналитических центров по контролю за содержанием диоксинов, разработку рекомендаций по локализации и снижению поступления этих токсикантов от известных источников, а также на меры по реабилитации территорий и населения в наиболее диоксиноопасных регионах России. Кроме того,

разработаны технологии по удалению диоксинов из воды на основе сорбции на гранулированных активных углях, которые уже используются на водопроводах Уфы и Москвы.

Продукты питания и лекарственные препараты могут содержать вещества, оказывающие вредное воздействие на здоровье людей. До 40 % смертей от рака можно связать с питанием или приготовлением пищи. Даже обжаривание мяса может приводить к образованию канцерогенных веществ. Излишний жир иногда стимулирует выработку гормонов, способствующих возникновению рака молочной железы. Избыточное потребление соли может приводить к появлению гипертонии, избыток сахара - к порче зубов и т. д. Добавки и загрязнения, присутствующие в продуктах, медикаментах и косметических товарах, способны также вызывать различные заболевания. Американцы, например, потребляют около 68 кг пищевых добавок в год на душу населения, большую часть из которых составляют соль, сахар и его заменители. Приблизительно 4 кг приходится на горчицу, перец, пекарный порошок, дрожжи, казеин, карамель и 0,5 кг - на 2000 других добавок, используемых для окрашивания, консервации и улучшения вкуса продуктов.

В медикаменты тоже вводят примеси для маскировки горечи или иного неприятного вкуса. Красители и ароматизаторы используются также для замены дорогих натуральных компонентов. Например, вместо натурального сока в ароматизированные безалкогольные напитки часто добавляется заменитель. Фактически целые группы продуктов, в том числе и диетических, вероятно, не могли бы существовать без добавок, которые придают им приятный вкус, цвет и способность долго сохраняться. Но как бы аргументированно не обосновывалось применение добавок, необходима уверенность в том, что они безвредны. В США было испытано около 450 химических добавок, 80 % из которых были объявлены безвредными, 14 % - вероятно безвредными и около 5 % - сомнительными. В 1978 г. центр «Наука в интересах общества» (США) опубликовал перечень пищевых добавок с оценкой их безопасности.

Споры вызывают и синтетические заменители сладких веществ. В США в 1976 г. было продано 2,27 млн кг сахарина. Но сахарин, как и другие заменители сахара, может вызывать рак мочевого пузыря у крыс. Подозрения на канцерогенность сахарина привели, с одной стороны, к запрету его использования в некоторых продуктах, а с другой - к многочисленным протестам против его запрета. Люди считали, что если и имеется какой-то риск, то они хотели бы об этом знать, а затем сами решать, как поступать. В США уступили давлению и разрешили продавать сахарин, но с предупреждением о его «умеренной» канцерогенности, а в Канаде с 1977 г. он запрещен в пищевых продуктах.

Использование пищевых красителей также возможно только в соответствии с утвержденными списками. В качестве консервантов мяса и рыбы обычно применяют нитраты NO_3 и нитриты NO_2 . Они предотвращают рост бактерий, вызывающих пищевые отравления (например, ботулизм); придают мясу характерную розовую окраску и особый вкус, к которому люди привыкли. Много нитратов поступает в организм с овощами. Нитраты и нитриты не безвредные соединения. Нитриты, например, реагируя с гемоглобином, превращают его

в метгемоглобин, не способный переносить кислород. При инактивации 70 % гемоглобина в крови наступает смерть. Поэтому устанавливается предельное содержание нитритов в пищевых продуктах.

Но даже некоторые витамины (особенно А и Д) при передозировках могут накапливаться в организме до токсических уровней. Съедобные природные продукты (грибы, некоторые растения; плесневые грибки, появляющиеся в крупах, орехах, кукурузе, пшенице и др.) могут синтезировать для своей защиты токсические вещества, многие из которых обладают канцерогенным, тератогенным действием.

В 1982 г. Комитет по питанию и раку США дал следующие рекомендации по питанию: 1) уменьшение количества жиров в среднем рационе на 30 %; 2) включение в рацион овощей, фруктов, крупяных продуктов, особенно богатых витамином С (цитрусовые) и р-каротином (желто-оранжевых листовых овощей и капусты); 3) употребление консервированных продуктов, солений, овощей свести к минимуму; 4) спиртное употреблять только в «меру» (особенно курильщикам) из-за угрозы рака, цирроза печени, гипертонии и тяжелых последствий для новорожденных детей.

9.4. Физические факторы

Воздействие физических экологических факторов на здоровье человека имеет не меньшее значение, чем влияние химических соединений. К физическим воздействиям относятся различные излучения, шумы, климатические погодные условия и др. Большинство физических факторов внешней среды, с которыми взаимодействует человек, имеют электромагнитную природу. Световые волны - лишь малая часть их. Влияние лучей на здоровье зависит от длины их волны. Когда говорят об «облучении» (радиационное поражение), то имеют в виду воздействие коротких волн. Эти типы излучений известны как ионизирующая радиация. Воздействие длинных волн (от ближних ультрафиолетовых до радиоволн) называют неионизирующим излучением. Эти два типа излучений по-разному влияют на здоровье людей.

Ионизирующее излучение состоит из рентгеновских лучей, гамма-лучей и космических лучей. Эти виды лучей обладают энергией, достаточной для превращения атомов в ионы с высвобождением электронов. Воздействием этих ионов и обусловлены изменения в клетках организма. Распад ядер радиоактивных элементов также порождает ионизирующее излучение, состоящее из α -, β - и γ -лучей. Наиболее опасно γ -излучение, так как оно проходит через несколько сантиметров свинцовой защиты. Опасность рентгеновских лучей возрастает на больших высотах. Поэтому работа космонавтов может быть приравнена к работе с радиоактивным излучением.

Люди подвергаются действию ионизирующих излучений при рентгене, радиоактивном распаде элементов и из космоса. Доза облучения чаще всего измеряется в бэрах (1 бэр эквивалентен по биологическому воздействию дозе в 1 рентген).

Если исключить воздействие источников, созданных человеком, то уровень излучения будет соответствовать естественному радиационному фону. Естественный фон в США равен 100 - 150 миллибэр (мбэр) в год. На высоте более

3,0 км фоновые излучения больше - до 160 мбэр. Средняя доза, получаемая при рентгене, оценивается в 90 мбэр в год.

На заре использования атомной энергии нормативы эмиссии радиоактивных элементов были таковы: в окрестностях АЭС - не более 500 мбэргод¹ на 1 чел., а в отдаленных районах - не более 170 мбэр год'. После 70-х гг. эти нормативы были резко ужесточены. Наибольшая допустимая годовая доза уменьшена до 5 мбэр, а средняя - до 1 % от природного фона, т. е. до 1-1,5 мбэр год"¹. Если нормативы выполняются, то атомные станции не опасны для людей. Но остаются вызывающие опасения излучения от установок регенерации атомного топлива и отбракованной урановой руды. Большую тревогу вызывает и возможность захвата террористами отработанного атомного топлива или других расщепляемых материалов.

Следует обратить внимание и на то, что некоторые радиоактивные элементы могут аккумулироваться в пищевых цепях. Так, например, в сигах концентрация фосфора-32 была в 5 тыс. раз выше, чем в воде; в окунях - в 20 - 30 тыс. раз больше, а в некоторых водорослях - в 100 тыс. раз (в реке Колумбия, ниже атомной электростанции). Известны случаи накопления цинка-65 в моллюсках, иода-131 в миноге, стронция-90 в судаке и т. д. Население может получать эти элементы с пищей. Однако их воздействие при попадании в организм с пищей недостаточно изучено, чтобы можно было оценить опасность.

Грунтовая вода или природный газ могут содержать радон. Некоторые стройматериалы (камень, фосфогипс и др.) также могут быть источником излучений.

Из антропогенных источников излучений наибольшая доля принадлежит радиоактивным выбросам, рентгеновским процедурам и радиоактивным медикаментам. При путешествии на самолете увеличиваются дозы облучения космическими лучами. Табачный дым также содержит радиоактивные частицы. Значительная доля излучений приходится на радиоактивные осадки. Серьезную опасность представляют отходы урановых рудников, так как иногда радиация от них в 500 раз превышает природный фон.

Последствия облучения для здоровья людей можно разделить на две категории: 1) острые симптомы после интенсивной кратковременной экспозиции, возможной в аварийных ситуациях и во время атомной войны; 2) последствия длительного облучения малыми дозами, которые выявляются спустя годы. Ионизирующее излучение может вызывать рак молочной и щитовидной желез, легких, желудочно-кишечного тракта, костей, лейкоз, лучевую болезнь. Помимо рака, последствиями излучения могут быть генетические повреждения, т. е. мутации, которые передаются будущим поколениям. Для профессионального риска установлен предел - 5 бэр в год, а для населения - 1 бэр в год, т.е. 1 % от природного радиационного фона. Но и природные фоновые излучения, по некоторым оценкам, могут вызывать до 2 % генетических болезней.

Неионизирующие излучения - микроволны, радиоволны и волны от линий электропередачи - могут вызывать тепловое повреждение тканей, разрушать клетки и провоцировать рак. Пока нет данных о влиянии на людей существующих доз этих излучений от радиопередатчиков и высоковольтных

линий. Но имеются опасения, что рабочие, постоянно подвергающиеся их действию, рискуют своим здоровьем. К сожалению, в последние годы на всей территории России фактически прекратились исследования биологического действия электромагнитных полей, создаваемых линиями электропередачи, радиотелевизионными средствами связи, радиолокаторами и другими объектами. Отсутствуют эколого-гигиенические нормативы для защиты окружающей среды от возможного вредного действия этих полей. Имеется лишь план работ Минприроды РФ по выработке единой системы нормативных значений предельно допустимых уровней воздействий неионизирующих лучей.

Итак, в результате внутреннего и внешнего облучения человек в течение года в среднем получает дозу 0,1 бэр, т. е. в течение жизни - около 7 бэр. В этих дозах облучение не приносит вреда. Однако есть такие районы, где даже природный фон выше средней дозы за счет естественных радиоактивных источников. Так, в Бразилии (200 км от Сан-Паулу) есть возвышенность, где годовая доза составляет 25 бэр.

Наибольшую же опасность, конечно, представляют антропогенные источники загрязнений. Например, в 1994 г. было проведено радиационное обследование в 28 городах России: выявлено 554 случая радиоактивного загрязнения в 16 городах (Москва, Санкт-Петербург, Братск, Волгоград, Нижний Тагил, Новосибирск, Новочеркасск, Самара, Череповец и др.). В Череповце обнаружен участок с 2 мРч¹, а в Санкт-Петербурге -40 мР-ч¹. Загрязнение обусловлено, в основном, несанкционированно хранимыми или захороненными радиоактивными отходами (радий-226, цезий-137 и др.), технологическими отходами производств, содержащими радионуклиды и строительными материалами. Здания с концентрациями радона в воздухе, превышающими нормы, выявлены в Санкт-Петербурге, Новосибирске, Иркутске, Бай-кальске. Неблагополучная обстановка по радону установлена в Ленинградской, Свердловской, Челябинской, Оренбургской, Новосибирской, Иркутской областях, в Забайкалье и на Дальнем Востоке.

Влияние шумов и звуков также небезразлично для здоровья человека. Звук называют механические колебания, воспринимаемые слуховым аппаратом человека - от 16 до 20000 колебаний в секунду. Колебания большей частоты называют ультразвуком, а меньшей - инфразвуком. Громкие звуки называют шумом. Звуки и шумы большой мощности, поражающие слуховой аппарат, нервные центры и вызывающие болевые ощущения и шок, являются шумовыми загрязнениями. Длительное шумовое загрязнение может приводить к расстройству сердечной деятельности, нарушениям функций печени, истощению и перенапряжению нервной системы. Естественный шумовой фон (20 - 30 дБ) практически безвреден и даже приятен для человека (шелест листвы, журчание ручья, шум прибоя и др.). Допустимая граница громких звуков составляет примерно 80 дБ, 130 дБ вызывают болевые ощущения, а 150 дБ непереносимы. В средние века существовала казнь «под колоколом», гул которого мучил и медленно убивал человека.

Наиболее часто вредное воздействие оказывают промышленные шумы. Но и бытовая техника все чаще становится источником шумового загрязнения. Очень

шумная современная музыка притупляет слух, повышает давление и вызывает нервные заболевания. Шум обладает аккумулярующим эффектом, т. е. акустические раздражения накапливаются в организме и постепенно угнетают нервную систему. У людей, работающих в шумных условиях, часто встречаются нервно-психические заболевания. Однако абсолютная тишина тоже может угнетать человека.

Инfrasound, не воспринимаемые слухом человека, влияют на психику: угнетается интеллектуальная деятельность, ухудшается настроение, появляется ощущение тревоги, испуга, страха, а при высокой интенсивности - чувство слабости. Ультразвук, занимающие заметное место в производственных шумах, также опасны, особенно для нервной системы. Организм человека практически беззащитен против шума, инфра- и ультразвука, так как их действие незаметно. По данным Минтранса РФ, шумовое воздействие автотранспорта в городах страны превышает допустимые нормы иногда на 30 дБ. Численность населения, проживающего в условиях шумового дискомфорта, составляет 35 млн человек, т. е. около 30 % городского населения. Воздействию авиационного шума подвержено еще 3-4 % населения городов. При взлете самолетов наиболее шумных типов (ИЛ-76, ИЛ-86) шум с уровнем 75 дБ может фиксироваться на расстоянии 40 - 50 км от аэропорта. Замена шумных самолетов должна происходить еще и по причине жестких международных требований к уровню шума в зарубежных аэропортах.

Не только шумы, но и другие воздействия, связанные с ростом урбанизации, в той или иной мере сказываются на развитии, психике и здоровье человека. От условий жизни (высоты потолков, звукопроницаемости стен, транспорта, повседневного общения с множеством людей и др.) во многом зависят настроение, трудоспособность, активность - вся жизнь человека. В больших городах, несмотря на горячую воду, телефоны и другой комфорт, обостряются жилищные и транспортные проблемы, повышается заболеваемость, возрастает переутомление. Ученые считают, что в начале XXI в. более половины населения земного шара будет жить в городах. Города поглощают леса, роши, поля, луга, водоемы, болота, покрывают землю асфальтом - изменяют облик планеты. Поэтому горожанин все больше тянется к лоно природы. Природные экосистемы, их прохлада, гармония звуков и красок, многообразие приятных запахов успокаивают и оказывают сильный оздоровительный эффект. Вот почему надо стремиться превращать города в экосистемы, щадящие здоровье людей. Городской ландшафт не должен становиться каменной пустыней. Общая площадь зеленых насаждений в городе должна занимать больше половины его территории. Современный город следует рассматривать как экосистему, в которой гармонично сочетаются социально-экономические и экологические интересы человека. Следовательно, необходимы не только удобные квартиры, транспорт, развитая сфера услуг, но и благоприятная для здоровья среда обитания: чистый воздух и вода, радующий глаз ландшафт, зеленые уголки со всеми красотами природы. Каждый горожанин может внести свой вклад в улучшение экологических условий своего города, хотя бы тем, что не будет мусорить,

научится беречь зеленые насаждения и культурные ценности во благо себя самого и своих детей.

Природные ритмы и климат заметно влияют на здоровье людей. Но лишь с середины XX в. люди стали связывать свою работоспособность и эмоциональное состояние с такими природными явлениями, как активность Солнца, фазы Луны и природные ритмы.

Биоритмы присутствуют в любом явлении в биосфере. Как уже отмечалось, существует строгая закономерность: смена дня и ночи, зимы и лета, приливы и отливы и т. д. Ритмичность является свойством живой материи любого уровня - от молекулярного до экосистем. Ритмические процессы в организме называют биоритмами. К ним относятся ритм работы сердца, дыхания, активности мозга. В ходе эволюции человек приспособился к определенным ритмам Вселенной и выработал ритм своей жизни, который проявляется в постоянной смене покоя и активной деятельности. Центральное место занимают суточные ритмы. Изменения в суточных ритмах могут вызывать некоторые заболевания сердечнососудистой и нервной систем. Действие лекарственных препаратов также различно в зависимости от времени суток. Открытие этих явлений породило новые направления в медицине - хронодиагностику, хронотерапию, хронофармакологию и др.

Климат воздействует на здоровье человека через погодные условия: атмосферное давление, влажность, ветер, концентрацию кислорода, возмущение магнитного поля. Большинство физических факторов среды имеют электромагнитную природу. Специалисты в области экологической медицины считают, что отрицательные ионы в атмосфере благоприятны для здоровья людей, а положительные -наоборот, влияют отрицательно. Например, в воздухе после грозы много отрицательных ионов, так же как в воздухе около текущей воды. Поэтому такой воздух освежает и бодрит. А в тесных помещениях с обилием электромагнитных приборов воздух насыщен положительными ионами. В этих условиях у людей наблюдаются заторможенность, сонливость и головные боли. То же можно почувствовать в ветреную, пыльную и влажную погоду. Изменения погоды не одинаково влияют на самочувствие разных людей. Если здоровый человек своевременно «подстраивается» к изменившимся погодным условиям и практически их не ощущает, то у больного приспособительные реакции ослаблены, так же как у пожилых людей и детей.

Специфика среды обитания человека заключается в сложном переплетении природных, социально-экономических и психологических факторов. На заре человеческой истории природные факторы играли решающую роль в эволюции человека. В современных условиях человек нередко испытывает влияние (иногда чрезмерное) факторов среды, к которым эволюционно еще не готов. Жизнь любого организма можно рассматривать как постоянную адаптацию к новым природным и антропогенным условиям. Но способность к восстановлению физических и душевных сил не беспредельна. Приспосабливаясь к неблагоприятным экологическим условиям, организм испытывает вначале напряжение, а затем утомление. Способность адаптироваться к новым условиям у людей различна. Выделяют два крайних адаптивных типа людей: спринтеры,

которые характеризуются устойчивостью к воздействию кратковременных экстремальных факторов и плохой переносимостью длительных нагрузок, и стайеры, отличающиеся способностью переносить длительные монотонные нагрузки. Интересно, что среди уроженцев северных широт преобладают люди типа стайеров.

Изучение и развитие адаптивных возможностей человека, выработка соответствующих рекомендаций по профессиональной деятельности, особенно в сфере критических профессий (летчики, диспетчеры, шоферы, машинисты, шахтеры, ночной труд), имеют очень важное практическое значение для здоровья людей.

9.4. Добровольный риск

Помимо факторов окружающей среды, воздействие которых мало зависит от отдельного человека, существуют так называемые факторы добровольного риска, которым люди подвергают себя в процессе курения, употребления наркотиков и алкоголя.

Курение - вредная привычка, которая приводит к дополнительному загрязнению воздуха токсическими веществами. Количество курильщиков, выкуривающих ежегодно 5 триллионов сигарет, превысило в мире уже несколько миллиардов. По существу, людей можно разделить на две группы: курящих и некурящих. Рассмотрим действие на организм лишь некоторых веществ, которыми курильщики добровольно отравляют себя.

У того, кто выкуривает пачку сигарет в день, 6 % гемоглобина связывается СО в карбоксигемоглобин. Прибавьте к этому оксид углерода, содержащийся в загрязненном воздухе (особенно крупных городов), и количество карбоксигемоглобина возрастает до 10 %, что серьезно увеличивает опасность смертельных сердечных приступов. Наличие в пище курильщика нитритов (даже в допустимых дозах) еще более снижает содержание кислорода, превращая гемоглобин в метгемоглобин, неспособный транспортировать кислород.

Никель, мышьяк, кадмий, свинец также попадают в легкие с дымом сигарет. Мышьяк и свинец некоторое время использовались как пестициды при выращивании табака. Табак с таких плантаций содержит эти элементы, накопленные ранее в почвах. Содержание свинца в сигарете составляет около 13 мкг. Выкуривая двадцать сигарет в день, человек вдыхает около 300 мкг свинца. Кроме того, свинец может содержаться в пище, воде и воздухе (тетраэтил-свинец - присадка к бензину). И свинец, и мышьяк, всасываясь в кровь, могут накапливаться и постепенно отравлять организм. В пачке сигарет содержится 30 - 40 мкг кадмия и 85 - 150 мкг никеля. Кадмий нарушает использование организмом кальция (болезни суставов), способствует повышению давления и вызывает болезни сердца. Исследования Государственной компании страхования США (1979) в группах людей разного возраста показали, что смертность среди курильщиков вдвое выше, чем среди некурящих того же возраста. Особенно часто подстерегают курильщиков скоропостижные смерти от сердечных приступов и кровоизлияний в мозг. Нередки у них и желудочно-кишечные язвы. Большой вред наносит курение беременным женщинам - у них рождаются мелкие дети,

больше выкидышей и случаев мертворождения. Все это обусловлено недостатком кислорода в крови курящей матери.

В первую очередь курение затрагивает легкие: это одна из главных причин эмфиземы и рака легких (85 % случаев). Курильщики часто болеют и раком гортани, пищевода, ротовой полости, мочевого пузыря, почек, поджелудочной железы. В последние годы женщины чаще погибали от рака легких, чем от рака молочной железы. При «пассивном курении» (пребывании в сильно прокуренном помещении) некурящие люди за 1 час вдыхают столько никотина и оксида углерода, сколько они могли бы получить, если бы сами выкурили одну сигарету. Оказалось также, что жены курящих мужчин чаще болеют раком легких, чем жены некурящих. Такой же опасности подвергаются дети.

Только в Китае сейчас 300 млн курильщиков; далее идут Индия, Россия, США и Бразилия. Самый курящий сегодня континент - Азия. Причин этому по крайней мере две: 1) низкий уровень жизни и 2) сбыт табачной продукции в бедные страны Западом и США, где наметилась тенденция к снижению числа курящих. Жертвой «серого змия» все чаще становится подрастающее поколение. В Восточной Европе, Канаде, Египте доля курящих подростков превышает этот показатель среди взрослых. Среди курящих полинезийцев - половина дети. В Санкт-Петербурге каждый второй мальчик и каждая четвертая девочка после 10 лет пробуют курить.

Интересна зависимость между уровнем образования и числом курящих. Так, в США среди мужчин с начальным образованием курят 60 %, а с университетским - только 20 %. Близкое соотношение имеет место в странах Европы, Японии, России.

Методы борьбы с курением самые разнообразные. Так, в Англии на одном из заводов в Лейленде боролись с курящими путем повышения зарплаты некурящим. Через полгода почти половина курильщиков на заводе освободилась от своей привычки. А в индийской деревне Хундер любой житель, застигнутый с сигаретой, штрафуются на 50 рупий. Мера тоже оказалась эффективной. В Ирландии девушки-добровольцы дежурят на остановках общественного транспорта и предлагают банан в обмен на сигарету. Семь человек из десяти соглашались на такой обмен.

Американские ученые выступают за полный запрет на работу в предприятиях электронной промышленности курильщикам, так как установлено, что микрочастицы, выдыхаемые ими, приводят к неполадкам в работе сверхчувствительных приборов.

Японцы создали прибор «никостоп», который с помощью электрических и звуковых импульсов воздействует на нервные окончания в мочке уха и в течение нескольких недель может избавить человека от пагубной привычки. В Германии продаются пепельницы, при стряхивании пепла в которые раздается очень неприятный кашель.

В США, Австралии, Канаде, Швейцарии, Великобритании затраты в здравоохранении на лечебные меры против курения составляют 190 млрд долларов. У нас таких цифр просто нет. Нашему курильщику выбраться из табачного омата тяжелей, чем на Западе и в США. Так стоит ли в него

попадать? Так или иначе, борьба с курением в развитых странах начала приносить свои плоды. Наметились обнадеживающие тенденции. В США, например, в 1965 г. курили 51 % мужчин и 32 % женщин, в 1995 г. это количество уменьшилось до 30 % среди мужчин и до 28 % для женщин.

Наркомания также входит в «букет» глобальных проблем человеческой цивилизации. Колумбийский писатель Габриэль Гарсиа Маркес, размышляя о наркомании в своей стране, писал: «Это какая-то таинственная неудержимая гидра, невидимая и вездесущая. Она проникает повсюду и отравляет все».

Опасность наркомании в мире долгие годы недооценивалась, а в нашей стране эта проблема просто замалчивалась. Одним из первых раскрыл масштабы трагедии в СССР писатель Чингиз Айтматов в своем романе «Плаха». Только теперь стали открыто говорить об этой грозной опасности. Наркомания сегодня приобрела общепланетарный характер и, к сожалению, как и курение, стала молодеть.

Образ жизни и портрет наркомана однотипны во всем мире. Начинается с, казалось бы, безобидной гашишевой сигареты, затем - кокаин, героин и другие наркотики, вводимые с помощью шприца. Зависимость столь велика, что наркоман отторгает нормальные для людей ценности. Зыбкий мир грез для него становится реальностью. Утрачиваются контакты с людьми, близкими, способность работать, критическое отношение к себе и т. д. Наркоман оказывается втянутым в криминальный мир. Таким людям можно посочувствовать, так как накапливающиеся в тканях организма (в основном жировых) наркотики хранятся годы и препятствуют лечению. Наказание не приносит успеха. На Западе считают, что лечение наркоманов все-таки выгоднее, чем их увольнение и обучение новых рабочих. Поэтому главный девиз наркологических служб этих стран - «лечение вместо наказания».

Запрет на выращивание сырья для производства наркотиков: опийного мака, конопли и др. в конце 70-х - начале 80-х гг. (до этого они легально выращивались для приготовления лекарственных препаратов) принял опасный поворот и привел к расцвету нелегального наркобизнеса. Но география наркобизнеса отличается от географии наркомании. Первенство по выращиванию мака и конопли удерживают Пакистан, Иран, Афганистан, Лаос, Колумбия, хотя уровень наркомании в этих, в основном мусульманских, странах сравнительно невелик.

Наркоманов подстерегает и другая опасность. С 1977 г. началось искоренение посевов конопли и мака с помощью ядовитого гербицида - параквата. Содержание параквата в некоторых наркотиках доходило до 2-3 %. При таком уровне 1-3 сигареты марихуаны в день могут вызвать необратимое рубцевание легких. Но чем яростнее борьба с торговцами «белой смертью», тем изворотливее они становятся, тем выше взвинчивают цены, вербуя новые жертвы. В преступный наркобизнес сегодня вовлекаются и медики, и химики, и политики.

Пик наркомании близок и в нашей стране. Пути распространения наркотиков в значительной степени сместились в Санкт-Петербург, который стал занимать одно из ведущих мест в России по наркобизнесу и наркомании. И если мы не можем предотвратить надвигающуюся трагедию, то

нужно стремиться встретить ее во всеоружии. Для этого необходимо не только бороться с наркодельцами, но и уметь лечить болезнь, иметь на это средства. Но наше общество сегодня не готово лечить наркоманов. В этой связи часто раздаются призывы к легализации наркотиков как меры борьбы с наркоманией.

Приводятся такие аргументы: 1) наркомафия лишится работы и фантастических доходов; 2) изменятся условия жизни наркоманов; 3) сэкономленные на бесплодной борьбе с наркомафией деньги можно употребить на профилактику и лечение наркомании; 4) уменьшится число преступлений, связанных с поиском денег на наркотики. Однако такая мера не кажется бесспорной, а потому имеет много противников. Победить наркоманию, вероятно, можно только в том случае, если правительства и международные организации будут активно использовать весь арсенал как традиционных, так и самых современных средств и мер.

Алкоголизм носит ярко выраженный глобальный характер.

Как давно возникла пагубная привычка употреблять алкоголь? Считается, что изготовление алкогольных напитков началось с появлением керамической посуды, примерно в VIII веке до н. э. Виноделие было широко распространено у греков, египтян, римлян, индийцев, персов, евреев. В Древней Руси изготавливали такие напитки, как пиво, брага, медовуха. В возникновении и распространении алкоголизма особую роль сыграло открытие арабскими алхимиками винного спирта, положившее начало приготовлению крепких спиртных напитков (40 - 50 °). В XVIII веке они быстро стали распространяться в Европе. В Россию водку впервые завезли из Генуи в XVI веке, но официальные власти не стали поощрять сей продукт, и она не прижилась. При Петре I, и особенно при Екатерине II, водка стала настолько ходовым товаром, что вызывала антиалкогольные бунты.

По данным международной статистики, пристрастившееся к алкоголю человечество сейчас все в большей и большей степени становится его жертвой. Наибольший вред здоровью наносят крепкие напитки, содержащие, как правило, сивушные масла. Смертность от злоупотребления алкоголем стоит на третьем месте в мире после смертности от сердечно-сосудистых и раковых заболеваний. В США ежегодно умирает более 100 тыс. алкоголиков, в том числе 14 тыс. - от цирроза печени; кроме того, 20 - 25 тыс. жителей США гибнут на дорогах по вине пьяных водителей. Около 70 тыс. преступлений совершается там же в состоянии опьянения.

В России статистика не так хорошо, как в США, фиксирует все эти явления. Но косвенные данные свидетельствуют о том, что истинные масштабы алкоголизма у нас очень велики. Из-за алкоголизма в России сейчас больше детей-сирот, одиноких женщин, вдов и разведенных, чем после Великой Отечественной войны. Смертность, связанная с алкоголизмом, в 15 раз выше, чем в Азербайджане и в 53 раза - чем в Армении. Массовое и регулярное употребление алкоголя может иметь опасные генетические последствия. Всего 90 мл алкоголя в день или одна пьянка во время беременности могут вызвать алкогольный синдром у плода. У таких детей наблюдаются замедленный рост, отставание в умственном развитии и другие дефекты. Кроме того, алкоголь взаимодействует с табачным дымом и сильно увеличивает при этом опасность возникновения рака полости рта, гортани, пищевода, желудка. Нельзя забывать и об аллергенах, содержащихся в спиртных напитках: дрожжи, солод, меласса, пряности, сульфаты, рыбный клей. Чарльз Дарвин писал: «... если в народе наблюдается перевес беспечных,

порочных и вообще худших членов общества над лучшим классом людей, то нация начнет регрессировать, как и случалось столько раз в истории мира». Если учесть, что генофонд нашей страны ослаблен массовыми репрессиями, то опасность алкоголизма становится еще более очевидной.

Серьезная проблема - женский алкоголизм. Известно, что освободить женщин от алкогольной зависимости значительно сложнее, чем мужчин. Врачи-наркологи считают, что причина этого заключается в физиологических особенностях желудка женщин, который вырабатывает гораздо меньшее количество защитных ферментов. Американские специалисты определили, что после употребления алкоголя в крови женщины столько же спиртного, как если бы она ввела его прямо в вену.

Самое страшное - это подростковый и детский алкоголизм. В США 91 % шестнадцатилетних учащихся начинают употреблять алкогольные напитки, примерно такая же картина в Канаде, не лучше и в России. Влияние алкоголя на детский и подростковый организм - убийственно.

Алкоголизм - это не столько человеческий порок, сколько опасная болезнь. Поэтому пленники Бахуса и не могут расстаться со своими привычками. Как бороться с этим злом? В законодательстве многих стран в различные времена применяли суровые меры: казнили, отрубали руку, клеймили, заставляли пить кипящее вино. Но болезнь излечить не могли. Лишь в последние десятилетия стали серьезно исследовать и изучать проблемы, связанные с алкоголизмом. В отдельных странах существуют специальные антиалкогольные программы. Тем не менее, по данным ВОЗ, в мире сохраняется тенденция увеличения потребления алкоголя. Проблема усугубляется тем, что алкоголизм неизменно связан с наркотиками, курением, другими пороками, порождающими скудоумие, нравственную и физическую деградацию человека и общества.

Итак, в современном мире люди в значительной мере страдают от «средовых» болезней, порожденных неблагоприятной экологической обстановкой. Огромный ущерб наносят и токсичные вещества, содержащиеся в табаке, наркотиках и алкоголе, воздействию которых человек подвергает себя добровольно.

Для оценки экологической ситуации в стране в целом принято использовать показатель, называемый «экологичность валового внутреннего продукта» (ВВП). Рассчитывается этот показатель как отношение выбросов CO₂ промышленностью к единице ВВП в долларах. Для стран СНГ этот показатель равен 592, в то время как для США - 383, Германии - 211, а для Японии - 190. Решать эти проблемы в пределах одной страны трудно, тем более что вода, воздух и почва не признают «суверенитетов». Трансграничный перенос загрязнений идет и между странами, и между регионами.

Проведение практических занятий по изучению экологических проблем г. Москвы в специализированном классе на базе МГСУ для учащихся средних школ г. Москвы по инженерной специальности «экология городской среды»

Тема 1. Окружающая среда как система. Взаимосвязь отдельных элементов живой и неживой природной среды

Цель работы - получение общего представления о функционировании природных экосистем, структуре биосферы. Подготовка к комплексному анализу сложных технических решений с целью выявления их отрицательного воздействия на окружающую среду, приобретение навыка прогнозирования возможных последствий отдельных видов антропогенной деятельности, отрицательно влияющих на экосистему.

Ход работы: анализ наиболее известных воплощенных и отвергнутых технических решений, влияющих на состояние окружающей среды (переброска части стока северных рек в бассейны Волги и Камы и далее - в Каспийское море, дамба на Невской Губе, масштабное осушение болот, проблема Кара-Богаз-Гола и т.п.).

Тема 2. Стратегические принципы развития общества. Экологические проблемы и возможные пути их решения

Цель работы - получение представления о возможных путях управления экосистемой Земли как единым целым.

Ход работы: оценка отрицательных последствий для окружающей природной среды развития общества и влияния научно-технического прогресса. Рассмотрение методики затратно-прибыльного анализа с целью исключения будущего риска деградации окружающей среды. Изучение основных тенденций управления экосистемой Земли как единым целым - оценка оптимальной численности населения, планирование землепользования, реорганизация налоговой системы, регенерация и охрана воды, всех минеральных и биологических ресурсов и других.

Тема 3. Современное состояние окружающей среды Москвы и Московской области

Цель работы - рассмотрение сложных специфических проблем охраны окружающей среды, возникающих в мегаполисах и крупных промышленных регионах. Приобретение практических навыков по минимизации ущерба, наносимого окружающей среде, при выработке конкретных решений.

Ход работы: на базе данных о состоянии окружающей среды Москвы и Московской области (экологические карты, технические статьи, отчеты и прогнозы) приобретение навыков управления (моделирования) состоянием

окружающей среды крупных городов при использовании прогрессивных технологических и технических приемов (защита населения от шума, электромагнитных излучений, борьба с подтоплением территорий, радиационная безопасность и т.д.).

Тема 4. Экология водопотребления и водоотведения

Цель работы - получение представления об экологических проблемах, связанных с потреблением воды питьевого качества, использованием воды для сельского хозяйства и промышленности, а также ознакомление с проблемами водоотведения сточных вод этими потребителями.

Ход работы: изучение основных экологических вопросов, связанных с обеспечением водой питьевого качества жилых массивов, проблема промышленного водоснабжения и снабжения водой сельскохозяйственных объектов. Оценка возможности снижения водопотребления, учет расхода воды в жилых зданиях, промышленными предприятиями различного профиля. Рассмотрение вопросов, связанных с созданием замкнутых систем водопотребления на промышленных объектах, с сокращением удельного водопотребления, с внедрением безотходных и маловодных технологических процессов, с разработкой мероприятий по борьбе с утечками воды.

Знакомство с технологическими особенностями использования воды в различных отраслях производства а также с экономической стороной данного вопроса, изучение основного положения Водного кодекса Российской Федерации.

Рассмотрение вопросов распределения пресной воды по континентам Земли, неравномерность ее потребления, оценка состояния запасов водных ресурсов и перспективы их использования.

Тема 5. Проблема загрязнения воздуха в больших городах

Цель работы - изучение проблемы загрязнения воздуха в больших городах и снижения его уровня.

Ход работы: анализ источников загрязнения воздушного бассейна больших городов - специфические газообразные загрязнения от различных объектов, смоги, их последствия для воздушной среды и влияние на здоровье человека, на памятники архитектуры, на почвы и т.д. Изучение мероприятий по снижению уровня загрязнения воздуха в больших городах - стандарты на газовый состав от автомобильных выбросов, контроль за выбросами промпредприятий, внедрение новейших технологий по очистке газовых выбросов предприятиями и т.д.

Тема 6. Экологические проблемы в сельском хозяйстве

Цель работы - изучение факторов, связанных с сельскохозяйственными работами, влияющих на экологическую обстановку.

Ход работы: анализ последствий нарушения структуры почв при сельскохозяйственных работах, классификация и диагностика эрозированности пахотных почв. Выявление влияния минеральных удобрений, гербицидов и пестицидов на состав почв; предельно допустимых значений остаточного количества пестицидов их разложения. Ознакомление с основными мелиоративными приемами, с рекультивацией почв. Изучение практических мероприятий по рациональному использованию сельскохозяйственных земель.

Тема 7. Влияние электромагнитных излучений различными объектами на экологическую ситуацию. Экологические проблемы, вызванные шумовыми загрязнениями

Цель работы - получение представления об отрицательных воздействиях магнитных полей и шумового загрязнения на здоровье человека, о последствиях, к которым приводит такое воздействие.

Ход работы: ознакомление с современными источниками образования электромагнитных полей в городских, загородных, производственных и домашних условиях; изучение их характеристик; оценка влияния электромагнитных полей на здоровье человека; меры борьбы с их отрицательным воздействием.

Изучение источников природного, промышленного и городского шума. Шумозащитные мероприятия в различных, конкретных ситуациях.

Тема 8. Кислотные дожди и их влияние на окружающую среду

Цель работы - ознакомление с влиянием кислотных дождей на геохимическую трансформацию металлов в почве и водоеме.

Ход работы: составление блок-схемы трансформации металлов с учетом изменения рН окружающей среды под влиянием кислотных дождей. Определение токсичности металлов в различных соединениях.

Тема 9. Охрана ландшафтов и лесного покрова Земли

Цель работы - получение представления о практических методах охраны ландшафтов в целом и их элементов. Изучение основных положений по размещению сельскохозяйственных, промышленных и иных предприятий, отводу земли при проектировании и сооружении линий связи, геологических скважин, нефтяных и газовых скважин, железных дорог и т.п.

Ход работы: изучение практических вопросов: рекультивация земель и лесных насаждений, озеленение городов, создание заповедников и заказников, охрана болот, тайги, реликтовых лесов и других уникальных природных объектов.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия экология.
2. Дайте определение биосферы, экосистемы, растительного сообщества, биома.
3. Что такое экосистема человека? Как она включена в биомы?
4. Дайте определение терминов биотическая и абиотическая структура экосистемы.
5. Назовите три основных категории организмов, образующих экосистемы
6. Что такое продуценты? Какова их роль? Назовите и охарактеризуйте ключевой процесс, необходимый для их существования.
7. Укажите различие между органическими и минеральными веществами.
8. Что такое консументы? Приведите примеры, иллюстрирующие их многообразие.
9. Что такое редуценты? Укажите их роль в экосистеме.
10. Дайте определение пищевой цепи, трофических уровней.
11. Назовите и охарактеризуйте различные абиотические факторы.
12. Что может произойти с экосистемой при изменении одного из абиотических или биотических факторов?
13. Большой геологический круговорот веществ на Земле.
14. Биотический круговорот веществ и энергии.
15. Как связан биотический круговорот веществ с законом сохранения массы?
16. Проследите возможные пути движения атомов углерода при круговороте этого элемента.
17. Опишите их для атомов фосфора.
18. Сделайте тоже самое для атомов азота. Что может произойти до того, как содержащейся в атмосфере азот может быть использован растениями?
19. Сравните газовую и минеральную фазы в круговоротах углерода, фосфора и азота.
20. Перечислите и опишите свойства почвы, необходимые для роста растений.
21. Опишите экосистему почвы.
22. Перечислите четыре питательных элемента, которые растения получают из почвы. Каким образом они попадают в почву и как извлекаются оттуда?
23. Опишите взаимосвязь растений с экосистемой почвы.
24. Причины эрозии почвы.
25. Опишите и приведите примеры опустынивания. Можно ли предупредить это явление?
26. Назовите и опишите новые методы предупреждения почвы.
27. Как можно избежать засоления почв?
28. Опишите круговорот воды на Земле.
29. Источники воды. Для каких целей используется вода человеком?
30. Почему потребление воды в производстве и в городах называют возвратным, а на орошение безвозвратным?
31. Опишите примеры возможного сокращения расходов воды на городские и промышленные нужды.
32. Эвтрофикация водоемов. Перечислите и опишите способы борьбы с этим явлением.

- 33.Строение и состав атмосферы. Газовый состав воздуха.
- 34.Перечислите основные загрязнения воздуха.
- 35.Влияние транспорта на загрязнения городского воздуха. Возможные пути сокращения загрязнений воздуха в городах.
- 36.Кислотные дожди. Причины их возникновения. Влияние кислотных осадков на экосистемы.
- 37.Парниковый эффект. Причины этого явления.
- 38.Что можно сделать, чтобы ослабить парниковый эффект?
- 39.Объясните, что привело к нарушению озонового экрана?
- 40.Меры, предотвращающие нарушение озонового слоя.
- 41.Экология водного хозяйства и экология водопотребления. Взаимосвязь компонентов между собой и окружающей природной средой.
- 42.Методы и технологии экологизации водного хозяйства населенных мест.
- 43.Экология водоотведения, объекты взаимодействия и взаимосвязи.
- 44.Происхождение и влияние загрязнителей, содержащихся в сточных водах, на окружающую среду.
- 45.Методы и технологии экологизации систем водоотведения.
- 46.Принципы составления паспорта водного хозяйства.
- 47.Приведите несколько примеров величин ПДК для сточных вод.
- 48.Какова связь ХПК с органическим углеродом?
- 49.Какие проблемы экологического плана возникают в связи с развитием атомной энергетики?
- 50.В чем состоят особенности проблем загрязнения природных водных объектов тяжелыми металлами?
- 51.Какие из тяжелых металлов представляют наибольшую опасность для окружающей среды и человека?