

Н. М. ЧЕРНОВА

ЛЕКЦИИ ПО ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИИ

МОСКВА

2009

УДК 574

Ч-

Чернова Н. М. Лекции по общей экологии. Справочные материалы к курсу «Экология Москвы и устойчивое развитие». — М.: , 2009. с.

Под общ. ред. Ягодина Г. А., академика РАО, д. х. н., профессора

Пособие представляет собой сборник справочных материалов по общей (классической) экологии, ее истории и основным разделам. В популярной форме излагается содержание основных понятий экологии, ее основные законы и принципы. Показано значение концепции устойчивого развития в контексте приложения общих подходов классической экологии к современной социальной действительности.

Пособие предназначено для самообразования учащимся старшей школы, студентам, педагогам. Издание может быть использовано при разработке материалов для курсов повышения квалификации педагогических кадров.

ISBN

© Чернова Н. М., текст, 2009

© Изд-во , 2009

Оглавление

Лекция 1. ВВЕДЕНИЕ	4
ЛЕКЦИЯ 2. ОРГАНИЗМ И СРЕДА	14
ЛЕКЦИЯ 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ.....	26
ЛЕКЦИЯ 4. СРЕДООБРАЗУЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗМОВ	40
ЛЕКЦИЯ 5. БИОЦЕНОЗЫ	53
ЛЕКЦИЯ 6. ПОПУЛЯЦИИ	67
ЛЕКЦИЯ 7. ЭКОСИСТЕМЫ.....	81
Лекция 8. Биосфера	95

ЛЕКЦИЯ 1. ВВЕДЕНИЕ

Экология — одна из самых актуальных наук современности. С нею связывают надежды на выживание человечества в усложняющемся мире и на возможности нового витка развития. Слово «экология» очень популярно сейчас и в бытовом общении, и в средствах массовой информации, и в речах политиков. Однако, далеко не все представляют себе его истинное значение. Чаще всего его используют в смысле «состояние окружающей среды» и относят исключительно к человеку, его здоровью и условиям жизни. На самом деле экология — это сложная наука с множеством разделов, в центре внимания которой — законы устойчивости живой природы, связи организмов друг с другом и средой обитания, позволяющие выживать, развиваться и противостоять изменениям условий. Эти связи как раз и поддерживают общую систему жизни на Земле, от бактерий до человека.

Человек как биологический вид появился на планете в результате длительной эволюции живой природы. Несмотря на то, что *Homo sapiens* (Человек разумный) — новая, высшая ступень эволюции, человеческое общество подчиняется всем основным природным законам и полностью зависит от состояния жизни на Земле. Это простое обстоятельство по-настоящему стало осознаваться лишь во второй половине XX столетия, когда вплотную приблизилась угроза глобального экологического кризиса. Гигантская техническая мощь современного человечества и быстрый рост числа людей на планете, получивший название «демографического взрыва», стали причиной того, что на глазах живущих поколений происходит масштабная деградация природы. Эти разрушения затрагивают не только конкретные регионы, но и начинают проявляться в масштабах всей биосферы. Человечество подходит к пределу, угрожающему его выживанию на планете.

Именно живая природа создала и поддерживает всю систему жизнеобеспечения людей на Земле. Пища, чистая пресная вода, кислород воздуха, озоновый экран над Землей, защищающий от губительного коротковолнового излучения Солнца, плодородная почва, биологические круговороты веществ, перерабатывающие отходы жизнедеятельности, целый ряд составляющих климата — это те основные ресурсы и условия существования человека, которые обеспечиваются биосферой. Биология человека приспособлена именно к современному этапу исторического развития жизни на планете. Трудно, например, представить возможности его существования в условиях далекого прошлого, хотя бы в кембрийский период, когда в атмосфере было мало кислорода и

много углекислого газа, был слаб озоновый экран, на суше отсутствовала растительность и постоянные размывы грунта создавали неустойчивость границ водотоков и побережий.

Современное общество, кроме обеспечения биологических потребностей, использует огромное количество ресурсов природы для развития промышленности, транспорта, сельскохозяйственного производства и строительства. Добыча полезных ископаемых к XXI веку составляет в мире около 10 млрд. т ежегодно. Это в сотни раз больше того, что выносится из недр Земли за счет природных процессов — активности вулканов и просачиваний на дне океана и приближается к тому объему вещества, которое сносят в моря все реки мира. Потребление человеком энергии за последнее столетие возросло в 100 раз. Если сохранятся современные темпы производства энергии, то понадобится всего две сотни лет, чтобы она сравнялась с той, что Земля получает от Солнца. Для хозяйственных нужд используется в настоящее время 40% стока рек. Ежегодно производится 30 млрд. т отходов, что равноценно весу горного хребта, а в промышленно развитых странах и регионах сжигается столько кислорода воздуха, что его не успевает поставлять растительность этих территорий.

Деятельность человека на планете, как впервые утверждал еще в начале XX века В. И. Вернадский, становится силой геологического масштаба. Тем самым резко увеличился риск нарушения биосферного равновесия, что затрагивает судьбу самого человечества и эволюцию жизни. На Земле множатся локальные катастрофы, вызываемые способами хозяйствования: эрозия и падение плодородия почв, уменьшение площади лесов, разрастание пустынь, накопление отходов, нехватка пресной воды, кислые дожди, загрязнение среды токсичными и радиоактивными веществами, вымирание диких видов, взрывы численности вредителей и многие другие. В такой среде людям становится все труднее вести здоровый образ жизни и сохранять основы наследственности.

Природа на протяжении почти всей истории человечества была сильнее его и всегда восстанавливала производимые нарушения. Сейчас мы находимся на таком этапе, когда разрушительные процессы, вызываемые потреблением ресурсов биосферы, становятся мощнее восстановительных сил живой природы. Затрагивается вся система жизнеобеспечения человеческого общества на планете. Современный мир стоит перед необходимостью резко менять систему хозяйствования и ориентируется прежде всего на законы устойчивости и развития жизни. Эта гигантская задача требует усилий всего человеческого общества, включая международные организации, отдельные государства, корпорации, компании, предприятия и личную деятельность каждого человека. С

середины XX века Организация Объединенных Наций (ООН) начала разработку международных программ, углубляющих научные основы понимания и прогнозирования биосферных процессов. Первая Всемирная межправительственная конференция 1977 года в Тбилиси поставила перед миром задачи всеобщего экологического образования.

Единственной альтернативой стихийного развития общества, приведшего мир на грань глобальной экологической катастрофы, становится сознательная переориентация экономики и образа жизни на путь, не противоречащий, а согласующийся с законами живой природы. Человечество осознает, наконец, что оно — ее часть и должно быть встроено в общую природную систему таким образом, что не только не подрывать своего будущего, но и иметь возможность длительного устойчивого развития. Для этого необходимо, прежде всего, знать и глубоко понимать те связи и закономерности, которым подчиняется жизнь на нашей планете.

Именно связи, объединяющие все живое на Земле и поддерживающие тесное единство с окружающей неживой природой, являются предметом науки экологии. Знание ее основ необходимо для каждого грамотного человека, поскольку экология представляет научный фундамент рационального, не истощающего природопользования. Она, с одной стороны, заставляет понимать необходимость целого ряда запретов и ограничений в сферах хозяйственной деятельности, а с другой — открывает новые возможности и горизонты для развития общества.

Влияние человечества на биосферу складывается из миллиардов мелких и крупных действий, от дел конкретных людей до политики государств и международных сообществ. Всеобщее и непрерывное экологическое образование становится необходимым условием современности. Начиная со школьной скамьи, оно должно сопровождать человека всю жизнь во всех сферах его деятельности. Связь экологических, социальных и экономических проблем регулярно обсуждается мировым сообществом в рамках ООН и ЮНЕСКО — организации по вопросам образования, науки и культуры, а также ЮНЕП — программы ООН по окружающей среде. Крупные международные форумы по этим проблемам состоялись в 1972 г. в Стокгольме, в 1992 г. — в Рио-де-Жанейро и в 2002 г. — в Йоханнесбурге. На них была сформирована концепция «устойчивого развития» и выработаны рекомендации правительствам всех стран по реализации тех мер, которые направлены на улучшение качества среды жизни на планете и предотвращение экологических катастроф. Эти меры не допускают отсрочки, так как деградация природы происходит ускоряющимися темпами и на исправление положения

человечество имеет в запасе, по разным расчетам, лишь немногие десятилетия. Годы 2005 - 2015 объявлены ЮНЕСКО десятилетием экологического образования в интересах устойчивого развития.

Экология как научная область биологического знания начала формироваться в XIX столетии. Название новой науке дал в 1866 г. известный немецкий естествоиспытатель Эрнст Геккель. Оно произведено из двух греческих слов: «логос» — наука и «ойкос» — дом, жилище, окружение, местопребывание. В естествознании постепенно накапливались знания об образе жизни разных видов, об их зависимости от условий, приспособленности к среде, появлялось много удивительных открытий. В XXVIII столетии эти, еще разрозненные, сведения ученые объединяли под общим названием «естественная история» организмов. К середине XIX века новые данные требовали уже обобщения и анализа. Были сформулированы первые эмпирические правила и законы, отражавшие связь организмов со средой обитания — климатом и другими условиями. Интерес к этой тематике возрос после появления в 1859 г. учения Ч. Дарвина о естественном отборе в результате борьбы за существование как главном механизме происхождения и эволюции видов. Э. Геккель, характеризуя зарождавшуюся экологию, указывал, что она призвана изучать связи организмов друг с другом и физической средой обитания, или «все те запутанные взаимоотношения, которые Дарвин условно обозначил как борьбу за существование». Еще ранее (1809 г.) влияние «условий» на историческое изменение видов провозглашал автор первого эволюционного учения Ж. Б. Ламарк. Таким образом, взаимопроникновение идей экологии и эволюционного развития живой природы намечилось уже в XIX веке, хотя их настоящая связь становится ясной лишь в наше время.

Начальной основой экологии было внимание к образу жизни отдельных видов, их адаптациям, способности противостоять неблагоприятным факторам среды, возможности выжить и оставить потомство, их сходству и различиям по этим признакам. В современной науке этот раздел знаний получил название «аутэкологии» (буквально — «собственно экологии») и входит важной частью в состав других ее подразделений.

Первоначальный интерес к отдельным видам и организмам не случаен. Живая природа сложно структурирована и первое, что бросается в глаза — огромное множество разнообразных организмов, ее составляющих. Из ныне живущих описано более полутора миллионов видов, что далеко не исчерпывает ее современного богатства, так как ежегодно выявляются сотни новых, особенно из мелкоразмерных форм. В истории Земли виды сменяют друг друга, и по подсчетам палеонтологов вымершие превышают существующих

примерно на два порядка величин. Такое гигантское разнообразие явно не случайно, и в нем просматривается связь с устойчивостью жизни в целом.

Каждый вид по-своему связан со средой, отличаясь от других множеством мелких и крупных особенностей. Современная аутоэкология расшифровала эти связи далеко не для всех ныне живущих видов, а лишь для очень небольшой их части. Эти сведения имеют не только неопределимое значение для теории, но и самое прямое отношение к человеческой практике. Успех выращивания культурных растений и сельскохозяйственных животных напрямую зависит от глубины наших знаний об их экологических зависимостях. То же относится и к промысловым видам, а также используемым в медицинской практике и других сферах жизни человека.

Современная деятельность человечества отрицательно сказывается на судьбе множества видов дикой природы. Важно знать степень их устойчивости к разным формам антропогенных воздействий, возможности выживания в новых условиях, планировать пути сохранения вымирающих форм. Видовое богатство органического мира — также неиссякаемый источник новых возможностей для хозяйственной практики. Это демонстрируют, например, новейшие биотехнологии. Активно размножающиеся водоросли хлорелла, у которых обнаружена высокая интенсивность фотосинтеза, используют для быстрого наращивания кормовой биомассы и для обогащения воздуха кислородом. Сидячих морских животных асцидий в Японии разводят для получения из их тел ванадия, поскольку обнаружено, что асцидии способны в значительных количествах концентрировать этот химический элемент из морской воды. Разные виды и штаммы микроорганизмов используют для очистки почвы и вод от нефтяного загрязнения, для извлечения металлов из бедных руд, для получения новых лекарств и витаминов. Можно эффективно использовать даже потенциал тех видов, с которыми человек обычно ведет непримиримую борьбу, если мы хорошо знаем их экологические особенности и можем управлять их размножением. Например, в России разработана технология разведения личинок комнатной мухи для эффективной и быстрой переработки отходов свиноводческих комплексов. От взрослых мух, которых держат в инсектариях, получают большое количество яиц и засевают ими навоз, помещенный на медленно движущийся конвейер. Через пять дней личинки превращают антигигиенические отбросы в рассыпчатую гумусированную массу, пропущенную через их кишечники и стерилизованную наружными антибактерицидными выделениями — ценное органическое удобрение. Взрослых личинок («опарышей») перед окукливанием

автоматически извлекают из субстрата и используют либо как живой корм на птицефермах, в рыбоводческих прудах и т.п., либо на белковую муку в животноводстве.

Драгоценные ранее жемчуга превратились ныне во вполне доступные украшения благодаря технологии специального выращивания жемчужин у разводимых моллюсков. Ряд видов рыб, моллюсков, ракообразных и других промысловых животных, находящихся на грани уничтожения в океане, начинают сейчас разводить в аквакультуре, т. е. на морских фермах. Все эти мероприятия требуют глубокого знания экологии видов. Таким образом, аутэкология предоставляет неоценимые материалы и для теоретической науки, и для практики.

В XIX веке оформился и другой раздел экологии, в центре внимания которого находятся не отдельные особи и виды, а их сообщества. В 1877 г. немецкий гидробиолог Карл Мёбиус, изучая условия жизни промысловых устриц в Северном море, ввел в науку понятие «биоценоз». Живая природа подразделена не только на отдельные организмы и виды, но и на биоценозы, т.е. такие сожительства разных видов, которые повторяются в пространстве и типичны для определенных условий. Так, вместе с устрицами обитают совершенно определенные виды сидячих ракообразных, других моллюсков, червей, рыб, морских звезд и т.п. Мёбиус подчеркивал, что сосуществующие вместе виды, с одной стороны, сходны по отношению к ведущим факторам среды (температура воды, глубина, соленость, грунты, течения и т.п.), а с другой — связаны друг с другом всевозможными отношениями (пищевыми, конкурентными, взаимовыгодными). Поэтому удаление из биоценоза какого-либо одного вида сказывается на численности и состоянии других. Виды приспособились к совместной жизни в ходе исторического развития.

Учение о биоценозах перенесли и на наземную жизнь. Особенно подробно стали изучать закономерности сложения растительного покрова суши и вслед за этим — общие характеристики биоценозов: их видовой состав, структуру, связи между видами как главный механизм объединения их в сообщества, динамичность и устойчивость. Так сформировалась биоценология — самостоятельный раздел экологии. К нему относятся и специальные науки о растительном покрове — фитоценология и геоботаника.

Современная биоценология также имеет не только теоретическое, но и глубочайшее практическое значение. Эксплуатируя природу, человек сильно преобразует естественные биоценозы, меняя условия их существования, изымая и уничтожая ряд видов или, наоборот, внедряя новые из других районов планеты. Поля, сады, пастбища и сенокосы, сеяные луга, лесопосадки, культуры закрытого грунта, городские парки и скверы — это

искусственно создаваемые биоценозы, в которых, тем не менее, продолжают действовать естественные законы. Их незнание, неумение использовать резко снижает устойчивость и продуктивность этих сообществ. Например, химическая борьба с вредителями, в массе размножающимися на полях и в садах, часто приводит к прямо противоположным результатам: через некоторое время они дают новый, еще более высокий всплеск численности, а применяемые в еще большем количестве яды загрязняют среду и производимые продукты питания, что бумерангом сказывается на здоровье населения. Вместе с тем есть уже много примеров успешного использования вместо ядов естественных врагов вредителей. Эти методы получили название биологических. Чем больше мы знаем о связях в биоценозах, тем больше возможностей управлять ими.

В дикой природе почти не осталось биоценозов, не затронутых влиянием человека: ни на дне морей и океанов, ни в лесах тропического и умеренного пояса, ни в горах, ни в пространствах бывших степей и саванн, ни в тундрах и пустынях. Даже в заповедниках, где запрещено вмешательство людей в жизнь природы, по многолетним наблюдениям, идет постепенное изменение естественных сообществ в результате так называемого фонового загрязнения атмосферы промышленными выбросами, преобразования животного и растительного мира на окружающих территориях, затруднения миграций и расселения видов. Особенно сильно меняется вблизи городов, на урбанизированных территориях растительность и животное население. Возникают новые, не существовавшие ранее биоценозы, где большая роль принадлежит так называемым синантропным животным — спутникам поселений человека, а естественная растительность уступает место посадкам и скоплениям сорных видов. Изменяются и микробные сообщества в окружающей человека среде.

Эти преобразования живой природы в результате хозяйствования на Земле человека — уже свершившийся факт. Только изучение и грамотное использование биоценологических законов позволяет поддерживать относительную стабильность окружающего живого мира не подрывая, а используя те связи, которые формировались миллионами лет. Законы биоценологии диктуют нам основные правила охраны природы и среды жизни человека.

Еще один раздел экологии оформился в первой трети XX века. Речь идет об экологии популяций, т. е. территориальных подразделений вида. Английский эколог Ч. Элтон обратил внимание на периодические взрывы численности и нашествия чужеродных видов. Популяционная экология изучает закономерности, лежащие в основе размножения

и динамики численности популяций в разных условиях среды, способов освоения нового пространства. Выяснилось, что эти процессы во многом зависят от внутривидовых отношений и от демографической структуры популяций (т.е. соотношения особей по полу и возрасту). Обнаружено, что в популяциях могут действовать механизмы, снимающие угрозу перенаселения, очень различные у разных видов. При исследовании популяций особенно наглядно выявилась значимость информационных связей в живой природе. Для понимания популяционных законов много дала также развивающаяся со второй половины XX века наука о поведении животных — этология, открывшая удивительно сложный мир отношений между особями в пределах вида.

Экология популяций — это не только руководство к действию при охране редких и исчезающих видов, борьбы с вредителями и распространителями болезней, поддержания оптимальной численности промысловых объектов. Общие популяционные законы касаются и человеческого общества. Недаром первые прогнозы роста городов были сделаны еще в XVII веке на основе демографического анализа населения. Актуальнейшая проблема современности — быстрый рост численности людей на планете. Одно из основных отличий человека от представителей животного царства — сложнейшие социальные связи, пронизывающие общество. Однако социальность в различных формах присуща и животным. Прослеживание эволюционного развития этих отношений позволяет кое-что лучше понять и в нашей собственной природе. Именно через социальные связи человечества при осознании экологических законов можно находить разумные пути планирования населения.

К середине прошлого века экология сделала еще один виток в развитии своей проблематики. В ней появился новый раздел, посвященный изучению экосистем. Термин «экосистема» ввел в науку в 1935 г. английский геоботаник А. Тенсли для обозначения единства биоценозов и их физического окружения, откуда в конечном счете живые организмы получают вещество и энергию. Близкое понятие — биогеоценоз — выдвинул в 1940 г. академик В. Н. Сукачев. Понимание теснейшей связи живой и неживой природы давно было присуще естествоиспытателям — натуралистам. Еще В. В. Докучаев развивал эти идеи в учении о русском черноземе на рубеже XIX и XX вв. Однако развитие экосистемных исследований по-настоящему началось только в 50-х годах XX столетия, после того как были разработаны принципы количественного учета потоков энергии и веществ через сообщества. Приоритетные работы выполнили гидробиологи, а затем началось изучение с этих позиций и наземных экосистем. В экосистемной экологии

особое внимание уделяется оценкам биологической продукции, т. е. органического вещества, синтезируемого в сообществах из неорганического за определенное время. Именно биологическая продукция экосистем поддерживает на Земле жизнь всех царств природы и человечества в целом. Не менее важна и скорость круговорота веществ, вовлекаемых в процессы синтеза и разложения.

Первые же десятилетия активных исследований показали, что продуктивность разных частей суши и океана сильно различается и позволили определить тот «потолок», на который может рассчитывать человечество в использовании ресурсов живой природы. Много важного было выявлено и в поддержании устойчивости экосистем. Обнаружены законы их развития (сукцессий), приводящих к изменению физических условий среды (влажности, микроклимата, формированию почв и т.п.) за счет смены состава биоценозов на одном и том же участке, вплоть до установления сбалансированного круговорота веществ. Эти исследования позволили оценить восстановительные возможности живой природы после ее нарушений, дают в руки ключ к управлению процессами развития сообществ. Экосистемы Земли, крупные и мелкие, связаны между собой вещественно-энергетическими потоками в единое глобальное образование — биосферу.

Таким образом, примерно за полтора столетия экология постепенно охватила все основные уровни организации жизни: организмы — виды с их популяциями — биоценозы — экосистемы, включая биосферу как самую большую экосистему планеты. Жизнь на Земле сложно структурирована. Она проявляется только в организмах (простейшие из них — одноклеточные, а сложнейшие состоят из миллиардов клеток). Но каждый организм, простой или сложный, является представителем популяции какого-либо вида, существует только в сообществах, которые входят в состав какой-либо экосистемы, поддерживают биологический круговорот веществ и извлекают потоки энергии из окружающей среды. Биосфера функционирует по законам огромной сложной экосистемы.

Пока экология охватывала только вопросы «естественной истории» видов и жизнь биоценозов она, по сути дела, оставалась частью биологической области знания. Однако, при развитии популяционной и особенно экосистемной экологии стало ясно, что фундаментальным законам этой науки подчиняется и человеческое общество. Об этом свидетельствует хотя бы формирующаяся на наших глазах новая область знаний — социальная экология, соответствующие курсы преподаются уже во многих вузах.

Современная технократическая мощь направлена, по сути, против всех тех процессов, на которых основана динамическая устойчивость природы. Ранее она всегда

была сильнее человека, и ее восстановительные способности породили представления о неисчерпаемости ресурсов и возможности пользоваться ими, не заботясь о состоянии окружающей жизни. Человечество подходит сейчас к опасной черте и способно подорвать основы своего существования на планете. В. И. Вернадский, развивший учение о биосфере, где жизнь является самой активной и действенной силой, преобразующей верхние слои планеты, обсуждал также понятие «ноосферы» — сферы разума. Он предвидел, что вскоре эволюция жизни на Земле будет практически целиком зависеть от деятельности человека и оптимистично считал, что мощный поток коллективного разума справится с этой задачей.

Современное развитие экологии, с одной стороны, дает ключ к решению многих проблем, связанных с состоянием живой природы, а с другой стороны, показывает, насколько сложны, дороги и трудоемки зачастую пути их реализации. Главная сложность — единение усилий всего человечества, раздробленного на государства, разные слои общества, бедных и богатых, образованных и необразованных. В этих условиях общее и непрерывное экологическое образование и просвещение — абсолютная необходимость современности. Экологическая наука представляет сейчас огромное поле знаний, которое продолжает разрабатываться трудами специалистов — ученых. Но знание ее важнейших основ, из которых вытекает понимание последствий любых практических действий по отношению к природе, должно быть обязательным для каждого члена общества, независимо от его профессии. На любом рабочем месте от тракториста, коммерсанта, учителя до министра человек должен действовать экологически грамотно, заботясь не только о текущей отдаче, но и о судьбе следующих поколений — детей, внуков и правнуков.

Экологические законы пронизывают всю нашу хозяйственную деятельность, и бытовую, и производственную: в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве, лесоводстве, медицине, добыче полезных ископаемых, получении энергии и т.п. Экологические знания — источник разработки новых технологий, сберегающих ресурсы и биоразнообразие на планете. Следует лишь помнить, что жизнь природы, поддерживающая нашу жизнь на Земле, — самое главное, что должно быть в центре внимания хозяйствования человека в биосфере.

Вопросы к лекции 1.

1. Что изучает наука экология? В какой мере это касается человечества?

2. Каково содержание и значение для практики таких ее разделов, как аутоэкология и популяционная экология?
3. Что изучают биоценология и экосистемная экология?

Рекомендуемая литература

1. Чернова Н.М., Галушин В.М., Константинов В.М. Основы экологии. 10(11 класс). Учебник для общеобразовательных учреждений. — М.: Дрофа, 2005. 304 с.
2. Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология. Учебник для студентов педагогических вузов. — М.: Дрофа, 2004. 412 с.
3. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рендес Й., Беренс В.В. Пределы роста. — М.: Изд. МГУ, 1991. 201 с.
4. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. Перевод с англ. — М.: Издат. группа «Прогресс», «Пангея», 1993. Т. 1. 254 с.
5. Небел Б. Наука об окружающей среде. Перевод с англ. — М.: Мир, 1993. Т. 1. 420 с.
6. Руденко Б. Цена цивилизации // Наука и жизнь. 2004. № 7. С. 32-36.

ЛЕКЦИЯ 2. ОРГАНИЗМ И СРЕДА

Современная экология, охватывая огромное поле знаний о структуре и функционировании живой природы, включая человеческое общество, по-прежнему остается «наукой о связях», как писал о ней Э.Геккель на заре ее становления. Связи организмов со средой являются механизмом устойчивости не только самих живых существ, но и всех надорганизменных систем, вне которых их жизнь невозможна (популяций, биоценозов, экосистем). Эти связи можно измерить. Они представляют конкретные вещественно-энергетические потоки, протекающие через тела организмов и поддерживающие их жизнь.

Потребление энергии и обмен веществ — основное условие жизнедеятельности. Причины этого кроются в основных законах физико-химической материи. Жизнь организмов строится на непрерывном обновлении живых структур. Этот процесс к настоящему времени достаточно изучен, особенно с применением методов радиоактивного мечения. Например, белки клеток млекопитающих обновляются со скоростью 1% в час, а некоторые ферменты — до 10%. В печени мыши все белки

синтезируются вновь за 2-3 дня. Интенсивно обновляются также полисахариды, липиды и нуклеиновые кислоты. На все эти процессы синтеза требуется много свободной энергии. Например, энергетическая «стоимость» одной пептидной связи — около 4 тысяч калорий, а число их в молекулах белка — сотни и тысячи. Энергия в клетке передается от одной химической связи к другой с помощью молекул АТФ. Для сборки одной молекулы РНК требуется энергия гидролиза 6 тысяч, а одной молекулы ДНК — около 120 миллионов молекул АТФ. Это самая энергетически расточительная работа в живом организме.

Интенсивно обновляются не только внутриклеточные структуры, но и клетки различных тканей. Средняя продолжительность жизни клеток из желудка человека — от 2 до 9 суток, в тонких кишках — 1,3 - 1,6 суток, в легких — около 8. Лейкоциты живут 1 - 3 дня, эритроциты — 120. Причины необходимости постоянного обновления клеточных структур кроются в законах физики и химии. В клетках всегда существует тепловое движение молекул, в том числе молекул воды. Энергия этого движения достаточно слаба (1 - 2 ккал/моль при температуре тела человека), чтобы разрушить первичную структуру макромолекул. Однако, взаимодействия макромолекул между собой и с мембранами зависят от их конфигурации, т.е. вторичной и третичной структуры, которая поддерживается так называемыми «слабыми связями», с энергией, лишь в несколько раз превышающей энергию хаотического теплового движения молекул воды. Часть этих молекул способны нарушать слабые связи. В результате, для продолжения активности клетки, требуется обновление нарушенных структур и новые затраты энергии. Кроме того, генетический аппарат клетки может ошибаться в построении соответствующих белков. Такие клетки становятся чужеродными для организма и уничтожаются иммунной системой, а взамен строятся новые. Есть и другие причины непрерывного потребления организмом энергии. Эта биохимическая работа совершается в организме все время, в том числе при относительном покое. В период повышенной активности она увеличивается на порядки величин. Живое существо нельзя «выключить» как технический агрегат. Обменные процессы продолжают в состоянии спячки или оцепенения животных, глубокого покоя растений, их семян и спор. Экспериментально подтверждено, что сохранение жизнеспособности (но не жизнедеятельности) при полном прекращении подачи энергии в клетки (состояние анабиоза) возможно только при очень низких температурах, практически не встречающихся на Земле (ниже — 130 градусов) и лишь при условии сохранения ненарушенными внутриклеточных структур.

У животных уровень потребления энергии в состоянии полного покоя в благоприятных условиях называют «базальный метаболизм». Любое проявление дополнительной работы увеличивает его объем. Например, стоячая поза по сравнению с лежащей усиливает энергозатраты у овцы на 10 - 11%, у коровы — на 13,5%, а у лося — на 25%. У человека обмен веществ при физической нагрузке может увеличиваться в 15-20 раз, у насекомых во время полета — в 50-200 раз, у плывущей форели — в 4 раза.

Таким образом, в тела живых существ постоянно поступает энергия, необходимая для химических реакций внутри клеток. По второму закону термодинамики любые превращения энергии из одного состояния в другое сопровождаются обязательным переходом части ее в тепловую. Выделение тепла организмами — неизбежное следствие их жизнедеятельности. Тепло — это, по сути дела, «отработанная» энергия химических связей. Масштабы этого процесса грандиозны. Впервые они были осознаны В.И.Вернадским, которые назвал «живое вещество» самой активной формой материи во всей Вселенной. Солнце вырабатывает в секунду 2 эрга энергии на 1 г своей массы, тогда как человек — на четыре порядка больше, а бактерии — на восемь порядков.

Через тела организмов проходят также потоки веществ — молекул, участвующих в синтезе и распаде основных структур клеток. Растения синтезируют органические вещества из неорганических молекул, получаемых из воздуха, воды и почвы. Они используют для этого непосредственно излучение Солнца, преобразуя его в энергию химических связей. Подавляющее большинство других организмов (кроме некоторых групп бактерий) живет за счет органических веществ, первоначально создаваемых растениями. Интенсивность обмена веществ в организмах можно измерить, учитывая продуцируемое за определенные сроки тепло, либо — количество выделяемого при дыхании углекислого газа или потребляемого кислорода. Для животных такой мерой может быть и количество потребляемой пищи. Все это количественные показатели связи организмов с окружающей средой. Потребление кислорода человеком среднего веса и возраста составляет около 200-250 мл в минуту. Несложные расчеты показывают, что на вентиляцию легких в течение суток требуется 11-13 тыс. литров воздуха. За жизнь это составляет сотни миллионов литров. Для поддержания жизни от рождения до естественной смерти человек должен пропустить через кишечник десятки тонн пищи и воды. Птенец серебристой чайки за 40 дней развития потребляет около 12 кг рыбы. Всего за гнездовой период семьей чаек с двумя птенцами используется более 125 тыс. ккал, причем 80% этой энергии идет на поддержание жизнедеятельности.

Интенсивность обмена у представителей разных видов может различаться на порядки величин и зависит от строения, систематической принадлежности, образа жизни и условий существования организмов. Например, среди мелких млекопитающих землеройки с массой тела 3-4 г потребляют при покое около 10 мл кислорода на 1 г веса в час, домовая мышь в 17 г — 1,7 мл, крыса (280 г) — 0,88 мл, овца — 0,25 мл, корова — 0,12, слон — 0,03. В то же время ящерицы, сходные по весу с землеройками, используют в покое всего 0,29 мл кислорода на грамм за час, т.е. почти на три порядка величин меньше. Среди птиц наиболее интенсивен обмен у воробьиных и колибри. Отношение веса съеденной пищи к весу взрослого животного у активных весь год рыжих полевок составляет примерно 1500: 1, а у малых сусликов, большую часть времени проводящих в спячке 150 : 1. В океане потоки энергии через сообщества взвешенных в воде бактерий примерно в 20 раз выше, чем через сообщества планктонных животных, а те, в свою очередь, используют в 4 - 6— раз больше энергии, чем донные обитатели.

Потоки вещества и энергии через тела живущих организмов при великом множестве их на Земле становятся мощной силой, влияющей на косную среду. В масштабах геологического времени они постепенно преобразовали верхние слои планеты. Фотосинтезирующие цианобактерии, а затем растения, освобождая кислород из молекул воды, превратили анаэробную атмосферу в аэробную, и тем самым стимулировали эволюцию организмов с интенсивным способом потребления энергии — дыханием. Над Землей возник озоновый экран из молекул трехатомного кислорода, задерживающий губительную часть спектра солнечного излучения. Жизнедеятельность многочисленных бактерий, грибов и животных, перерабатывающих остатки растений, привела к возникновению на суше почв. На дне океанов возникли осадочные породы, в которых концентрировались элементы, накопленные телами водных организмов. Даже климатические условия на Земле видоизменяются под влиянием жизни. Современная растительность на суше испаряет до 80-90% влаги, выпадающей с осадками, влияя на перенос ее в атмосфере, смягчает силу ветров и ураганов.

Сила жизни на планете связана, по В. И. Вернадскому, прежде всего с размножением, что многократно увеличивает потоки вещества и энергии через тела живых существ. Потенциальные возможности размножения организмов, действительно, неисчерпаемы. Они подчиняются геометрической прогрессии, поскольку каждый размножающийся организм может оставить после себя минимум — двух, а максимум — много миллионов потомков в следующем же поколении. Бактерии или одноклеточные

простейшие, делясь надвое, за короткое время могли бы нарастить огромную массу. Интервал удвоения клеток определяется молекулярными механизмами и скоростью внутриклеточного синтеза. По подсчетам В. И. Вернадского потомство одной единственной клетки бактерии, совершающей 63-64 деления в сутки (т.е. каждые 22 - 23 минуты) способно образовать пленку по всей поверхности Земли менее чем за 1,5 дня. «Если бы не было препятствий во внешней среде, — писал ученый, — они могли бы создать с непостижимой для нас быстротой невероятное количество сложнейших химических соединений, являющихся вместилищем огромной химической энергии». Темп размножения находится в тесной зависимости от размеров организмов: мелкие размножаются быстрее крупных и могут нарастить за один и тот же промежуток времени гораздо большую биомассу. Но даже медленно размножающимся слонам (одна слониха рождает слоненка примерно раз в пять лет, а за жизнь — не более 5 - 6) по подсчетам еще Ч. Дарвина, нужно всего 750 лет, чтобы их потомство встало плечом к плечу вдоль экватора. По геологическим меркам, это очень небольшое время.

Впечатляет величина плодовитости, достигаемая некоторыми видами. Многие рыбы выметывают десятки тысяч и даже миллионы икринок за нерест: мелкая каспийская килька — до 60 тыс., камбала — 300 тыс., атлантическая треска — до 10 млн.. Треска живет до 17 лет, становится половозрелой на 7-м году жизни и, следовательно, потенциально способна оставить до 100 млн. потомков. Огромная плодовитость характерна для паразитов. Вес мельчайших яиц, отложенных за жизнь самкой человеческой аскариды, в 1700 раз превышает ее собственный. Столь же велики репродуктивные возможности растений. Одно дерево березы ежегодно поставляет сотни тысяч семян, устилающих весной тающий снег коричневым покрывалом. Минимальная продукция однолетних травянистых растений — несколько десятков достаточно крупных семян, чаще же — сотни и тысячи мелких.

Максимальное теоретически возможное число потомков, которое может оставить после себя одна особь, называется биотическим потенциалом вида. Этот потенциал широко варьирует у разных видов, а на графике изменения численности следующих друг за другом поколений выражается экспоненциальной кривой. Отражая геометрическую прогрессию размножения, она круто взмывает вверх даже у видов, размножающихся простым делением надвое. Быстрый оборот генераций во много раз усиливает возможности увеличения численности видов. Тли, способные дать до 15 поколений за

лето при относительно низкой плодовитости (около 50 яиц на самку) теоретически за один сезон могут дать потомство, выражаемое астрономическим числом с 25 нулями.

Одновременно с этим существуют виды с достаточно низкой плодовитостью и медленным оборотом генераций. Максимальное число откладываемых в гнездо яиц у птиц лишь ненамного больше двух десятков (куриные), обычный же размер кладок у разных видов от 2-х до 6-8 яиц, а у некоторых — всего одно (как например, у пингвинов). У животных уменьшение плодовитости связано с развитием заботы о потомстве, которая повышает вероятность выживания детенышей, а у растений — с обеспечением семян запасом питательных веществ, облегчающих начало жизни проростков.

Реальная численность видов в природе, однако, мало зависит от их потенциала размножения. Тропические моря вовсе не забиты луной-рыбой (рекордсмен по плодовитости, до 300 млн. икринок за нерест). Наоборот, она встречается не часто. Из сотен тысяч семян березы или ели лишь очень немногие имеют шанс превратиться во взрослое дерево, а из сотен миллионов яиц акариды в лучшем случае два или несколько обеспечат развитие паразита в новом хозяине.

Примеры высокой размножаемости наглядно показывают, что выживание потомства у таких видов — лишь счастливый случай для отдельных особей, и что в природе действуют мощные силы, препятствующие безудержному увеличению численности и реализации имеющегося потенциала. Выдающийся отечественный биолог — эволюционист И. И. Шмальгаузен еще в 40-х годах прошедшего века развил представления о роли массовой элиминации (гибели) в эволюции видов. Если виды постоянно или на протяжении какой-либо части жизненного цикла подвержены массовой гибели под влиянием врагов или неблагоприятных условий, то естественный отбор способствует единственно возможному в этом случае пути выживания — усилению размножаемости через высокую плодовитость или быстрый оборот генераций. В этом случае кто-то из потомков доживет до возможности оставить собственное потомство. При ослаблении напора среды такие виды обладают возможностью быстрого восстановления и взрывов численности. Рыбы с высокой плодовитостью обладают чаще всего мелкой, так называемой пелагической икрой, выпускаемой на волю волн. Взвешенная в воде, она представляет отличный белковый корм для многочисленных животных — фильтраторов и уничтожается ими в большом количестве. Мелкие слабые мальки, лишенные жировых запасов, вынуждены самостоятельно добывать себе пищу, не способны противостоять врагам и также подвергаются высокой смертности. Тли беззащитны перед их

многочисленными потребителями — мелкими птицами, хищными насекомыми, и погибают при резкой смене погодных условий. Семена растений в массе поедаются животными, а у оставшихся мало шансов прорасти или выдержать напор конкуренции на территории, занятой другими растениями.

Виды с высокой размножаемостью тратят очень много энергии на обеспечение половой продукции. Виды с низкой размножаемостью не меньше энергии направляют на выращивание, охрану и обучение потомства (животные) или обеспечение семян запасами (растения). Таким образом, в природе реализуются две альтернативные стратегии размножения. Каждая из них направлена на преодоление негативного воздействия среды.

Основные внешние причины, препятствующие осуществлению биотического потенциала — это нехватка энергетических источников и веществ для роста и развития (света, воды, элементов минерального питания для растений, пищи для животных), влияние многочисленных врагов (хищников, паразитов и других потребителей) и зависимость от условий физической среды, часто препятствующих выживанию или размножению организмов.

Живая природа была бы гораздо более неустойчива, если бы виды не обладали таким мощным потенциалом размножения. На этом ее свойстве строит свое благополучие и человеческое общество, используя растения и животных как источник питания и поставщиков разнообразных материалов для хозяйственных целей. Сельскохозяйственное производство заинтересовано в реализации биотического потенциала культивируемых видов. Современное общество целиком зависит от урожайности сельскохозяйственных растений и продукции животноводства, в основе которых лежит грамотное управление размножением сортов и пород. В этой области накоплен огромный опыт на глубокой научной основе. Достаточно привести пример многократного увеличения плодовитости кур при селекции на яйценоскость, выведение сортов ветвистой пшеницы, многоплодных свиноматок, сокращение сроков размножения и увеличение плодовитости пушных зверей на зверофермах. Однако, успехи сельского хозяйства во всех странах даются нелегко и сопряжены с большим вложением средств и энергетических ресурсов. Для быстро растущего населения Земли явно не хватает продуктов питания, получаемых с возделываемых земель и пастбищ.

В хозяйственной деятельности человека большую роль играют также разнообразные промыслы. Именно за их счет развивалось человечество до наступления эры производства продуктов питания — растениеводства и животноводства. Современные промыслы, такие

как рыболовство, китобойный, охотничий и другие в первую очередь сталкиваются с проблемой воспроизводства видов. Воздействие на промысловые объекты стало таким мощным и масштабным, что даже виды с высоким биотическим потенциалом не успевают возродиться и численность их резко падает. Особенно это относится к видам с медленным размножением. Перепромысел — одна из важнейших экологических драм современности. Так, на грани исчезновения находятся киты, и даже международный запрет на добычу большинства видов пока не способствует эффективному возобновлению их численности. Перепромыслу подверглись многие виды рыб, даже такая плодовитая, как треска. Ее уловы резко пошли на убыль уже в 70-х годах прошлого века. В результате возросло обилие основного кормового объекта трески — мелкой мойвы, которая также стала объектом усиленного промысла. Неумеренный вылов вскоре резко сократил численность даже этой рыбки, с гораздо более быстрым оборотом генераций, чем у трески. В настоящее время практически все объекты океанического промысла находятся под угрозой подрыва их запасов.

Условия размножаемости конкретных видов надо знать для решения задач не только восстановления их численности, но и наоборот, для предотвращения ее безудержного роста. Такие переразмножившиеся виды становятся вредителями полей, лесов, запасов продуктов, распространителями заболеваний. В городах, например, ведется постоянная борьба с крысами, тараканами, мухами и другими неприятными сожителями человека. В сельском и лесном хозяйстве требуются огромные траты на предотвращение размножения вредителей или борьбу с ними. На возможности реализации биотического потенциала видов оказывают влияние не только их враги и потребители, но и в большой мере — физико-химические условия среды обитания, которые мы расчленяем на экологические факторы.

Экологическими факторами называют любые свойства или компоненты внешней среды, влияющие на организмы, действие которых поддается измерению. Факторы делят на абиотические и биотические. Влияние на организмы представителей своего или других видов расценивают как биотические факторы. К абиотическим относят физико-химические: свет, температуру, влажность, силу ветра или течения, концентрацию или состав солей в растворе, давление, радиоактивное излучение, электромагнитные поля и многие другие. Влияние разных форм человеческой деятельности на живую природу относят к антропогенным факторам.

В немногих случаях абиотические факторы практически неизменны (например, земная гравитация, солевой состав океана, температура в его глубинах, состав атмосферы и др.). В большинстве случаев они меняют силу своего проявления в пространстве или времени, создавая большое разнообразие условий жизни. По характеру изменчивости они могут быть; 1) регулярно-периодическими, 2) нерегулярными, 3) направленными на протяжении определенных, иногда длительных отрезков времени. Один и тот же фактор среды может иметь очень разное значение в жизни различных групп организмов. Например, содержание азота в почве почти не влияет на жизнь хищных животных, но существенным образом сказывается на росте растений. Экологические факторы влияют на организмы 1) как ограничители, т.е. создают невозможность их существования в определенных условиях, 2) как раздражители, вызывающие соответствующие приспособительные изменения биохимических и физиологических реакций, 3) как модификаторы, влияя на морфологию и анатомию и 4) как сигналы, подготавливающие к наступающим изменениям других факторов среды.

Живые существа отвечают на изменение действия экологических факторов адаптивными реакциями. Адаптациями называют любые изменения в строении и функциях организмов, которые повышают их шансы на выживание. Адаптации возникают и развиваются в ходе эволюции видов и обеспечивают жизнь их представителей в определенных границах изменения среды.

Свет является одним из важнейших экологических факторов. Солнечная радиация, поступающая на Землю, представляет электромагнитное излучение с длиной волн от 0,1 до 30 000 нанометров. В этом спектре область 380-710 нм представляет фотосинтетически активную радиацию (ФАР), т.е. используется растениями для фотосинтеза. С диапазоном ФАР почти совпадает область видимой радиации, воспринимаемой человеческим глазом.

Растения и фотосинтезирующие бактерии используют лучистую энергию Солнца, преобразуют ее и запасают в энергии химических связей органических соединений. Разлагая затем органические молекулы в процессах дыхания, они поддерживают свою жизнь, и за их счет живут также другие организмы, не способные к фотосинтезу (гетеротрофы). Свет влияет также на самые разнообразные процессы в жизни растений: образование хлорофилла, работу устьичного аппарата, рост и форму.

У растений возникают различные адаптации к использованию светового режима. Их делят по этим признакам на 3 экологических группы: 1) светолюбивые (гелиофиты), 2) тенелюбивые (сциофиты) и 3) теневыносливые. Гелиофиты могут успешно расти только в

открытых, хорошо освещаемых местообитаниях. Это растения степей, пустынь, лугов и полей. Светолюбивые виды можно распознать по строению листьев. Обычно у них лист толще, на срезе видна многослойная палисадная ткань, много мелких хлоропластов, клетки поверхностного слоя мелкие, много устьиц и большая площадь жилок. Усиление освещенности повышает у них интенсивность фотосинтеза. Тенелюбивые растения адаптированы улавливать слабый свет, некоторые — даже менее 1% от полного дневного освещения. Это растения тенистых лесов, пещер, толщи вод. При сильной освещенности они снижают фотосинтез. Листья у них тонкие, хлоропласты крупные, но их мало, площадь жилок небольшая. Тенелюбивые растения могут жить как на свету, так и в тени и имеют промежуточное строение листьев. В густых кронах деревьев часть листьев имеет световое строение, а часть — теневое. Структура листа определяется условиями освещения закладывающихся почек. Позднее лист не может изменить свою структуру.

Если для растений свет — основное условие жизни, то для животных он не является абсолютно необходимым. Многие виды могут жить и в полной темноте — в глубине океана, в почве или пещерах. Но большинство обладает способностью использовать видимый свет для ориентации в пространстве. Органы зрения животных воспринимают рассеянные, отраженные от предметов лучи, несущие им информацию о внешнем мире. Наиболее совершенные органы зрения (позвоночных, насекомых, головоногих моллюсков) позволяют воспринимать форму и размер предметов, оценивать расстояние. Восприятие цвета у животных различно. Пчелы, например, не распознают красный, но могут видеть ультрафиолетовый, не ощущаемый нами. Змеи как цвет воспринимают инфракрасные, для нас — тепловые лучи. Многие млекопитающие (кошачьи, собачьи др.), ведущие свое начало от предков с сумеречным образом жизни, обладают только черно-белым зрением.

Температура также один из важнейших факторов окружающей среды. От нее в первую очередь зависит скорость химических реакций в клетках и интенсивность обмена веществ. Критические температуры жизнедеятельности связаны с замерзанием воды в клетках и тепловой денатурацией белков. Для большинства организмов это диапазон от 0 до 50 градусов Цельсия. Однако существует ряд видов, способных за счет биохимических адаптаций преодолевать эти пороги. Кривофи́лы — виды с лабильными белками, способны поддерживать клеточный метаболизм при температурах, близких к нулю. Жизнь несовместима с образованием кристаллического льда в клетках, при этом разрушаются тонкие внутриклеточные структуры. Однако у кривофилов существуют механизмы,

понижающие точку замерзания воды. Кριοфилами являются многие обитатели холодных мест на Земле — глубин океана, тундр, высокогорий, полярных пустынь. Например, ряд антарктических рыб живет и размножается при постоянной температуре тела 1,86 градуса ниже нуля, как в окружающей соленой воде под кромкой льда. Термофилы, наоборот, активны лишь при высоких температурах, обычно более 50 градусов. К ним относятся, например, Бактерии горячих источников, плесневые грибы в разогреваемых стогах сена и др. Белки термофилов имеют очень прочную вторичную и третичную структуру, и для их активации требуется много тепловой энергии.

У большинства организмов температура тела изменяется в зависимости от температуры внешней среды. Их называют пойкилотермными («пойкилос» — переменный). Обмен веществ пойкилотермных видов может сильно замедляться или ускоряться, что влияет на прохождение жизненного цикла. Скорость развития у таких видов можно рассчитать по формуле: $X = (T - C)t$. В этой формуле C означает температуру, при которой начинается нормальный обмен веществ. Ее называют температурным порогом развития, или биологическим нулем. T означает температуру окружающей среды. Положительную разницу между C и T называют эффективной температурой. Чем она больше, тем интенсивнее идет развитие. Индекс t означает время, или число дней с температурой, превышающей порог развития. X — это общая сумма эффективных температур, необходимая для прохождения всей генетической программы или ее отдельных этапов. Пойкилотермные виды сильно различаются по этим показателям. Например, порог развития у семян клевера — около +1, а финиковой пальмы — около +30 градусов. В тундрах и высокогорьях деревья не растут в первую очередь потому, что там не хватает тепла и они не могут набрать необходимую сумму эффективных температур.

Только две группы высших животных — птицы и млекопитающие приобрели способность поддерживать постоянную температуру тела, вне зависимости от ее колебаний в окружающей среде. На это они тратят много энергии. Такие животные называются гомойотермными («гомойос» — постоянный). У них, прежде всего, высок уровень окислительных процессов в организме вследствие совершенства кровеносной системы, и следовательно, вырабатывается много собственного внутреннего тепла. Кроме того, птицы и млекопитающие обладают целым комплексом разнообразных адаптаций, позволяющих эффективно удерживать это тепло в теле или, наоборот, отводить избыток, и в результате обмен веществ у них постоянно идет при оптимальном температурном

режиме. Например, у многих видов при действии холода рефлекторно повышается интенсивность окисления резервных веществ в клетках (химическая терморегуляция), или в жару увеличивается потоотделение, на которое затрачиваются избыточные тепловые калории. На регуляцию теплового баланса у животных может уходить до 70-80% энергии, содержащейся в их пище. В поддержании постоянной температуры тела большую роль играют также морфологические и поведенческие особенности животных. Некоторые млекопитающие способны к длительной спячке в неблагоприятное время года. В активном состоянии они поддерживают температуру тела на высоком уровне (36-38 градусов), а в спячке — тоже на постоянном, но гораздо более низком (4-6 градусов), что сильно экономит им расход энергии. Такие животные называются гетеротермными.

Влажность среды — также один из ведущих экологических факторов. От нее зависит поддержание водного баланса организмов. Как известно, клетки могут быть активными только при определенном содержании воды.

По способности удерживать воду различают пойкилогидрические и гомойогидрические виды, т. е. с сильно меняющимся и относительно постоянным содержанием влаги в теле. Пойкилогидрические организмы легко и быстро теряют и поглощают воду, способны к практически полному высыханию и затем — возвращению в активное состояние (некоторые мхи, например, сфагнум, лишайники, цианобактерии, немногие членистоногие животные, единичные виды цветковых растений в пустынях). Эта адаптация к жизни в переменных условиях влажности связана с особым строением клеток. Вода в них содержится в очень мелких вакуолях, и ее потери не ведут к нарушению внутриклеточных структур. Подавляющее большинство высших растений и животных характеризуются гомойогидричностью, несут в клетках значительный запас воды и не переносят больших ее потерь. Одни из них могут жить только в условиях достаточного увлажнения, другие приобрели механизмы удержания влаги в теле и при недостатке ее во внешней среде.

Среди растений по отношению к влажности различают три основные экологические группы: гидрофиты — растения водной или околотоводной среды, мезофиты — обитатели мест с переменной влажностью (луга, леса, луговые степи) и ксерофиты — приспособленные к жизни в сухих условиях (пустыни, сухие степи, скалы и т.п.). Одни из них запасают влагу в сочных стеблях или листьях (кактусы, алоэ) и защищают ее от испарения непроницаемыми покровами, другие могут резко снижать транспирацию в сухое время и выдерживают значительные потери влаги (ковыли, типчаки и др.). Среди

животных также есть влаголюбивые виды и адаптированные к обитанию в безводных районах. Некоторые из них не нуждаются даже в питье, обходятся сухой пищей и получают воду за счет расщепления жиров, белков и углеводов (так называемая метаболическая влага). Таковы многие мелкие грызуны пустынь, платяная и вошинная моли, ряд вредителей зерновых запасов и др.

Таким образом, связи организмов со средой в природе и их адаптации чрезвычайно разнообразны, зависят от эволюционного уровня развития групп, условий существования и образа жизни видов. Пути адаптации живых существ к обитанию во внешней среде во многом определяются физико-химическими законами природы.

Вопросы к лекции 2.

1. Какими показателями можно оценить скорость обмена веществ в организме?
2. Что такое биотический потенциал вида? От чего зависит его реализация в природе?
3. Что называют адаптациями?
4. Что такое «сумма эффективных температур»? Как она рассчитывается?
5. В чем выгоды и недостатки переменной и постоянной температуры тела?

Рекомендуемая литература

1. Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология. Учебник для студентов педагогических вузов. — М.: Дрофа, 2004. 412 с.
2. Шилов И.А. Экология. Учебник для биол. и мед. вузов. — М.: Высшая школа, 1997 - 2003. 512 с.
3. Одум Ю. Экология. — М.: Мир, 1986. Т. 1. 328с.
4. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. — М.: Мир, 1989. Т. 1. 667 с.

ЛЕКЦИЯ 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ

Факторы окружающей среды в совокупности создают условия жизни видов. Среди них выделяют особую группу — ресурсы жизни. К ресурсам относят все те компоненты природы, которые непосредственно используются для поддержания жизнедеятельности и прохождения жизненного цикла видов: свет и элементы минерального питания для

растений, вода, пищевые субстраты, места для размножения животных и т.п. Ресурсы убывают по мере их использования. Они могут восстанавливаться, но всегда имеют верхний потолок ограничения, в свою очередь зависимый от природных условий.

Одни и те же компоненты среды могут играть роль и условий, и ресурсов для многих видов. К ним, например, относится вода. В сухих аридных районах она — важнейший ресурс, от которого зависят возможности жизни, а в водоемах, болотах и других переувлажненных местообитаниях определяет условия существования, к которым необходимо вырабатывать соответствующие адаптации. Солнечный свет — самый необходимый ресурс жизни для растений, но для животных — это условие, при котором возможна и осуществляется зрительная ориентация в пространстве.

В истории человеческого общества сфера использования ресурсов природы постоянно расширялась. Наши предки — собиратели использовали в основном ресурсы живой природы, как большинство видов животных. В пищу шли плоды и вегетативные части растений, моллюски, членистоногие, рыбы, мелкие млекопитающие, птицы, грибы и т.п. Научившись со временем эффективно охотиться на крупных животных, они могли подрывать их численность в конкретных районах. Охота и собирательство требовали подвижного образа жизни и периодической смены территорий. Минеральные ресурсы использовались первоначально в минимальном количестве, в основном для производства каменных орудий. С возникновением земледелия и переходом к оседлому образу жизни важным ресурсом стала почва для посевов и территория для пастбищ. При неумелом и интенсивном использовании деградация и засоление почвы приводили к падению ее плодородия, что изменяло судьбы целых народов. С этим связывают, например, падение древней шумерской цивилизации. Выплавление первых металлов, строительство глинобитных и каменных сооружений увеличило зависимость народов от минеральных ресурсов природы, а также от источников энергии. Ими служили сначала древесина, затем каменный уголь, нефть и другие горючие ископаемые, а затем — электричество, радиоактивные элементы и др. Современная цивилизация использует для материального и культурного потребления огромный спектр компонентов природы. Жизнь современного человечества требует гигантского обеспечения водными, земельными, энергетическими, минеральными, биологическими и другими ресурсами. Возможные пределы использования этих ресурсов определяют будущую судьбу населения людей на планете и являются важнейшей политической заботой конкретных государств.

Практически неиссякаемой является солнечная энергия, поступающая на Землю. Существенное изменение интенсивности солнечной радиации, рассчитанное астрономами, относится к столь далекому будущему (миллиарды лет), что это не беспокоит современное человечество. Неиссякаемым ресурсом может быть энергия приливов и отливов, которые также определяются космическими причинами. Ее только начинают осваивать. Из земных неиссякаемых ресурсов можно с известной долей условности назвать атмосферу и воды Мирового океана, но их антропогенное загрязнение уже превращается в серьезную экологическую проблему. Остальные ресурсы имеют реальные, ощутимые пределы использования.

Ресурсы, за счет которых живет человеческое общество, мы делим на возобновимые и невозобновимые. К возобновимым относятся пресная вода, почвы, растительность, животный мир и все другие биологические объекты. Они возобновляются с разной скоростью, от нескольких (растения и животные) до сотен и тысяч лет (почвы), и могут поддерживать человеческое общество только при условии, если скорость их изъятия не превышает скорости самовосстановления. Невозобновимые ресурсы природы — это все полезные ископаемые, которые или не образуются вновь, или возрождаются по меркам геологических измерений, не сопоставимым со скоростью их использования. Рано или поздно их запасы будут исчерпаны. Следовательно, основная стратегия поддержания современной цивилизации за счет природы — это соблюдение определенных пределов в использовании возобновимых ресурсов и экономный расход невозобновимых, с разработкой возможностей их замены. Иначе человечество подорвет основы своего существования на Земле.

Уже сейчас многие невозобновимые ресурсы близятся к своему исчерпанию, а возобновимые находятся либо на пределе возможного использования, либо этот предел уже перейден. По расчетам ООН, одна треть человечества повседневно испытывает недостаток пресной воды. Ее мировое потребление за XX столетие возросло в 9 раз. За год используется около 10% стока всех рек, но большая часть пресных вод сильно загрязнена. Разведанных запасов угля при современном уровне потребления хватит на 160 - 600 лет, нефти — на 25 - 90, газа — на 40 - 130, урана — на 30 - 80 лет. Открываемые новые месторождения находятся в неудобных местах и их добыча становится все дороже. Быстро иссякают запасы руд, из которых добывают металлы. Важнейших металлов может хватить на срок от 20 до 200 лет (по расчетам, алюминия — на 220, железа — на 160, меди

— на 33, свинца и цинка всего на 18-20 лет) если сохранятся темпы их современного использования.

На пределе находятся производство и добыча пищевой продукции. За период земледелия почвы мира потеряли примерно треть своего плодородного слоя. Под сельскохозяйственные угодья занята сейчас вся пригодная для этого площадь суши (около 37%). Дальнейшее расширение пахотных земель идет за счет вырубки лесов, которые уже сведены на 1/3 по всей планете. Предел годового улова рыбы в океане уже достигнут (90 млн. т), и дальнейшее увеличение вылова грозит уничтожением промысловых видов. Печальным примером является китобойный промысел, быстро подорвавший численность практически всех видов в Мировом океане. Пик добычи мощных китобойных флотилий был достигнут в 1964 г. (убито 64 тысячи китов), и уже через 15 лет, в 1979 г. Международная комиссия по квотам наложила полный запрет на их добычу из-за угрозы окончательного уничтожения этих животных.

Рациональное, не истощительное использование возобновимых ресурсов требует экологической грамотности общества и не может быть результатом стихийной эксплуатации природы. Большинство видов в живой природе не достигает такой численности, которая грозила бы им полным подрывом собственных ресурсов. Их жизнь протекает под постоянным влиянием различных факторов, меняющих силу воздействия и вынуждающих приспосабливаться к ним.

Экологические факторы (температура, свет, давление, концентрация солей, содержание кислорода и т.п.) по-разному влияют на организмы. Однако в действии всех факторов существует нечто общее, вызывающее вполне закономерные ответные реакции, которые можно предвидеть и выразить количественно. Этим общим законам подчиняется и человек как существо биологическое.

Основная закономерность во влиянии экологических факторов на организмы получила название закона оптимума. Результаты действия переменного фактора зависят прежде всего от силы его проявления, или дозировки. Факторы положительно влияют на организмы лишь в определенных пределах. Недостаточное либо избыточное их действие сказывается на организмах отрицательно. Зона оптимума — это тот диапазон действия фактора, который наиболее благоприятен для жизнедеятельности. Отклонения от оптимума определяют зоны пессимума. В них организмы испытывают угнетение. Минимально и максимально переносимые значения фактора — это критические точки, приводящие организм к гибели.

Закон оптимума универсален. Он определяет меру, границы условий, в которых возможно существование видов, а также меру изменчивости этих условий. Виды чрезвычайно разнообразны по способности переносить изменения факторов. В природе выделяются два крайних варианта — узкая специализация и широкая выносливость. У специализированных видов критические точки значения фактора сильно сближены, такие виды могут жить только при постоянстве условий. Так, многие глубоководные обитатели — рыбы, иглокожие, ракообразные не переносят колебания температуры даже на 2-3 градуса. Растения влажных местообитаний (калужница болотная, недотрога и др.) моментально вянут, если воздух вокруг них не насыщен водяными парами. Виды с узким диапазоном выносливости называют стенобионтами, а с широким — эврибионтами. Если нужно подчеркнуть отношение к какому-либо фактору, используют слова «стено» и «эври» применительно к его названию, например, стенотермный вид — не переносящий колебания температур, эвригалинный — способный жить при широких колебаниях солености воды и т.п.

Степень выносливости по отношению к разным факторам может быть совершенно неодинаковой. Стенотермные виды могут жить в широких пределах изменения давления, и наоборот. Многие рыбы активно меняют глубину обитания, выбирая слои с оптимальной температурой. Давление же при этом возрастает на 1 атм каждые 10 м. Наземные животные, особенно в районах с континентальным климатом, выдерживают широкие годовые и суточные колебания температуры, но чувствительны к перемене давления. Эта комбинаторика создает огромное экологическое разнообразие видов живой природы, способных заселять все уголки планеты с набором самых разных условий. Сумму экологических возможностей по отношению ко всему набору факторов среды называют экологическим спектром вида.

Правило экологической индивидуальности видов подчеркивает, что каждый вид уникален по своим приспособительным возможностям. Экологические спектры разных видов не совпадают. Даже близкие виды различаются по зонам оптимума, пессимума и положению критических точек в отношении хотя бы одного или ряда факторов среды. Эти особенности позволяют им по-разному использовать ресурсы и распределяться в пространстве.

Правило экологической индивидуальности видов сформулировал впервые отечественный геоботаник Л. Г. Раменский (1924 г.) на примере отношения луговых растений к влажности и содержанию гумуса в почве. Позднее оно было подтверждено

многочисленными исследованиями и имеет большое практическое значение. Для того чтобы использовать, охранять или контролировать какой-либо вид в природе, нужно очень хорошо знать его отличительные экологические свойства.

Закон оптимума свидетельствует, что в жизни любого вида нет целиком положительных или отрицательных факторов, все зависит от силы их проявления.

В пределах вида также существует значительная изменчивость в реакциях отдельных особей на силу действия фактора. Она зависит от половых, возрастных, физиологических и наследственных различий. Первые стадии развития и растений, и животных обычно более чувствительны по отношению к изменениям среды. Заморозки сильнее действуют на всходы, чем на взрослые растения. Покоящиеся стадии (семена, споры, яйца, куколки насекомых, зимоспящие животные и т.п.) более устойчивы к неблагоприятным факторам по сравнению с активными. В жизни человека проявление этих индивидуальных особенностей по отношению к факторам среды следует учитывать в первую очередь при заботе о здоровье.

В реакциях организмов на изменение условий реализуется также закон взаимодействия факторов. И оптимальная зона, и пределы выносливости организмов по отношению к любому фактору среды могут изменяться в зависимости от того, в каком сочетании и с какой силой действуют в это время другие факторы. Они могут усиливать или ослаблять друг друга во влиянии на организм. Так, все знают, что сильный мороз тяжелее переносить в ветреную погоду, а жару — при влажном воздухе. Ветер ускоряет увядание растений при дефиците влаги. Загрязнение воды тяжелыми металлами меняет устойчивость ряда беспозвоночных животных к колебаниям температуры.

Вся практика возделывания культурных растений и выращивания животных основана на грамотном использовании законов оптимума и взаимодействия факторов. Урожайность и продуктивность сортов и пород зависит от того, удастся ли не допустить сильного отклонения условий от оптимальных, а тем более — приближения к критическим точкам. На этом же основана и прикладная медицина. Хотя действие отдельных неблагоприятных факторов можно смягчить усилением или ослаблением других, полностью заменить их нельзя. Нехватку тепла для растений не возместить ни поливом, ни круглосуточным освещением, не случайно растительность так скудна в арктических пустынях. Так же нельзя ничем компенсировать полное отсутствие влаги. В жарких пустынях Земли есть немногие районы, где дожди не выпадают десятилетиями, и пески там практически стерильны.

Жизнь организмов подчиняется также правилу ограничивающих, или лимитирующих факторов. Оно позволяет понять, какие из многочисленных и одновременно действующих факторов наиболее важны в данный момент, определяя выживание, рост и развитие организмов. Таким ограничивающим фактором может стать любой из них, если его значение сильно отклоняется от оптимума и приближается к критическим точкам. Поскольку факторы переменчивы, жизнь организмов в разные отрезки времени может определяться различными условиями среды. Засуха, заморозки, ливни, град, нехватка элементов питания могут попеременно ограничивать развитие сельскохозяйственных растений, и агрономы кладут все усилия на ослабление их крайних воздействий. Если хотя бы один из факторов среды при оптимальном сочетании остальных приближается к критическим точкам, организмам грозит гибель.

Лимитирующие факторы определяют и распространение видов, их ареалы. На границах ареалов условия их существования, как правило, далеки от оптимума. Недостаток тепла препятствует продвижению многих видов на север. В тундрах не могут жить земноводные и рептилии. Распространение ряда копытных ограничивается высотой снежного покрова зимой, так как глубокий снег затрудняет передвижение и добычу корма.

Правило лимитирующих факторов сначала было сформулировано в экологии как закон минимума. Немецкий химик Ю. Либих, изучавший в конце XIX века влияние минеральных удобрений на растения, установил, что урожай зависит в первую очередь от тех элементов питания, которых в почве меньше всего по сравнению с необходимой нормой. Например, если калия в почве всего 20% от того, что требуется растениям, то и урожай, несмотря на достаток азота, фосфора и других элементов, не поднимется выше 20% от возможного. Либих не рассматривал влияние на растения избытка удобрений. Лишь спустя несколько десятилетий, после многочисленных наблюдений и экспериментов, биологи установили, что избыток любого фактора, так же как и его недостаток, так же отрицательно влияет на жизнь организмов. Правило лимитирующих факторов имеет также второе название — закона толерантности Шелфорда, по имени американского зоолога, сформулировавшего его в начале XX века (толерантность — выносливость). В частности, для растений избыток какого-либо элемента в почве нарушает условия всасывания почвенных растворов, что также снижает урожайность.

Закон оптимума и другие общие законы влияния экологических факторов на организмы принизывают и всю нашу жизнь. В быту они проявляются в необходимости соблюдения меры в потреблении тех или иных веществ: пищи и отдельных ее

компонентов, лекарственных препаратов, чистящих и дезинфицирующих химикатов, средств защиты от вредителей и т.п. Чувство меры во всем, включая поведение, высоко ценится в морали всех народов мира. Однако эти простые и интуитивно давно понимаемые законы часто грубо нарушаются в хозяйственной деятельности, что приводит к загрязнению среды и экологическим катастрофам. Избыток удобрений, вносимых в почву — причина широко распространенной эвтрофикации (цветения) водоемов. Снос фосфора и азота с полей в пресные водоемы вызывает бурное размножение бактерий и водорослей с последующим загниванием отмершей массы и созданием анаэробных условий. Избыток ядохимикатов, применяемых в борьбе с вредителями, в конечном счете через продукты питания и воду поступают в организм человека, подрывая здоровье. Эти сложности создаются самим человеком, не соблюдающим количественные нормы воздействия на окружающую среду.

Адаптивные биологические ритмы — также важные экологические особенности организмов. Большинство видов живой природы сталкивается с регулярной периодичностью изменений окружающей среды, ритмикой воздействия факторов. Эти внешние по отношению к организмам ритмы определяются геофизическими причинами, связанными с вращением Земли вокруг собственной оси, вокруг Солнца, и Луны вокруг Земли. Поэтому на планете происходит регулярная смена дня и ночи, времен года, приливов и отливов на побережьях морей и океанов, а также смена фаз Луны, наблюдаемой с Земли. Эта периодичность проявляется и в жизнедеятельности организмов, если она важна для выживания.

Ритмы жизнедеятельности, связанные с циклическими изменениями внешней среды, называют адаптивными, в отличие от других, чисто биологических ритмов, которые проявляются во всех без исключения процессах в организмах. Ритмы деления клеток, сердцебиения, дыхания, желудочной секреции — это внутренние биологические ритмы, поддерживающие жизнь. Адаптивные же ритмы — это те, которые приспособливают организм к циклам внешних условий, например, ритмика отдыха и бодрствования в течение суток, приуроченность периода размножения к определенному времени года, изменение поведения придонных животных во время приливов и отливов и т.п. Если виды в течение своей жизни не сталкиваются с периодичностью внешней среды, адаптивные ритмы у них не выражены. Так, обитатели глубин океана, пещер и других мест с постоянными условиями не проявляют суточной циклики, их активность имеет другой режим.

У растений суточные ритмы связаны не только с изменением интенсивности фотосинтеза, но и с состоянием тургора, ростовыми процессами и т.п. У животных суточный ритм проявляется прежде всего в смене активности и отдыха. В течение суток меняется также интенсивность многих физиологических процессов в организме, что сберегает энергию во время отдыха и мобилизует ее в период деятельности. Различают дневные, ночные и сумеречные виды. У некоторых видов изменения активности представляют прямую ответную реакцию на изменение освещенности. Ряд насекомых и грызунов ведет себя «по-ночному», например, при наступлении солнечного затмения. Такие виды могут смещать свой суточный ритм в течение года. У других суточная ритмика затрагивает множество функций организма и закреплена наследственно. Такие виды сохраняют цикличность жизнедеятельности даже если в эксперименте поместить их в условия постоянной освещенности или полной темноты. Периоды циклов в этом случае почти равны 24 часам, но у разных индивидуумов отличаются на несколько минут, как у часов, которые слегка спешат или отстают, поэтому такой свободно текущий ритм, не получая корректирующих сигналов из внешней среды, постепенно смещается во времени, и через несколько суток уже не соответствует реальной смене дня и ночи. При восстановлении нормальных условий синхронность внутренней и внешней ритмики через некоторое время восстанавливается. Такие наследуемые, генетически закрепленные внутренние ритмы называются циркадными (в дословном переводе — околосуточными). Организмы оказываются как бы запрограммированными на определенный режим деятельности в течение суток, а внешние факторы освещенности лишь слегка «подправляют» ход внутренних «биологических часов». Циркадные ритмы свойственны тем видам, для которых изменения условий жизни в течение суток имеют большое значение.

У человека циркадному ритму подвержено свыше 100 физиологических функций (ритм дыхания, сердечной деятельности, желез внутренней секреции, пищеварения, активности мозга, кровяного давления и многое другое). Поэтому сбои этих режимов или адаптация к иной ритмике дня и ночи представляет серьезную медицинскую проблему. С нею сталкиваются люди, работающие в ночную смену под землей, в подводных и космических кораблях или быстро пересекающие часовые географические пояса. Перестройка циркадного ритма на новый режим происходит не сразу, для этого требуется от нескольких дней до двух недель, в зависимости от состояния здоровья и нервной системы человека.

Еще более важны для живых существ адаптивные ритмы, связанные с регулярной сменой сезонов года. Они требуют глубоких сдвигов в физиологии организмов, обеспечивающих переживание критических периодов, как например, осенний листопад и зимний покой растений, накопление жиров, линьки, спячки и дальние миграции животных, размножение в наиболее благоприятный сезон и т.п. Такие серьезные перестройки в физиологии требуют времени и должны начинаться заранее, чтобы организм был готов к наступлению соответствующих перемен. В годовых ритмах животных и растений поэтому особую роль играет фотопериодизм. Так называют способность организмов реагировать на изменение фотопериода, т. е. соотношение темного и светлого времени суток. Фотопериод предоставляет точную информацию о приближении очередного времени года. Организмы реагируют не на освещенность и не на непосредственное изменение погодных условий (погода капризна и переменчива и может обмануть), а на укорочение или увеличение длины дня, как на сигнал, что надо готовиться к новому этапу годового цикла. Здесь мы встречаемся с сигнальной ролью фактора, который сам по себе мало значим для выживания, но несет необходимую информацию о предстоящих событиях. Поэтому растения начинают желтеть и сбрасывать листву (а это сложный и длительный физиологический процесс) еще до наступления холодов, а перелетные птицы тянутся на юг, даже если еще продолжается теплая и кормная осень.

Годовая циклика чаще всего глубоко запрограммирована, и перестроить ее трудно. Однако в хозяйственной практике это успешно удается для некоторых видов. Например, режимом имитируя электрического освещения сокращение года на зверофермах получают от пушных зверей три приплода за двухлетний период. Искусственное удлинение светового дня на птицефабриках стимулирует более раннее наступление периода яйценоскости у кур. В теплицах можно заставить растения раньше зацвести и плодоносить и т.п.

В наиболее сложной ритмической среде живут обитатели мелководий в приливно-отливной зоне. Здесь годовые и суточные циклы сочетаются с циклами приливов и отливов, наступающих дважды в сутки со сдвигом в 50 минут и поэтому приходящихся на разные часы. Эти виды также реагируют на сигнальные факторы, готовясь к очередному отливу, в роли которых выступают слабые изменения электромагнитных полей, сопровождающие приливы.

Определенные фазы Луны также выполняют роль сигнальных факторов для ряда мелководных придонных беспозвоночных, как например, многощетинковых червей

палоло, стимулируя массовый выброс ими половых продуктов. Для видов с наружным оплодотворением очень важна синхронность размножения, что и достигается реакцией на внешний сигнал.

Рассматривая влияние экологических факторов и соответственные реакции многообразных видов, мы выделяем три основных пути адаптации к условиям среды. Первый из них — подчинение организма влиянию факторов с изменением интенсивности обмена веществ. Такой путь свойствен видам с переменной температурой тела (пойкилотермным) и переменным содержанием воды (пойкилогидрическим). Подчинение среде экономит энергетические ресурсы организма, но ограничивает периоды его активности. Прямо противоположный путь — активное сопротивление влиянию внешней среды. Он связан с поддержанием постоянной температуры тела, обводненности и других показателей внутренней среды организма и развитием способов поддержания постоянства жизнедеятельности (механизмов гомеостаза) в изменяющихся условиях. Таковы гомойотермные, гомойогидрические и т.п. виды. Третий путь адаптации свойствен в основном животным, способным к перемещению в пространстве. Это путь избегания неблагоприятных условий, активный выбор подходящих местообитаний — миграции, особые формы поведения (рытье нор, строительство гнезд и других сооружений и т.п.), помогающие уйти от отрицательного влияния факторов. Чаще всех в приспособлениях видов к среде сочетаются элементы всех трех основных путей адаптации.

Активная и скрытая жизнь — тоже проявление зависимости от экологических условий. При подчинении неблагоприятным факторам организмы замедляют вещественно-энергетический обмен и приобретают высокую степень устойчивости, которую не могли бы проявить в активном состоянии. Это важная адаптация, позволяющая выживать в экстремальных ситуациях. При глубоком подавлении обмена веществ организмы могут вообще не проявлять признаков жизни. У некоторых видов возможна даже полная остановка метаболических процессов — анабиоз, или «мнимая смерть». Способность к анабиозу и последующему восстановлению жизнедеятельности достигалась в экспериментах с мелкими организмами: простейшими, коловратками, нематодами, спорами растений и грибов, семенами и т.п. Большинство этих видов обитает в условиях резкого изменения условий влажности (в слоевищах лишайников, мелких пересыхающих водоемах и т.д.) Необходимое условие анабиоза — полное удаление воды из клеток, а условие восстановления жизнедеятельности — сохранение неразрушенными внутриклеточных органелл и мембран. Это возможно только при определенном строении

клеток, содержащих воду в очень мелких многочисленных вакуолях. В состоянии анабиоза организмы способны переносить невероятно низкие температуры (до -271°C), сильное радиоактивное облучение, действие различных ядов и др. и сохраняют жизнеспособность неопределенно долгое время. Споры бактерий из нижних слоев антарктического ледяного щита возвращались к жизни, пролежав там десятки и сотни тысяч лет. Предполагаются и сроки в миллионы лет.

Большинство организмов неспособно к полному анабиозу из-за сложности строения клеток и невозможности сохранить их структуру при полном обезвоживании. Однако, замедление обмена веществ вплоть до глубокого покоя — очень широко распространенная адаптация, сильно расширяющая возможности выживания видов. Она получила название латентной, или скрытой жизни. Выделяют две формы скрытой жизни — гипобиоз и криптобиоз. Гипобиоз — прямое замедление обмена веществ при действии неблагоприятного фактора с быстрым возвращением к активной жизни если фактор перестает действовать. Таково, например, оцепенение насекомых при понижении дневной температуры, вмерзание в лед водных растений, личинок стрекоз или лягушек (в том случае, если кристаллики льда не образуются в клетках, а только во внеклеточной жидкости). При оттаивании их жизнедеятельность восстанавливается. Если условия жизни благоприятны, гипобиоз не наступает, и организмы активны в течение всей жизни.

Криптобиоз составляет часть жизненного цикла организмов. Он генетически запрограммирован и приурочен к наступлению неблагоприятного времени года. Организмы готовятся к нему заранее и впадают в криптобиоз даже если условия остаются постоянными. Таков, например, зимний покой растений. Листопадное дерево в определенный период сбросит листву даже если выращивать его в теплице. К явлениям криптобиоза относятся спячка животных и различные проявления диапаузы — приостановки развития в яйцах, семенах, на разных этапах жизни насекомых, в эмбриональном развитии некоторых млекопитающих, которые приходятся на зимнее время или другие неблагоприятные, регулярно повторяющиеся периоды года. Из криптобиоза организмы нельзя сразу вывести простым изменением условий, нужно время для его реализации, после чего организм начинает реагировать на определенные сигнальные факторы.

Знание путей и возможностей адаптаций организмов используется при разработке биологических технологий. Например, явление анабиоза коренным образом изменило режим содержания культур микроорганизмов. Штаммы с интересующими человека

свойствами раньше хранили в активном состоянии, что требовало постоянного их пересева и не давало гарантии сохранения свойств из-за постоянно возникающих мутаций. Теперь их держат при температурах, близких к абсолютному нулю, в состоянии анабиоза. Сходные технологии применяют для хранения клеток и тканей в медицинских целях, спермы ценных производителей при селекции животных, генетических материалов видов, которым грозит вымирание и т.п. Разработка любых биотехнологий требует тонкого и глубокого знания адаптивных особенностей используемых видов.

Вопросы к лекции 3.

1. Чем отличаются понятия «условие» и «ресурс»?
2. Что относится к природным ресурсам жизни современного общества?
3. Что такое закон оптимума и закон лимитирующих факторов?
Как они соотносятся между собой?
4. Что называют адаптивными ритмами организмов?
5. Что такое латентная (скрытая) жизнь, каковы ее формы и экологическое значение для организмов?

Рекомендуемая литература

1. Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология. Учебник для студентов педагогических вузов. — М.: Дрофа, 2004. 412 с.
2. Шилов И.А. Экология. Учебник для биол. и мед. вузов. — М.: Высшая школа, 1997 - 2003. 512 с.
3. Одум Ю. Экология. — М.: Мир, 1986. Т. 1. 328с.
4. Горышина Т.К. Экология растений. — М.: Высшая школа, 1979. 368 с.

Контрольная работа № 1.

1. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные этапы развития экологии.
2. Как соотносятся между собой области знания «общая экология» и «социальная экология»?

3. Составьте список, с каким числом видов Вы были связаны вещественно-энергетическими отношениями, исходя из Вашего меню за неделю, приема лекарственных препаратов и содержания домашних животных.
4. Рассчитайте теоретически возможное потомство от одной пары домашних кроликов за 3 года. Принять, что самка способна давать 6 приплодов в год до 8 крольчат, и что молодые самки начинают размножаться через 10 месяцев после рождения. Приведите расчеты.
5. В каких областях промышленности используются бактерии и их способность быстро размножаться. Предложите свои варианты использования быстро размножающихся видов.
6. Укажите преимущества и недостатки гомойотермии по сравнению с пойкилотермией. Какие особенности строения и физиологии теплокровных (гомойотермны) животных помогают им поддерживать постоянную температуру тела?
7. Объясните, почему птицы и млекопитающие легче переносят низкую температуру среды по сравнению с высокой.
8. Какие животные и растения вашей местности относятся к влаго- и сухолюбивым? Укажите для 3-4 из них, какими адаптациями для этого они обладают.
9. Объясните, почему окончился неудачей эксперимент с акклиматизацией южно-американской ламы в горах Тянь-Шаня.
10. Какие экологические факторы наиболее важны в водной, а какие — в наземной среде жизни? Почему?
11. В каких условиях адаптивная форма растений перекасти-поле?
12. Что произойдет с окружающей средой, если в тайге полностью уничтожить ядохимикатами гнус — комаров и мошек, сильно докучающих человеку?
13. Какие из видов природы вашей местности можно отнести к биологическим ресурсам человека?
14. Реален ли полный анабиоз у человека? Почему?
15. Почему маки и тюльпаны могут расти в жарких пустынях? Как назвать этот путь адаптации?

ЛЕКЦИЯ 4. СРЕДООБРАЗУЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗМОВ

Подвергаясь влиянию различных факторов среды, живые существа, в свою очередь, воздействуют на нее. Наиболее древний и общий путь такого воздействия — химический, связанный с осуществлением обмена веществ. Организмы преобразуют среду уже тем, что живут, извлекая из своего окружения необходимые вещества и энергию и выделяя продукты метаболизма.

Наибольшим разнообразием типов обмена веществ отличаются бактерии. По получаемой энергии они делятся на фототрофов и хемотрофов (используется световая или химическая энергия), по источникам углерода — на автотрофов и гетеротрофов (используется CO_2 или готовые органические вещества), по источникам электрона — на литотрофы и органотрофы (разнообразные неорганические либо органические соединения). Бактерии участвуют во всех биогеохимических процессах на планете. По правилу Виноградского (1896 г.) для каждого природного вещества есть микроорганизмы, способные его разложить. Бактерии функционируют как в аэробных, так и анаэробных условиях. Вещества, выделяемые ими в окружающую среду, чрезвычайно разнообразны. Фотосинтезирующие цианобактерии, как и растения, в качестве побочного продукта выделяют кислород, метаногенные — метан. Результатом жизнедеятельности разных бактерий могут быть водород, сероводород, аммиак, сульфаты, окислы железа и марганца, разнообразные органические и неорганические кислоты и другие соединения.

Жизнь появилась на планете рано, около 4 млрд. лет назад, и сразу же стала влиять на химический состав верхних слоев Земли. Прокариотные сообщества сформировали систему биогеохимических циклов и биосферу. Наиболее ярко влияние прокариотических организмов на окружающую среду проявилось в истории атмосферного кислорода. Имеются достаточно убедительные свидетельства, что первоначально атмосфера не содержала свободного кислорода и была либо восстановительной, либо нейтральной, а молодая земная кора и океан содержали много недоокисленных соединений. Вместе с тем, самые ранние следы жизни в древних породах (не менее 3,5 млрд. лет) свидетельствуют о наличии фотосинтеза, который, по современным представлениям, разнообразные цианобактерии в сложных сообществах с другими прокариотами. Выделяемый при этом кислород перехватывали находящиеся в тесном сожительстве с ними аэробные гетеротрофные микроорганизмы, разлагающие созданное органическое вещество.

Неполнота этих мини-круговоротов приводила к ускользанию части кислорода в окружающую среду, а недоразложившиеся органические соединения использовались анаэробными гетеротрофными бактериями либо попадали в донный осадок. Кислород долго не накапливался в атмосфере, поскольку первоначально весь уходил на окисление, и прежде всего — соединений железа в литосфере и серы — в океане. Его накопление в свободном виде началось только после истощения восстановленных веществ в поверхностных оболочках планеты. Геологической границей, свидетельствующей о полном окислении земных пород, считается появление красноцветных толщ, в которых железо присутствует в трехвалентном состоянии. Эти породы имеют возраст 1,8 - 2 млрд. лет и свидетельствуют о кардинальных изменениях химии земной поверхности в результате деятельности живых организмов. Накопление кислорода в атмосфере и океане стало предпосылкой расцвета эукариотических форм и в дальнейшем — появления многоклеточных и сложно устроенных организмов. Анаэробные прокариоты оказались оттесненными в локальные местообитания с отсутствием кислорода. Предполагается, что часть из них вымерла.

Масштабное химическое влияние жизни на окружающую среду происходит на протяжении всей эволюции. В современной биосфере оно выражается в поддержании биогеохимических круговоротов отдельных элементов, в формировании локальных особенностей земной коры и местообитаний. Так, основной источник углекислого газа для фотосинтеза современной растительности — его выделение в результате дыхания всей совокупности организмов. Его поступление из недр Земли в составе вулканических газов — лишь тысячные доли процента от общего количества, находящегося в биологическом круговороте. Главную массу CO_2 поставляют почвы, где сосредоточена деятельность многочисленных групп бактерий, грибов, животных и корней растений. Для почв России эта величина составляет от 1 до 18 т на га за вегетационный сезон, причем треть этого количества приходится на корневое дыхание растений, и не менее 40% — на дыхание грибного мицелия. Углекислый газ — не только источник углерода для фотосинтеза, но и один из важнейших парниковых газов, определяющих тепловой режим приповерхностных слоев атмосферы. Все современные организмы, выделяющие CO_2 , участвуют, таким образом, в поддержании температурных условий жизни на планете. Другой важный парниковый газ — метан поступает в воздушную среду за счет деятельности анаэробных метаногенных бактерий в основном со дна болот и озер, богатых органическими осадками. Болота Западной Сибири — важные поставщики этого газа в атмосферу Земли.

Парниковые газы участвуют в регуляции климата, и любые изменения в их содержании отражаются на уровне глобальных температур.

Химическое воздействие микроорганизмов на среду проявляется и во многих других областях. Так, деятельность серных бактерий ответственна за создание щелочности подземных вод, солончаков, окисление сульфидных руд. Железобактерии формируют в континентальных водоемах отложения озерной и болотной руды.

Воды океана характеризуются большим постоянством химического состава. Оно поддерживается жизнедеятельностью организмов. Так, карбонатное равновесие, несмотря на постоянный вынос реками соединений кальция с материков, обеспечивается биологическим образованием скелетов планктонных и донных обитателей — одноклеточных простейших фораминифер и водорослей кокколитофорид, моллюсков, кораллов и т.п., которые затем поступают в осадочные породы. Кремний удаляется в основном диатомовыми водорослями и радиоляриями. Химическое выветривание наземных пород происходит преимущественно под действием микроорганизмов, образующих органические кислоты, уголекислоту и другие соединения, и корневых выделений растений.

Кроме изменения среды продуктами обмена веществ важнейший путь средообразующей деятельности организмов — накопление мертвых органических остатков (мортмассы). Оно происходит вследствие неполного баланса процессов продукции и деструкции. Часть органического углерода может надолго выпадать из круговорота и захораниваться в осадках. Таким путем в прошлом возникли материнские нефте- и газоносные породы, горючие сланцы, а на суше — залежи каменного угля. Торфообразование происходит и в настоящее время. Органический углерод этих и других пород соответствует эквивалентному количеству кислорода, накопленному атмосферой.

Постоянное поступление мертвой органики на суше привело к возникновению новой среды жизни — почвенному покрову континентов, или педосфере. Почва представляет собой тонкую поверхностную пленку литосферы, толщиной в 1-2 м, и тем не менее, особое, специфичное природное тело, созданное и поддерживаемое деятельностью многочисленных организмов. Основоположник научного почвоведения В. В. Докучаев предложил в 1886 г. «разуметь под почвой исключительно только те дневные или близкие к ним горизонты горных пород <... >, которые более или менее естественно изменены взаимным влиянием воды, воздуха и различного рода организмов, живых и мертвых...». Позднее он подчеркивал, что «почвы есть функция (результат) от

материнской породы (грунта), климата и организмов, помноженная на время». Почва, по классификации В. И. Вернадского, относится к биокосным природным системам, где живое и неживое (косное) вещества взаимодействуют так тесно, что она приобретает особые свойства, которыми по отдельности эти компоненты не обладают.

Почва служит средой обитания огромному числу организмов. Она представляет собой трехфазную систему, где твердая ее часть перемежается с полостями и порами, в которых содержатся вода и воздух. Порозность почв составляет от 20 до 70%. В силу физических и химических условий в почве создается высокое разнообразие местообитаний и для воздуходышащих, и для водных организмов. Главная ее особенность — постоянное поступление энергетических ресурсов в виде отмерших органических остатков, основным поставщиком которых являются наземные растения.

Почва играет важнейшую роль в биосфере. Через нее проходят потоки всех элементов биогеохимических круговоротов на планете. Формируясь на контакте трех земных оболочек: литосферы, атмосферы и гидросферы, она сама оказывает на них существенное влияние. Почвы ускоряют химическое и физическое выветривание горных пород, но с другой стороны, повышают устойчивость литосферы против разрушения ветрами и потоками. Происходящие в почве процессы влияют на состав атмосферы и водную миграцию веществ. Одним из важнейших свойств почвы является ее плодородие — способность поддерживать жизнь разных организмов, обеспечивая продуктивность растений. Обязательная составляющая почвообразования — сложная трансформация органического вещества, его переработка огромной армией живых существ. Почвообразование — биогенный процесс. Возникновение, развитие и поддержание почв невозможно без участия живых организмов. Они осуществляют постепенную минерализацию мертвого органического вещества и возврат биогенных элементов в форму, вновь доступную для усвоения растениями. Другой важный процесс, сопровождающий минерализацию — гумификация. Часть разлагающихся материалов превращается при участии почвенных организмов в сложный комплекс соединений — гумусовые вещества, способствующие долгому и надежному поддержанию почвенного плодородия. Наиболее плодородные почвы (черноземы) содержат до 10% гумуса. В почвообразовании участвуют все группы живых организмов. Они являются, во-первых, поставщиками энергетических ресурсов почвы — мертвого органического вещества, во-вторых, изменяют химический состав по сравнению с материнской породой, и, в-третьих, служат важным фактором перемешивания и перемещения веществ.

Растения берут из почвы химические элементы и воду. Их корни насыщают и пронизывают всю толщу почвенного слоя, так что некоторые почвоведы определяют кратко почву как корнеобитаемый слой литосферы. Запасы корней достигают 8-12 т/га в степи и широколиственных лесах и 20 т/га в тропических. До 30% их ежегодно отмирает. На поверхность почвы каждый год поступает от 1 до 30 т/га опада, в зависимости от типа растительности. Сосущая сила корней создает постоянный ток воды из почвы в воздух за счет испарения растениями. Его масштабы в аридных районах сравнимы с количеством выпадающих осадков. Растущие корни рыхлят почвенные слои, после них остаются поровые пространства, заполняемые водой и газами. Трансформация растительного опада осуществляется бактериями, грибами и животными.

Почва — самый богатый природный субстрат по разнообразию и численности микроорганизмов. Высокая концентрация микробной жизни определяет ее роль как глобальной геохимической мембраны, через которую происходит обмен веществ в биосфере. По современным данным количество бактерий в почвах составляет от 1 до нескольких десятков миллиардов на грамм, а суммарная длина грибного мицелия достигает сотен и тысяч метров в грамме. Обилие дрожжей и водорослей соответственно около 10 тысяч клеток. Любой объем почвы содержит микроорганизмы, как разлагающие органические вещества (целлюлозу, лигнин, пектины, белки и т.п.), так и производящие фиксацию азота, трансформацию минеральных соединений. Из известных элементов таблицы Менделеева почвенные микроорганизмы участвуют в превращениях не менее 65, в то числе и тех, которые не используются в живых клетках (Hg, Cd, Cr и др.). Каждый комочек почвы предоставляет множество микросред для развития как аэробных, так и анаэробных микроорганизмов, способных осуществлять часто прямо противоположные химические функции. Продукты их жизнедеятельности способствуют также созданию почвенной структуры, склеивая минеральные частицы между собой в водопрочные агрегаты. Особая роль в структурировании почвы принадлежит грибам, которые влияют не только своими выделениями, но и механически оплетают гифами почвенные агрегаты, скрепляя их. Микроорганизмы участвуют в корневом питании растений, не только высвобождая биогенные элементы из сложных соединений, но и фиксируя атмосферный азот, который растения не могут усваивать сами, а также снабжая их физиологически активными веществами (витамины, ауксины, гиббереллины и др.).

Большую роль в жизни почвы играет также и животный мир. Почвы населены огромным количеством животных, в основном беспозвоночных, сильно отличающихся по

размерам (от нескольких микрон до десятков сантиметров). Чем мельче почвообитающие животные, тем выше их численность. Например, обилие амёб может достигать 40 и более тысяч на 1 г сырой почвы. Микроскопические круглые черви нематоды исчисляются миллионами (1-15 млн..) на квадратный метр, питающиеся разлагающимся опадом мелкие клещи и коллемболы — десятками и сотнями тысяч, насекомые и их личинки — сотнями и тысячами, дождевые черви — десятками и сотнями на эту же площадь. Роющие млекопитающие (мышевидные грызуны, землеройки, кроты и др.) учитываются уже не на квадратные метры, а на гектары площади. Почва обеспечивает возможность существования многим животным, не имеющим защиты от испарения чрез покровы. По ряду параметров (температурный, газовый, водный режим и т.п.) она предоставляет им условия, промежуточные между наземной и водной средой. Разнообразие почвенных животных очень велико и составляет не менее трети от общего числа известных на Земле видов. Из почв описано не менее 500 видов простейших, 11 тысяч видов нематод, 180 тысяч — насекомых, 30 тысяч моллюсков, примерно 20 тысяч клещей и 10 тысяч коллембол, свыше 200 — дождевых червей и множество разнообразных представителей других групп. Среди них присутствуют как потребители живых и мертвых частей растений (фитофаги, сапрофаги и детритофаги), так и хищники. Основная деятельность животных в почве — разрушение и размельчение растительного опада, что ускоряет его минерализацию и гумификацию. Пропуская опад через кишечник и выделяя многочисленные экскременты, животные многократно увеличивают поверхность растительных остатков, усиливая тем самым деятельность микроорганизмов, которые могут быть активными только в поверхностном слое частиц. Кишечные ферменты беспозвоночных влияют на химический состав опада, а избирательное поедание ими грибных гифов и бактериальных скоплений регулирует направление деятельности микрофлоры. Часть микроорганизмов постоянно обитает только в кишечниках беспозвоночных и влияет на минерализацию и гумификацию субстратов через пищевой режим их хозяев. Таким образом, животный и микробиальный мир действуют как единая система, обеспечивая круговорот веществ.

Животным, в силу их подвижности, принадлежит также важная роль в перемещении и перемешивании вещества почв. Они мигрируют по поровым пространствам, а более крупные характеризуются роющей деятельностью, проделывая в почве вертикальные и горизонтальные ходы и увеличивая ее порозность. При этом животные заносят органические остатки в более глубокие слои и выбрасывают на

поверхность массу почвы из ее глубины. Объем выбросов дождевых червей, муравьев, мокриц в аридных районах почти такой же, как в результате деятельности сусликов, сурков и других крупных норных обитателей. Пустынные мокрицы выносят на поверхность за год 5-6 кг грунта с метровой глубины на квадратный метр площади. Еще более активны муравьи и термиты. Дождевые черви в полосе умеренного климата ежедневно пропускают через кишечник объем почвы, вдвое превышающий их собственный. Экскременты почвенных животных представляют водопрочные агрегаты, где перемешаны органические и минеральные вещества. Они составляют значительную часть гумусового горизонта.

Если на суше деятельность организмов привела к созданию почвы, как особой среды жизни, то состав морских и пресных вод, их качество также зависят от их обитателей. Океан — тоже биокосная система, где живые и мертвые компоненты практически неотделимы друг от друга. Многочисленные и разнообразные организмы, населяющие толщу и дно водоемов, выделяют в воду продукты жизнедеятельности, в том числе растворенные органические вещества (РОВ). Их концентрация составляет от 30 до 150 мкг углерода на литр, и они служат энергетическим источником для планктонных бактерий. Продукты разложения отмерших клеток и тканей водных обитателей присутствуют в воде в форме оседающего взвешенного органического вещества (BOB). По массе BOB превышает живое в десятки раз. Это вещество, так же как и клетки бактерий, водорослей, простейших и другие мельчайшие и мелкие организмы постоянно потребляются видами-фильтраторами. Фильтрация, как способ добывания пищи, широко распространена в водной среде. Бактерии водной толщи в основном отфильтровываются инфузориями и другими простейшими и личинками многоклеточных, сами они, вместе с фитопланктоном, служат пищей зоопланктону, который, в свою очередь, потребляется более крупными фильтраторами. Не менее 40 тысяч видов обитателей дна и водной толщи добывают пищу, отцеживая съедобные и осаждая на дно несъедобные частицы. Среди них пластинчатожаберные моллюски, сидячие иглокожие и многощетинковые черви, мшанки, асцидии, планктонные рачки, некоторые рыбы и др. Животные-фильтраторы выполняют важнейшую роль в биологической очистке водоемов. Скопления моллюсков-мидий на площади в 1 квадратный метр способны очищать 150-280 кубометров воды за сутки, мелкие рачки дафнии в прудах — около 1,5 л воды на особь. В крупных волжских водохранилищах вся вода за вегетационный сезон проходит через фильтровальные аппараты одних только моллюсков-дрейссен до 18 раз. Обитатели всего Мирового океана,

по подсчетам, пропускают через себя воду, равную его общему объему, всего за несколько суток. Прибрежная зона океана, особенно богатая скоплениями видов-фильтраторов, работает как гигантская эффективная очистительная система. Таким образом, химический состав, чистота и прозрачность природных вод — результат деятельности живых организмов.

Мощными средообразователями в океане являются виды-рифостроители. Такую роль в современных морях играют в основном коралловые полипы, создающие своими скелетами подводные местообитания, с которыми связана жизнь огромного разнообразия рыб, ракообразных, моллюсков, полихет, иглокожих и других групп животных, а также водорослей, из которых часть одноклеточных густо населяет тела самих полипов.

Основные средообразователи на суше — растения. Растительность влияет на климат, ослабляя силу ветра, участвуя в круговороте воды. Растительный покров создает облик ландшафтов, формируя условия жизни для животных. С тундровой, лесной, степной, луговой, пустынной, болотной растительностью связаны определенные виды птиц, млекопитающих, насекомых и других групп организмов, приспособленных к особенностям конкретных местообитаний. Растения определяют микроклимат, который часто позволяет другим видам избегать неблагоприятных условий.

Бактерии и одноклеточные водоросли влияют на окружающую среду через свой обмен веществ и размножение. У многоклеточных грибов и особенно — растений к этим путям добавляются формы роста, позволяющие им своими телами занимать и структурировать пространство (паутина мицелия, деревья, кустарники и травы). Животные, способные к активному перемещению, получают возможность адаптаций через поведение. Многие виды активно преобразуют свое окружение, создавая условия для переживания неблагоприятных периодов, защиты, размножения. Этому служит, прежде всего, строительная деятельность животных. Подземные галереи норных жителей — сурков, пищух, кротов, медведок и др. — среда, созданная ими и отличающаяся особым микроклиматом. Гнезда птиц по защитным от непогоды качествам не уступают часто постройкам человека: в покоем на валенок гнезде синицы-ремеза птенцам тепло и сухо и в дождь, и в ветер. Грандиозные постройки термитов определяют часто облик ландшафтов. Беззащитные от высыхания и прямых солнечных лучей, термиты процветают в созданной ими искусственной среде с постоянными условиями температуры и влажности. Сложное гнездование свойственно практически всем социальным насекомым: муравьям, пчелам, шмелям и др. Широко известны своей

средопреобразовательной деятельностью бобры, меняющие построением плотин гидрорежим местности. Таким образом у животных обозначен новый путь адаптации: не только приспособление к среде обитания, но преобразование ее в нужном для себя направлении.

Этот путь получил гигантское развитие у современного человека, причем в очень короткие эволюционные сроки: около 12 тыс. лет назад. Влияние доисторического человека на среду обитания принципиально не отличалось от влияния других крупных животных. Люди вели образ жизни собирателей и охотников, строили жилища, прокладывали тропы. Правда, достаточно давно был освоен огонь, но он использовался только для обогрева и приготовления пищи. Все изменилось с переходом от присваивающего хозяйства к производящему, с появлением земледелия и животноводства. Потребовалось использование земли под пашни, для выпаса скота. С ростом строительного производства формы влияния на окружающую среду быстро росли и расширялись. Позднее к этому добавилось развитие горной промышленности, энергетики, транспортных средств и новейших информационных технологий.

Современный человек живет в преобразованной им среде и видит вокруг себя дома, асфальт, поля, сады, парки, дороги, транспорт и т.п. Человечество получает все необходимое от природы через созданную им культуру, т. е. в широком смысле слова — всю совокупность созданных материальных и духовных богатств. Общество людей, в отличие от других видов, не приспосабливается к дикой природе, а наоборот, приспособливает ее к своим нуждам и целям. В настоящее время практически вся природа Земли находится под влиянием человека. Этот виток развития, с одной стороны, дает человечеству огромные возможности, но с другой — ставит перед ним множество проблем и локального, и глобального характера, вплоть до проблемы выживания на собственной планете.

Технологическое влияние постепенно разрушает ту систему жизнеобеспечения, которую эволюция создала через средообразующую деятельность организмов. Дegradiрует почвенный покров планеты, нарушаются почвообразования, механизмы самоочищения водоемов, изменяется баланс газов в атмосфере, идет ускоренное вымирание видов, меняется состав сообществ. Учащаются природные катастрофы глобального масштаба. Человечество начинает влиять и на климат Земли. Все это результат стихийного развития цивилизации и роста народонаселения.

С другой стороны, развитие науки, и в частности, экологии, позволяет осознать и оценить реальные опасности и те механизмы и способы, которыми можно их предотвратить. Сейчас отчетливо понимается, что время «покорения природы» прошло, и главной стратегией человечества должно стать следование фундаментальным природным законам и встраивание своей деятельности в общую систему жизнеобеспечения в биосфере. Кроме достижений современной науки разные народы и племена владеют большим арсеналом эмпирических, опытным путем полученных методов не истощительного использования возобновимых ресурсов (земель, лесов, вод, промысловых объектов) и охраны среды, которые практически не применяются в настоящее время. Все вместе взятое должно быть соединено в единую систему рационального природопользования и составлять приоритетное направление политики государств, за что и ведут борьбу прогрессивные общественные деятели.

Антропогенные изменения среды наиболее ярко выражены в городах и промышленных агломерациях. Крупные города характеризуются огромным средоточием населения, высокой плотностью застройки, концентрацией промышленных и перерабатывающих предприятий, интенсивным движением транспорта. Как центры крупноочагового природопользования, города влияют на обширные пространства за их пределами. Через них идут потоки ресурсов и в переработанном виде вывозятся в другие районы. Город потребляет огромное количество энергии. Почвы города обычно «запечатываются» асфальтом и другими покрытиями. Городская жизнь считается более комфортабельной, чем сельская, но имеет также и множество негативных сторон, влияющих на здоровье и психологическое состояние людей. К основным проблемам городской среды относятся загрязнения: химические, шумовые, радио-магнитными излучениями и др. Повышен риск травматизма от транспорта. Отдельную сложность составляет поддержание санитарного состояния городской среды, работы систем водоснабжения и канализации и обезвреживание твердых бытовых отходов (ТБО). Их количество стремительно растет с ростом благосостояния населения. В Европе в среднем производится до 440 кг ТБО на душу населения в год, в США — 720, в России — около 250 кг, а ежегодно в целом — не менее 30 млн. т. Только в Москве каждый год поступает на свалки около 5 тыс. тонн ТБО. Полигоны, на которых складировются отходы, занимают все возрастающие площади вокруг городов, отравляя окружающую среду. В настоящее время грамотное управление городской средой обязательно включает целый ряд экологических способов ее оздоровления, а в прикладной науке возникла целая область —

урбоэкология, или экология города. Идет поиск методов предупреждения или смягчения отрицательного влияния урбанизации на население и природу регионов.

Добыча полезных ископаемых превращает обширные территории в пустыни, особенно она ведется открытым способом. Возникает подобие лунных ландшафтов, причем наверх часто попадают токсичные породы, которые не осваиваются растительностью. Рекультивация таких земель — одна из важнейших задач современности. Возвращать жизнь на нарушенные территории можно только на основе глубокого знания экологических закономерностей и конкретных особенностей местообитаний. Опыт восстановительных работ часто сталкивается с тем, что многолетние труды, сначала казавшиеся успешными, заканчивались полной неудачей. Рекультивация полностью нарушенных территорий — дорогое, длительное и наукоемкое мероприятие. Тем не менее, в ряде стран — Германии, Англии, Австралии и др. есть примеры успешного восстановления полноценной природной среды. Набирает силу и теория рекультивации.

Способы оптимизации территории разрабатывает ландшафтная экология. Человек сильно изменил внешний облик поверхности планеты во всех ландшафтных зонах. Это касается преобразования рельефа, растительности, водоемов. С европейской территории, например, полностью исчез ландшафт степи. Вырубаются леса, распаиваются земли. На территориях промышленного сельского хозяйства основная тенденция — создание обширных и однообразных полевых площадей, иногда — от горизонта до горизонта. Между тем и эмпирически, и в науке давно известно, что наиболее устойчивы и продуктивны ландшафты с внутренним разнообразием. Еще В. В. Докучаев разрабатывал практику возведения полевых защитных лесных полос в степных районах, создающих особый микроклимат и в конечном счете повышающих урожайность прилегающих полей. В настоящее время ландшафтная экология становится значимой областью прикладных исследований. Ее развитие связывается не только с экономическими задачами, но и с оздоровительными, поскольку убедительно доказано благотворное влияние разнообразия ландшафта на психику человека.

В современной науке и практике есть и положительный опыт борьбы с загрязнением вод. Основные источники загрязнения пресных водоемов — сельское хозяйство, промышленность и бытовые стоки. С полей в водоемы попадают остатки минеральных и органических удобрений и пестициды, используемые для борьбы с вредителями или сорняками. Борьба с последним типом загрязнений трудна, так как требует повышения

общей культуры земледелия и обязательного соблюдения законов оптимума с точными расчетами. Промышленные же и бытовые стоки могут быть технически собраны и отправлены на очистку. Технологии очистки вод разработаны, достаточно эффективны и просты. Наряду с физическими и химическими методами в них используются биотехнологии с применением разлагающих органику микроорганизмов и мелких фильтраторов. Разработаны биотехнологии борьбы с нефтяными пленками на поверхности вод, технологии с применением замкнутых циклов водоснабжения в промышленности и др. Главное же внимание должно быть направлено на предотвращение загрязнения водоемов и на то, чтобы не подрывать, а наоборот, всячески стимулировать активность организмов-фильтраторов, то есть поддерживать естественный механизм самоочищения вод. В мировой практике есть примеры масштабных успехов очищения водоемов. Так, крупнейшая река Западной Европы Рейн была превращена промышленными стоками 8 государств, по территории которых она протекает, в зловонный канал, в котором было запрещено купаться. Международными усилиями в 1960-1970 гг. начал осуществляться разработанный комплекс мер по строгому контролю за очисткой сбрасываемых вод, ужесточены санкции за нарушения. Примерно за два десятилетия река восстановилась настолько, что в нее вернулась рыба, а в 1995 г. — даже лососи, требовательные к чистоте вод. В США и Канаде в конце 1980 гг. удалось восстановить рыбный промысел в Великих Озерах, сильно загрязненных нефтью, ртутью, фенольными соединениями. В России разработаны федеральные программы борьбы с загрязнением Байкала и Волги, которые пока еще реализуются не очень эффективно.

В мире наблюдается неуклонное снижение почвенного плодородия, деградация пахотных и других сельскохозяйственных земель. В целом за счет водной и ветровой эрозии потеряно около 1/3 плодородного слоя. Почвы — трудно восстанавливаемый природный ресурс. На формирование 10 мм почвенного слоя в разных климатических условиях требуется от 10 до 400 и более лет. Вместе с тем накоплен огромный опыт рационального использования почв, их окультуривания и повышения продуктивности. Современное почвоведение накопило глубокие знания о закономерностях почвообразовательных процессов и возможностях не истощительного использования почвенных ресурсов. Основные пути — это экологизация сельскохозяйственного производства, уменьшение влияния тяжелой техники, поддержание баланса биогенных веществ, улучшение структуры почвы, грамотная мелиорация, а главное — поддержание биологических процессов и активизация деятельности почвенных организмов.

Стерильные почвы полностью теряют плодородие. Имеются примеры масштабного восстановления нарушенных эрозией почв. В США в штате Канзас было возвращено плодородие почвам, верхние слои которых были практически уничтожены пыльными бурями 1930-х годов. на что потребовалось несколько десятков лет. Так же, как и при других крупных нарушениях среды, восстановление почв — длительный, дорогостоящий и наукоемкий процесс.

Антропогенное изменение среды — неизбежный процесс в эволюции человечества и биосферы. Но он приведет к необратимым для человека последствиям в то случае, если общество не сумеет воспользоваться уже имеющимися и накапливаемыми знаниями и претворять их в практику. Современная наука и имеющийся опыт позволяют понять те пути, которыми надо следовать для сохранения средообразующих функций природы. Однако, из-за трудоемкости, затратности и часто — отдаленности результатов природоохранных действий, не сопровождающихся сиюминутной отдачей и прибылью, поддержание среды жизни человека на планете сильно осложняется социальными отношениями в обществе и с трудом проникает в политику государств.

Вопросы к лекции 4.

1. В чем проявляется средообразующая роль бактерий в биосфере?
2. Как участвуют в образовании среды жизни растения суши и океана?
3. Какие группы организмов участвуют в образовании почв, и в чем заключается их роль?
4. Какими способами меняют среду вокруг себя животные?
5. Каковы масштабы и формы антропогенного изменения среды?
6. В чем опасность влияния человека на среду жизни других организмов в биосфере?

Рекомендуемая литература

1. Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология. Учебник для студентов педагогических вузов. — М.: Дрофа, 2004. 412 с.
2. Чернова Н.М., Галушин В.М., Константинов В.М. Основы экологии. 10(11 класс). Учебник для общеобразовательных учреждений. — М.: Дрофа, 2005. 304 с.
3. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. — М.: Наука, 2004. 348 с.

4. Добровольский Г.В. (отв. ред.). Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. — М.: Наука, 2003. 364 с.

ЛЕКЦИЯ 5. БИОЦЕНОЗЫ

Биотическая среда — это все то живое окружение любого организма, с которым связано и от которого зависит его существование. Сумму воздействий организмов друг на друга называют биотическими факторами среды.

Связи между живыми существами чрезвычайно разнообразны, так же как и их последствия. Они бывают прямыми и косвенными, так как осуществляются либо при непосредственном контакте особей, либо через влияние на другие виды или на среду обитания. Наиболее распространена формальная классификация этих связей, в основу которой положена оценка результата взаимодействия двух особей. Результат оценивается как положительный (+), отрицательный (-) или нейтральный (0). Математические сочетания по два из трех возможных дает шесть вариантов отношений, которые по-разному распространены в органическом мире. 1) Отношения типа хищник-жертва, паразит-хозяин и другие пищевые связи, когда один организм питается за счет другого. Здесь одна из взаимодействующих особей проигрывает, а другая выигрывает. 2). Конкуренция — отношения, при которых каждая из взаимодействующих особей выиграла бы при отсутствии другой. 3) Мутуализм — взаимовыгодные связи, наиболее яркое проявление которых представляет симбиоз — постоянное тесное сожительство особей с пользой для каждой из них. Эти три варианта биотических связей — двусторонние, значимые для каждого из двух организмов. Следующие два — односторонние. 4) Комменсализм — отношения, когда один из партнеров выигрывает, а второму эта связь безразлична. 5) Аменсализм — неблагоприятное действие одной особи на другую mtp каких-либо результатов для себя. Шестой вариант биотических связей по этой классификации — нейтрализм. Так называют практическое отсутствие прямых отношений и совместное существование за счет многоэтапных косвенных связей.

Биотические связи лежат в основе возникновения в природе надорганизменных систем — биоценозов. Виды не могут существовать по отдельности, они живут только в таких объединениях, где связи с другими обеспечивают им получение ресурсов, возможности размножения и защиты. Вводя в науку понятие «биоценоз» немецкий гидробиолог Карл Мебиус в 1877 г. писал «Наука, однако, не имеет слова... для обозначения сообщества, в котором сумма видов и особей, постоянно ограничиваемая и

подвергающаяся отбору под влиянием условий жизни благодаря размножению непрерывно владеет некоторой определенной территорией. Я предлагаю термин «биоценоз» для такого сообщества. Всякое изменение в каком-либо из факторов биоценоза вызывает изменения в других факторах последнего».

Таким образом, биоценоз представляет закономерное сожительство разных видов на определенном участке среды. Место, занимаемое в пространстве каждым отдельным биоценозом, получило название «биотоп». Биотопы характеризуются определенным набором условий, к которым приспособлены все члены сообщества. Биоценозы представляют структурные единицы живой природы, своего рода ячейки, на которые делится весь органический мир Земли. Масштабы биоценозов различны. Их ограничивают внешние условия среды, а не внутренние причины, как это характерно для организмов, размеры которых определяются генетической программой. Сообщество сфагнового болота может, например, занимать клочок земли в немногие квадратные метры, а может простираться до горизонта. Соседствующие биоценозы могут быть довольно четко разграничены в пространстве, но чаще постепенно переходят друг в друга. Иногда границы между ними трудно уловимы. Виды, входящие в состав природных биоценозов, приспособлены к совместной жизни, однако любой из них может быть заменен другим, сходным по экологии.

Понимание законов сложения биоценозов очень важно в практической деятельности человека. Мы эксплуатируем природные сообщества даже когда речь идет об интересующих нас отдельных видах, так как изменение численности любого из них отзывается на других. Возникают так называемые цепные реакции, и часто результат воздействия на биоценоз оказывается прямо обратным ожидаемому. Например, в прибрежных водах Берингового моря с начала 90-х годов почти в 10 раз сократилась численность охраняемого вида — калана («морских котиков»). Исследования показали, что на них стали активно охотиться хищные дельфины — касатки, которые раньше добывали преимущественно сивучей и нерпу в открытом море. Причиной переключения касаток на новую добычу стало сокращение численности этих ластоногих, питающихся рыбой, в результате переувлова человеком минтая и других видов рыб в этой акватории. Падение численности каланов, в свою очередь, послужило причиной резкого возрастания обилия их жертв — морских ежей, поедающих бурые водоросли. В результате заросли бурых водорослей, дающих приют многим видам морских животных и защищающих берега от размыва, сократились за 10 лет в 12 раз.

Пищевые отношения, или трофические связи, играют главную роль в сложении биоценозов. Через них организмы получают энергию для своего существования, и они же служат важными регуляторами численности видов. Формы трофических связей многообразны: типичное хищничество, паразитизм, собирательство, пастьба. Истинные хищники за свою жизнь убивают значительное количество жертв и тратят много энергии на их добычу. Хищников отличает специализированное охотничье поведение. Собиратели питаются мелкой многочисленной добычей, неспособной убежать или оказывать сопротивление, и основная их энергия уходит на поиск корма. При пастьбе ограничен и поиск корма, обычно его оказывается достаточно вокруг, и основные усилия животные тратят на его захват (коровы на лугу, гусеницы на листьях, божьи коровки в колониях тлей). Паразиты окружены избытком пищевых ресурсов, используя хозяина не только как их источник, но и как место обитания. Своеобразной формой собирательства служит фильтрация водных животных и детритофагия у ряда обитателей ила и почвы — пропускание через кишечник всего субстрата, из которого перевариваются органические частицы. Растения за счет фотосинтеза сами создают органические соединения, значительную часть которых затем используют для поддержания собственной жизнедеятельности.

Трофические связи пронизывают любой биоценоз и всю живую природу в целом. В сообществах подбираются только те виды, которые могут найти в них свои пищевые ресурсы. Даже растения, сами синтезирующие органическое вещество, находятся в косвенных трофических связях с многочисленными микроорганизмами и животными, освобождающими для них элементы минерального питания из мертвого опада или переводящими в доступные соединения азот воздуха.

Трофические связи в биоценозах определяют и направления эволюции взаимодействующих видов. У хищников, например, естественный отбор совершенствует органы чувств и нервную систему, координацию движений, мускульную силу, охотничьи инстинкты, т.е. все те признаки, которые обеспечивают успешную добычу. Их жертвы также эволюционируют в направлении морфо-физиологического прогресса, так как выживают только те, кто быстрее заметит опасность, быстрее бежит или летает, успеет вовремя спрятаться и т.п. Хищники в известной мере являются и санитарами своих жертв, так как в основном ловят ослабленных или больных особей, тогда как поймать здоровых и полноценных им часто не под силу.

Собирательство, как способ питания, приводит к совсем иным эволюционным результатам. Сохраняются или не поедаются только те особи жертв (насекомые, моллюски, семена и т.п.), которых потребители не смогли заметить или они оказались неудобными для сбора. Таким образом, идет отбор на развитие покровительственных окрасок, инстинктов затаивания, различных выростов, шипов, колючек и других признаков, помогающих видам избегать чрезмерного пресса собирателей. В этом случае направление эволюции — специализация, а не общий морфо-физиологический прогресс.

Трофические связи в природе стоят многоступенчатым заслоном на пути чрезмерного увеличения численности отдельных видов. Непомерное размножение чревато большими опасностями для любого вида, так как грозит подрывом всех ресурсов. В реакции хищников на рост числа жертв различаются две составляющие: функциональная и количественная. Функциональная реакция заключается в увеличении добычи имеющимися хищниками при увеличении обилия жертв. Тем самым они могут сдерживать дальнейший рост их численности. Эта функциональная реакция хищников, имеет, однако, предел. Больше своих возможностей они поймать не могут, поэтому если жертвы в благоприятных условиях размножаются слишком быстро, хищники уже не регулируют их численность. Однако, вслед за этим периодом через некоторое время следует другой — количественный рост хищников, так как хорошая кормовая база позволяет им успешно размножиться и в геометрической прогрессии увеличить число потребляемых жертв. Поэтому после некоторого всплеска численности жертвы вновь попадают под регулирующее воздействие потребителей.

Изучение растительноядных насекомых в естественных биоценозах выявляет целую систему трофических связей, сдерживающих рост их численности. Так, при умеренном размножении вида это осуществляют многоядные хищники, снимающие «избыток» особей. При усиленном размножении фитофагов в благоприятных условиях имеющиеся хищники уже не справляются с ограничением числа жертв, зато преимущество получают мелкие паразитические насекомые-яйцееды, специализированные по видам хозяев. Им становится легче отыскивать их яйца и заражать своими. Паразиты могут тем самым резко понизить численность вредителя. При бурном размножении фитофагов, когда с этим не справляются ни многоядные хищники, ни специализированные паразиты, высокая их численность облегчает распространение других потребителей — возбудителей бактериальных и вирусных инфекций. Возникают эпидемии, и обилие вида резко падает.

Знание этих закономерностей часто имеет большое практическое значение. Например, после освоения целины в 1950-х годах в засушливых районах Сибири на огромных территориях возникла такая вспышка размножения вредителей пшеницы (в основном зерновой совки), что полостью свела на нет весь урожай. На химическую борьбу с ними требовались огромные средства: железнодорожные составы ядохимикатов и трудовые затраты, итогом, кроме убытков, было бы сильное загрязнение среды. Энтомологи выяснили, что на вспаханной целине не хватало естественных врагов этих вредителей (хищных жуков, паразитов) и спрогнозировали их количественную реакцию в ближайшие годы. Прогноз оправдался, вспышка численности вредителей пошла вскоре на убыль, что сберегло ресурсы и здоровье людей. Урожаи наших полей, садов и огородов во многом определяются трофическими связями населяющих их насекомых и других обитателей. Биологические методы борьбы с вредителями основаны на усилении активности их естественных потребителей. В лабораториях по защите растений специально разводили крохотных паразитических перепончатокрылых — трихограмм, теленомусов и др и выпускали на поля и в сады, где они откладывали свои яйца в яйца насекомых-вредителей, не допуская вспышек их массового размножения. Известно много успешных примеров подавления вспышек численности завезенных видов путем интродукции их врагов из естественных мест обитания. В практике борьбы с насекомыми-вредителями используют и бактериально-вирусные препараты. Таким образом, трофические связи — это эффективный механизм поддержания устойчивости в соотношениях видов в биоценозе.

Хищники в природе редко приводят к полному уничтожению своих жертв. При низкой их численности они переключаются на другую, более доступную добычу, поскольку поиск прежней становится энергетически невыгодным. Снижение пресса хищничества позволяет виду возобновиться. Это правило постоянно нарушается в практике при стихийной организации промыслов. С экологической точки зрения, человек выступает мощным хищником по отношению к объектам промысла. Но если в природе с падением численности определенных жертв хищники начинают ловить их меньше, переходя в основном на другую добычу, то в промысловой практике часто реализуется стремление добывать вид «до последнего». Так были уничтожены растительноядные морские млекопитающие — стеллеровы коровы, странствующие голуби, бизоны американских прерий, подорвана численность китов, многих видов рыб и других промысловых животных. Поэтому международные запреты на вылов и добычу ряда

исчезающих видов — абсолютно необходимая и экологически грамотная мера, направленная на восстановление их численности.

Живая природа пронизана и другими типами связей — взаимно положительными, или мутуалистическими. Они особенно развиты между представителями разных царств. Широко известны связи растений с грибами — развитие у них микоризы. При эктомикоризе гифы грибов, оплетая корни растений, заменяют им корневые волоски и более успешно всасывают воду и минеральные соли, получая взамен синтезированные растениями сахара. Грибы помогают также в азотном питании, разлагая гумусовые вещества. Такие связи обнаружены у 5 тысяч видов растений и 5 тысяч видов грибов. Целый ряд растений, такие как орхидные и вересковые, вообще не могут развиваться без содружества с грибами. При эндомикоризе грибные гифы частично проникают внутрь корня, в межклеточные пространства и клетки. Эндомикоризу образуют более 100 видов грибов с 225 тысячами видами растений. Последние сохраняют при этом корневые волоски, но лучше растут и развиваются, чем в отсутствие грибов, а те, в свою очередь, не могут образовывать плодовые тела без связи с корнями. Попытки, например, выращивать в чистой культуре ценные белые грибы оканчивались неудачей именно по этой причине. Белые грибы образуют микоризу со многими видами деревьев: дубом, березой, сосной, буком и др. При разведении леса в степных районах рекомендуется с корнями саженцев привносить некоторое количество лесной почвы, содержащей соответственный грибной мицелий. Другой широко распространенный вариант мутуалистических отношений растений — их симбиотические связи с азотфиксирующими бактериями. На корнях всех бобовых и многих представителей других семейств развиваются клубеньки, содержащие бактерии, способные связывать молекулярный азот почвенного воздуха и переводить его в соединения, доступные усвоению растений, которые, в свою очередь, снабжают бактерий глюкозой. Выращивание и запашка бобовых — лучший способ обогащения почв азотом, что и применяется в сельском хозяйстве. Хрестоматийный пример симбиоза грибов и водорослей представляют лишайники, которых в природе насчитывается свыше 20 тысяч видов. В их образовании принимают участие представители 28 родов водорослей, в том числе и прокариотических синезеленых (цианобактерий), и трех классов грибов.

Микроорганизмы вступают в симбиоз не только с растениями, но и с животными, и друг с другом. У животных они часто являются необходимыми участниками переваривания пищи, особенно среди травоядных. У жвачных, например, у коров, в одном из отделов желудка — рубце, обитает несколько килограммов бактерий и простейших.

Большинство животных не обладает ферментами, разлагающими клетчатку, и в этом им помогает обильная микрофлора, населяющая пищеварительные тракты. Кишечные бактерии могут служить также дополнительным источником белка, незаменимых аминокислот, витаминов. Например, у кроликов они в избытке размножаются на остатках пищи в слепой кишке, и животные нуждаются в периодическом слизывании этих выделений (так называемого мягкого кала) из анального отверстия. Термиты, гроза всех материалов, содержащих целлюлозу, погибают от голода при изобилии пищи, если им стерилизовать кишечник, где обитает целый комплекс видов бактерий и жгутиковых простейших. Симбионты кишечного тракта помогают в переваривании не только клетчатки, но и белковых компонентов пищи. Без них пиявки, например, не могут усваивать кровь своих жертв. Кишечная микрофлора играет важную роль и в поддержании здоровья человека. Ее угнетение, например, в результате длительного применения антибиотиков, вызывает расстройство пищеварительной системы. Таким больным, так же как и новорожденным, показаны молочные продукты, специально обогащенные соответствующими бактериями.

В морях и пресных водоемах широко распространен симбиоз сидячих и малоподвижных животных с одноклеточными водорослями — зооксантеллами и зоохлореллами. Тела коралловых полипов буквально нашпигованы их фотосинтезирующими клетками, и кораллы могут на 60-70% обеспечивать себя пищей за счет симбионтов, предоставляя, в свою очередь, для них защиту от фильтраторов и продукты азотистого обмена.

Симбиоз — это крайнее выражение мутуалистических связей. Они широко осуществляются и без обязательного физического сожительства видов. Между растениями и животными эти связи определяют даже сопряженную эволюцию (этот процесс называют коэволюцией). Таковы отношения между цветковыми растениями и их опылителями, а также распространителями семян и плодов. Им мы обязаны многоцветьем современного растительного мира. Нектар, сочные плоды и ягоды возникли для привлечения насекомых, птиц и других животных. Например, дрозды, поедая ягоды рябины, черемухи и др. растений, разносят их неперевариваемые семена, которые попадают на землю вместе с пометом. Сойки, кедровки, бурундуки и другие животные, делающие запасы орехов, желудей и семян на зиму, закапывая под лесную подстилку, по сути, рассаживают свои кормовые деревья, поскольку их инстинкты направлены на создание избыточности таких запасов. Мутуалистические связи возникают и между отдельными видами животных:

рыбы — «чистильщики» других рыб, муравьи, защищающие колонии тлей и питающихся их падью и т.п. Этот список можно продолжать очень далеко, поскольку положительные связи поддерживают жизнь и эволюцию многих видов и широко развиты в биоценозах. В широком смысле слова мутуалистическими являются и те связи, которые поддерживают биологический круговорот вещества: одни виды ведут фотосинтез, используя углекислый газ и освобождая кислород, другие — используют кислород и выделяют углекислый газ, разлагая органические вещества. Мутуалистические связи способствуют развитию устойчивости природных сообществ.

Конкуренция — прямо противоположный, взаимно невыгодный тип отношений, играющий, тем не менее очень важную роль в организации биоценозов. Конкуренция возникает в тех случаях, когда разные организмы существуют за счет общего ограниченного ресурса. Отсутствие одного из них благоприятно скажется на состоянии другого.

В 30-х годах прошедшего века были выявлены основные возможные результаты конкуренции. Российский ученый Г. Ф. Гаузе в экспериментах с инфузориями-туфельками, разводя два вида совместно и поодиночке в сенном настое, сформулировал одно из главных экологических правил: «Два конкурирующих вида вместе не уживаются». Позднее оно получило название закона конкурентного исключения, так как было подтверждено многочисленными наблюдениями и опытами с другими видами. В опытах Г.Ф. Гаузе каждый из видов туфелек успешно размножался в пробирках, питаясь бактериями — сенной палочкой, но если два вида помещали вместе, один из них, начав размножаться, затем постепенно снижал свою численность и наконец исчезал из раствора. При замене сенного настоя взвесью дрожжей картина повторялась, но «побеждал» другой вид туфелек. Эти и многие другие опыты показали также, что конкурентная способность вида по отношению к другим зависит во многом от условий, при их изменении она может ослабевать или усиливаться. В конкурентных отношениях виды могут активно отрицательно влиять друг на друга, но могут быть и нейтральными. Успех конкуренции при таком «мирном сожительстве» определяется скоростью их размножения: более успешный, быстрее наращивая численность, рано или поздно перехватит все ресурсы у другого.

Конкуренция, таким образом, является одним из главных механизмов подбора видов в биоценозах. Вместе уживаются только такие виды, которые какими-либо путями хотя бы частично избегают конкуренции с соседями или смягчают ее. У растений это

достигается расположением листвы в разных ярусах, корневой системы — на разной глубине, смещением сроков цветения и плодоношения, разной потребностью в определенных элементах, мозаичностью распределения в пространстве. Из-за прикрепленного образа жизни растений конкуренция у них выражена более остро, они затевают и вытесняют друг друга, перехватывают элементы питания и воду. Это наглядно проявляется, например, на полях, в садах и огородах во взаимоотношениях культурных и сорных видов. Животные, в силу своей подвижности, более разнообразны в способах разграничения ресурсов. Они избегают острой конкуренции, специализируясь по объектам питания, месту и времени сбора кормов, местам размножения, распределения в пространстве и т.п.

Совместно живущие виды, близкие по своим потребностям, размежевываясь по основным ресурсам, тем не менее, находятся в состоянии скрытой конкуренции. Каждый вид в биоценозе сохраняет потенции расширить захват ресурсов при ослаблении позиций соседних видов. Это явление получило название конкурентного высвобождения. Оно наглядно проявляется при удалении каких-либо членов биоценоза из его состава. Например, в практике охраны леса иногда крупные насыпные гнезда рыжего лесного муравья вместе с их обитателями переносят на нарушенную территорию, где муравьев не хватает. Освободившиеся охотничьи участки тут же захватывают муравьи других видов, которые раньше, казалось бы, не конкурировали с рыжим лесным, разделяя территории и характер добычи. Численность их семей через некоторое время заметно возрастает. Тот же эффект можно наблюдать на ограниченной площадке в лесу, если со всех сторон обрубить проникающие на нее корни елей. Через короткий срок травы на этой площадке примут более густой зеленый цвет, поскольку им достанется больше азота, потребляемого раньше елью. Это частичное перекрывание потребностей, или скрытая конкуренция — также один из механизмов устойчивости биоценозов. В случае ослабления позиций одного вида его функции начинают выполнять другие.

Поскольку в природе сила действия факторов постоянно меняется (погодные, сезонные, многолетние режимы), то частично конкурирующие виды, как на чаше весов, могут колебательно изменять свою численность, оставаясь в рамках биоценоза. Так, во влажные годы на лугах господствуют короткокорневищные травы и угнетены длиннокорневищные, а в сухие — наоборот. Чем больше видов, способных ужиться друг с другом, включает биоценоз, тем он устойчивее, поскольку изменения численности одних компенсируются деятельностью других. Поэтому одно из самых опасных отрицательных

влияний человека на природные биоценозы — обеднение их видового состава. Эффект сказывается не сразу и поначалу мало заметен, но неуклонно приводит к полной разбалансировке сообществ, переходу их в неустойчивое состояние и разрушению.

С конкурентными отношениями видов человеку часто приходится сталкиваться и в практике акклиматизации животных и растений. Завезенные виды приживаются только в том случае, если не встречают сильной конкуренции со стороны местных. Так в Европе и на азиатской территории России была акклиматизирована южноамериканская ондатра, ставшая промысловым объектом. Иногда завезенные виды, наоборот, вытесняют местных. В парках Англии, например, американская каролинская белка вытеснила серую европейскую. Многие виды при случайном или намеренном завозе, не сдерживаемые в новом регионе врагами и конкурентами, превращаются во вредоносные, давая вспышки численности.

Комменсализм, как тип биотических отношений поддерживает жизнь множества видов в природе. Комменсалы используют либо остатки пищи, либо выделения, либо жилые сооружения своих хозяев, не причиняя им ни вреда, ни пользы. Тысячи видов насекомых, моллюсков и других беспозвоночных, а также ряд позвоночных животных могут обитать в жарких и сухих степях и пустынях только потому, что используют норы роющих животных. Много мелких сожителей также в гнездах птиц, муравьев и термитов, где они находят не только укрытие, но и пищу. В широком смысле слова комменсалами крупных животных являются обитатели и потребители их помета, представляющего для них ценный энергетический ресурс.

Аменсализм — менее изученный и менее явный тип связей. Осуществляется через воздействие на среду, что исключает появление рядом видов, даже не являющихся врагами или конкурентами (например, невозможность выживания мелкого светлюбивого травянистого растения под густой тенью бука или ели и т.п.).

Связи между организмами превращают биоценоз не в случайное собрание организмов разных видов, а в сложную надорганизменную систему, имеющую закономерную внутреннюю структуру: определенный набор видов, соотношение их по численности и размерам, положению в пространстве, экологическим характеристикам. Положение, которое вид занимает в в общей системе биоценоза, комплекс его биоценологических связей и требований к абиотическим факторам среды, называют экологической нишей вида. Понятием «фундаментальная ниша» обозначают все его экологические возможности, а «реализованная ниша» — положение в конкретном

сообществе, где его ограничивают сложные биоценотические связи. У малочисленных видов реализованная ниша узкая, у многочисленных — приближается к фундаментальной. На богатство экологических ниш в биоценозе оказывают влияние две группы причин. Первая — условия среды, выраженные в биотопе. Чем мозаичнее и разнообразнее биотоп, тем больше видов могут размежевать в нем свои экологические ниши. Другой источник разнообразия ниш — сами виды, являющиеся ресурсом и создающие среду для других.

Не все виды в биоценозе одинаково значимы. Особое положение занимают те из них, которые в наибольшей степени влияют на условия жизни других. Их называют средообразователями, или эдификаторами. Так, в лесах господствующие породы деревьев создают тень, влияют на распределение осадков, перехватывают основную массу питательных элементов, определяют микроклимат, поставляют наибольшую массу опада на поверхность почвы. На них гнездятся птицы, обитают насекомые и другие беспозвоночные, поселяются мхи и лишайники. Деревья-эдификаторы определяют возможности поселения рядом с ними других растений, тене- или светолюбивых. На болотах такими средообразователями выступают мхи. Роль эдификаторов могут в определенных условиях играть и животные. Например, сурки и суслики в степях и полупустынях, роя многочисленные норы и выбрасывая на поверхность голый грунт, сами влияют на распределение и состав растительности. Удаление эдификаторов сразу разрушает биоценоз или влечет за собой его глубокую перестройку. При повальной рубке деревьев на лесосеках формируются совсем другие сообщества: пустошей, болот, кустарниковых зарослей.

В сходных биотопах одного и того же географического района формируются биоценозы, включающие сходный набор видов. Однако, даже при общности видового состава биоценозы могут резко отличаться друг от друга. Важной характеристикой биоценоза является его видовая структура, т.е. соотношение видов по численности. Общая численность организмов тесно связана с их размерностью: чем мельче виды, тем многочисленнее. Нельзя сравнивать, например, число лосей и бактерий в одном лесу. Поэтому видовую структуру определяют по отдельности для разных групп организмов, более или менее близких по размерам, например, для деревьев, трав, птиц, насекомых, мелких млекопитающих, крупных зверей и т.п.

Во всех группах выявляется, прежде всего, небольшой круг наиболее массовых видов. Такие виды называют доминантами. Они составляют видовое ядро биоценоза. Массовые виды определяют его общий облик, формируют главные связи. Обычно

наземные природные биоценозы называют по доминантным видам растений в верхнем и наземном ярусах: сосняк-беломошник, ельник-кисличник, березняк разнотравный, степь ковыльно-типчаковая, луг вейниковый и т.п. В каждом из этих сообществ преобладают также определенные виды животных, грибов и микроорганизмов. Наряду с доминантами биоценозы включают обширные наборы более малочисленных, а иногда — совсем редких видов. Видовая структура биоценоза подчиняется общему правилу: чем выше численность вида в определенной группе, тем меньше таких видов в составе сообщества, а основное разнообразие приходится на малочисленные формы. Их тысячи в составе любого биоценоза.

Роль этого, казалось бы, избыточного разнообразия в природных сообществах необычайно важна. Оно определяет надежность функционирования биоценозов, увеличивает разнообразие связей. Среди множества подобных «второстепенных» видов всегда находятся такие, которые компенсируют ослабление активности доминантов в изменчивых условиях среды.

Для соотношения видов в биоценозах характерна закономерность, которая получила название «правило А. Тинемана», по имени установившего ее немецкого гидробиолога; «чем специфичнее условия среды, тем беднее видовой состав сообщества, и тем выше может быть в нем обилие отдельных видов». В неблагоприятных условиях выживают и размножаются лишь немногие, приспособившиеся к ним виды. При отсутствии или малом количестве врагов и конкурентов они могут давать гигантские всплески численности. Современные экологи называют это явление «компенсация плотностью». Оно прослеживается в разных масштабах в природной среде, но особенно ярко проявляется в антропогенных условиях. Например, человек сам создает возможности для появления полей, обедняя биоценозы на обширных территориях пахотных земель. До эпохи промышленного земледелия большинство современных вредоносных видов не размножались в большом количестве, находясь под контролем своих потребителей.

Использование ядохимикатов в борьбе с вредителями часто вызывает своего рода «экологический бумеранг» — еще более интенсивную их вспышку через непродолжительное время. Химикаты действуют обычно неизбирательно, подавляя хищников и паразитов. Они обычно более чувствительны к ядам, чем фитофаги. Сохранившаяся часть устойчивых вредителей, лишившись врагов, быстро наращивает численность. Для их повторного химического подавления нужна уже более высокая

концентрация препаратов, и возникает замкнутый круг, вредящий не только урожаю, но и здоровью человека.

В наиболее богатых биоценозах практически все виды малочисленны. В тропических дождевых лесах, например, редко можно встретить рядом два дерева одной породы. В них не происходит массового размножения отдельных видов животных, тогда как, например, в однородных по древостою лесах Сибири вспышки численности вредителей — не редкость.

На границах природных биоценозов, там где они переходят друг в друга, обычно отмечается повышение видового разнообразия. Это явление получило название «опушечный эффект». На лесных опушках, действительно, гнездится больше видов птиц, чем по отдельности на лугу и в глубине леса, богаче набор растений, насекомых и т.п., что объясняется более высоким разнообразием биотопических условий.

Законы сложения биоценозов находят применение во многих аспектах грамотной хозяйственной деятельности. Опушечный эффект, например, позволяет сохранить и даже умножить видовое разнообразие в ландшафте созданием лесных полос, зеленых изгородей, мозаики различных биотопов, включая водные и т.п. Развивается особая прикладная область — экологическая инженерия, занятая конструированием искусственных биоценозов с определенным целевым назначением при рекультивации нарушенных земель, озеленении городов, формировании зон отдыха, очистных сооружений, разведении промысловых видов в водоемах и др. Например, в городских парках необходимо сочетать выполнение таких требований, как подбор видов растений, устойчивых к загрязнению воздуха и почв, создания их разнообразия для привлечения птиц и насекомых, соблюдение «зеленых коридоров» — связи с загородными массивами для возможности расселения видов, обеспечение эстетического эффекта для посетителей, распределение растений в пространстве, способствующее сохранению от вытаптывания и т.п. В городах набирает силу так называемое «вертикальное озеленение» — стен и крыш домов, также требующее соблюдение многих экологических норм. Вокруг промышленных предприятий рекомендуется создание насаждений со специальной целью увеличения поставки в воздух кислорода и ограждения от жилых массивов.

В очистных сооружениях — аэротенках — человеку служат искусственные сообщества микроорганизмов — бактерий, простейших и мелких многоклеточных, формирующих так называемый «активный ил». Разнообразие и эффективность этого сообщества обеспечивается сочетанием аэробных и анаэробных видов, так как технология

предусматривает интенсивное аэрирование насыщенных органикой стоков, чего практически не бывает в природе.

В мире в настоящее время большое внимание привлекает создание морских ферм — марикультур промысловых видов: моллюсков, крабов, трепангов, некоторых рыб и т.п. Успех этих мероприятий зависит от экологически правильного конструирования подводных биотопов и регулирования в них конкурентных отношений, так как морские животные лимитированы обычно местами обитания и размножения.

В современном сельском хозяйстве крепнет представление о необходимости так называемого «биологического земледелия». Многие методы получения высоких урожаев оказались по сути дела антиэкологическими и ведущими к разрушению почв. Один из них — выращивание монокультур на больших площадях с интенсивной химической обработкой. Экологически оправданные системы земледелия направлены на более полное использование биологического потенциала культурных растений и сохранение почв, на увеличение биологического разнообразия. Для этого создают смешанные посевы, подбирая разные сорта и культуры, оставляют на полях сорняки, если их численность не превышает порога вредоносности, не распахивают обочины полей и дорог. Тем самым создаются резерваты для опылителей и яйцеедов, имаго которых нуждаются в питании нектаром цветущих растений. Эти мероприятия ведут к усложнению биоценотических связей и стабилизируют урожаи. В смешанных посевах (например, кукуруза-люцерна и др.) и сортосмесьях растения полнее используют среду, занимая разные экологические ниши, распределяя корневые системы на разной глубине и расходясь по срокам наиболее интенсивного использования минеральных элементов. Умеренные сорняки задерживают в своих телах часть этих элементов, сохраняя их от вымывания и возвращая почве после запашки. Основная идея совершенствования посевов многолетних трав — поиск приближения их состава и структуры к естественным растительным сообществам.

Даже в пустынях можно создавать высоко эффективные и продуктивные сообщества, комбинируя виды в сочетаниях, которых нет в природе, используя принцип деления их экологических ниш. Такие многолетние сообщества продуктивных и устойчивых пастбищ были созданы в Туркмении после многолетних исследований российских и туркменских ученых.

В них тщательно подобраны виды разных форм растений — кустарников, полукустарников и трав, выбранных по устойчивости к засухам и конкурентной способности, дополняющие друг друга в разные по погодным условиям годы, разработана

система пастбы скота, при которой сообщество сохраняет возобновимость и устойчивость. На этих пастбищах (агропустынях) растения рационально используют имеющуюся в почвах влагу и формируют задержание.

Биоценология, как раздел общей экологии, приобретает в настоящее время все большее прикладное значение в полном соответствии с представлениями, что «нет ничего практичнее хорошей теории».

Вопросы к лекции 5.

1. Что такое биоценоз? Что понимается под его структурой?
2. Каково разнообразие трофических связей организмов? Какую роль в природе они играют?
3. Что такое мутуалистические связи? Как они распространены в природе?
4. Что называю конкуренцией? Какое значение она имеет в сложении биоценозов?
5. Что входит в круг задач прикладной биоценологии?

Рекомендуемая литература

1. Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология. Учебник для студентов педагогических вузов. — М.: Дрофа, 2004. 412 с.
2. Чернова Н.М., Галушин В.М., Константинов В.М. Основы экологии. 10(11 класс). Учебник для общеобразовательных учреждений. — М.: Дрофа, 2005. 304 с.
3. Работнов Т.А. Фитоценология. — М.: Изд. МГУ, 1978. 384 с.
4. Беклемишев В.Н. Биоценологические основы сравнительной паразитологии // О классификации биоценологических (симфизиологических) связей. — М.: Наука, 1970. С. 90-138.

ЛЕКЦИЯ 6. ПОПУЛЯЦИИ

Популяция — это население вида на определенной территории. Все географическое пространство, в пределах которого встречается вид, носит название «ареал». Любой ареал неоднороден, особенно если он велик и обширен. Поэтому вид в общих границах своего распространения распределен неравномерно, и в его пространственной структуре выделяются отдельные популяции, населяющие более или менее обособленные территории. И степень обособления отдельных популяций, и занимаемые ими территории

или акватории чрезвычайно различны в связи с разнообразием и особенностями видов. У крупных подвижных животных, например, волков или лосей, мы выделяем популяции на больших территориях, обособляемых какими-либо географическими границами (например, большими реками, хребтами и т.п.), тогда как для мелких мышевидных грызунов особенности населения могут различаться в пределах соседних биотопов (ельник, березняк, разнотравный луг и др.). Некоторые виды распространены резко мозаично (например, окуни в разных озерах), у других четкую границу между популяциями провести трудно, вид распространен почти повсеместно, но на разных территориях — с разной численностью.

Численность — основная характеристика популяций. Она сильно расширяет и уточняет наши представления об адаптированности вида к тем или иным условиям среды.

Любая популяция — не есть просто сумма особей одного вида. Это сложная надорганизменная система с внутренними связями и свойствами, которые не присущи отдельным составляющим ее организмам.

Что связывает друг с другом представителей одного вида, населяющих общую территорию? Прежде всего, это генеалогические отношения, направленные на воспроизводство: между представителями разного пола, между родительским и дочерними поколениями. Не менее важна вторая категория отношений — экологические. Они обеспечивают распределение ресурсов. В популяциях разных видов встречаются все типы биотических связей, которые существуют и между представителями разных видов, но наиболее развиты два прямо противоположных варианта: конкуренция и мутуализм. Переплетаясь друг с другом, эти отношения обеспечивают устойчивое существование и воспроизведение вида в конкретных местообитаниях.

Все характеристики популяций — количественные. Любая популяция очень динамична. В ней постоянно совершаются изменения: гибнут от врагов, старости или непогоды отдельные особи, рождаются новые, меняется возрастной состав, происходит расселение или появляются представители вида с других территорий. Все эти процессы отражаются в динамических характеристиках популяций: темп роста или убыли численности, рождаемость, смертность, темпы выселения или вселения (эмиграции и иммиграции). В динамических показателях всегда учитывается время, в течение которого происходят те или иные изменения. Если же мы хотим охарактеризовать состояние популяции в какой-либо определенный момент времени, то прибегаем к статическим характеристикам: численность, плотность, возрастная и половая структура, распределение

в пространстве и т. п. На динамику популяций большое влияние оказывает окружающая среда, т. к. виды существуют в постоянно изменяющихся условиях. Численность популяции, т. е. суммарное количество особей, определить чаще всего бывает нелегко. Можно пересчитать, например, всех амурских тигров, но сложнее — всех окуней в большом озере, всех мух в окрестностях скотного двора или всех дождевых червей в почве луга. Поэтому в количественной оценке популяций чаще используют такой показатель, как плотность — число особей, приходящихся на определенную, условно выбранную единицу пространства, где их можно достаточно надежно подсчитать.

Плотность популяции дождевых червей, таким образом, это их число под 1 кв.м. поверхности почвы, зябликов в лесу — число замеченных птиц на 1 км учетного маршрута, рачков — дафний в пруду — их обилие в 1 дм³ воды на определенной глубине и т.п. От плотности популяций существенно зависит и интенсивность внутривидовых отношений.

Описание возрастной и половой структуры популяции носит название «демография» (от греч. слов — «демос» — народ и «графос» — пишу, описываю). Необходимость и значение демографических исследований были поняты сначала применительно к человеку. Еще в XVI веке было подробно учтено соотношение жителей Лондона по полу и возрасту, на основании чего оценена скорость роста населения. Это было очень важно для планирования действий по обеспечению жителей продовольствием и водой и смягчению антисанитарных условий. В современной службе городов строгий учет демографических характеристик населения — необходимое условие для решения основных социальных вопросов — строительства жилья и детских учреждений, пенсионного обеспечения, учета рабочих рук, службы занятости населения и т.п.

В природных условиях демографические особенности любой популяции определяют во многом ее ближайшее будущее — возможности размножения и способность сопротивления действию неблагоприятных факторов. На разных стадиях развития организмов требования к среде изменяются и иногда — очень значительно. Может происходить смена сред обитания, изменение типа питания, характера передвижения, активности, выносливости к погодным колебаниям и т.п. Особенно резко это выражено у животных с метаморфозом. Достаточно вспомнить гусениц и бабочек чешуекрылых, личинок и имаго майских жуков, головастиков и взрослых лягушек и т.п. Но и у организмов с прямым развитием характер отношений со средой очень сильно зависит от возраста. Как правило, молодые и стареющие особи гораздо чувствительнее к переменам

условий. Популяции, в которых преобладают эти возрастные группы, могут резко снижать численность в неблагоприятные периоды. Половая и возрастная структура популяций зависит от двух главных причин: биологических особенностей вида и конкретных экологических условий его существования. Для многих видов характерна раздельнополость и популяции состоят, соответственно, из самцов и самок. Однако есть множество видов, у которых каждая особь гермафродитна, т. е. имеет и женскую, и мужскую половую систему (например, дождевые черви, брюхоногие моллюски, некоторые рыбы, ряд ракообразных). У таких видов экологические условия часто определяют, какая из половых систем будет функционировать нормально, и какое реальное соотношение самцов и самок окажется в популяции. Но и при генетическом определении пола 1:1 это соотношение редко выдерживается. Экологические различия самцов и самок часто приводят к разной их смертности в течение жизни. Например, у антарктических пингвинов к 10 годам жизни на двух самцов остается только одна самка. У некоторых летучих мышей после зимовки доля самок может снижаться до 20%. У других видов, наоборот, более высока гибель самцов (ряд грызунов, утки-кряквы, большая синица и др.). Половая структура популяции, естественно, отражается на возможностях и темпах размножения и роста численности.

Возрастная структура популяций также тесно связана с динамикой их численности. Биологические особенности видов определяют основные три типа такой структуры.

У видов с короткой продолжительностью жизни, высокой плодовитостью и однократным размножением (однолетние растения, многие насекомые, некоторые проходные рыбы) популяции, как правило, одновозрастные. Очередное поколение практически одновременно появляется из яиц или семян, более или менее синхронно подрастает, переходит к размножению, после которого отмирает. У таких видов материнское поколение не встречается с дочерним. Например, у всех известных саранчовых насекомых перезимовывают яйца, отложенные в почву в «кубышках», а взрослые насекомые к зиме погибают. Так как наиболее чувствительны к засухе, заморозкам или недостатку корма нежные, только что вышедшие из яиц насекомые, они в массе гибнут при неблагоприятных погодных условиях. Суровые зимы также сказываются на выживании яиц. Поэтому численность их популяций подвержена резким изменениям в разные годы. Точно так же посевы однолетних растений наиболее уязвимы на стадии всходов. Динамика численности всех видов с упрощенной возрастной структурой

популяции отличается резкими флуктуациями и нестабильностью. Периодически их популяции могут давать очень резкие всплески численности.

Другой тип возрастной структуры популяций — прямо противоположный. Присутствуют все возрастные группы, одновременно существует несколько поколений. Члены популяций, таким образом, более разнокачественны по устойчивости к неблагоприятным факторам, действие которых, как правило, приводит только к частичным потерям особей. Такие популяции характерны для видов с большой продолжительностью жизни и неоднократным размножением (слоны, лошади, большинство птиц, многолетние травы, деревья и т.п.). К этим видам относится и человек. Динамика численности подобных популяций — без резких колебаний. Промежуточный характер имеют популяции видов с небольшой продолжительностью жизни, но повторным размножением (например, у мышевидных грызунов). У них часть сезона популяция почти одновозрастная, а с началом размножения быстро пополняется особями разных возрастных групп с появлением и дочерних, и внучатых особей. Однако к концу сезона размножение прекращается и перезимовывают лишь зверьки, появившиеся осенью или в конце лета. Для таких популяций также характерна неустойчивая численность и ее периодические подъемы и спады.

Возрастная структура популяций любого вида подвержена влиянию внешних условий (погоды, врагов и т.п.), что отражается на возможностях ее размножения и пополнения в ближайшем будущем. Это обстоятельство широко используется для прогноза численности интересующих нас видов, а также для характеристики человеческого населения. В частности, если в разновозрастной популяции соотношение молодых, взрослых и старых особей отразить в виде расположенных друг над другом прямоугольников, то для растущей популяции они образуют пирамиду с широким основанием и узкой вершиной. В этом случае молодое поколение значительно, а число старых особей — меньше, чем в зрелых и постепенно убывает. При примерном равенстве пополнения и числа размножающихся взрослых пирамида отражает стабильную популяцию. Если же ее основание более узкое, чем середина или вершина, популяции грозит в ближайшее время сокращение общей численности. Такие демографические пирамиды, построенные с разной степенью дробности учета возраста, широко используются в моделях, прогнозирующих структуру населения государств, регионов и человечества в целом.

Анализ возрастной структуры очень важен для грамотного использования промысловых видов и для защиты редких и исчезающих. В рыболовстве для видов с неустойчивой численностью характерны «урожайные» и «неурожайные» годы. У трески, сельди, например, мощные поколения могут быть в 50-90 раз больше слабых, поэтому очень важно устанавливать и соблюдать квоты на размеры вылавливаемых рыб, чтобы не подорвать возможности восстановления стада (снимая в основном «урожайные» поколения).

Многолетние растения проходят разные стадии своего развития, от проростков до генеративных и затем стареющих особей, с неодинаковой скоростью. У ряда видов в популяциях нормально преобладают молодые, у других — зрелые и даже стареющие экземпляры со слабой способностью к семенному воспроизводству. Это зависит от того, сколько времени данный вид растения задерживается на генеративной стадии, и как быстро он ее достигает. Например, у растений ковыля от прорастания семени до полного отмирания всех вегетативных частей проходит несколько десятилетий, иногда — до 100 и более лет. Большую часть этого времени растения проводят в состоянии мощной дерновины, ежегодно возобновляя вегетацию и давая семена, а время от прорастания до первого цветения занимает лишь немногие годы. Нормальный возрастной спектр популяции содержит малую долю молодых и большую — зрелых и старых растений. Многочисленным семенам негде прорасти, т.к. место занято родительскими особями, они резервируются в почве, образуя надежный запас, и прорастают при любом освобождении напочвенного покрова, пополняя популяцию. Отклонение от обычного возрастного состава, которое называется «базовым возрастным спектром», всегда связано с влиянием экологических факторов. Например, при усилении выпаса может происходить омоложение популяции многолетних злаков, т.к. скот разрывает копытами дернину, освобождая место для прорастания семян. Избыток молодых растений делает популяцию неустойчивой, и ее судьба зависит от того, будет ли выпас ослаблен или временно прекращен.

Территория, занимаемая популяцией, содержит ресурсы для жизни. Количество ресурсов, способных поддержать максимально возможную в данных условиях плотность популяции, носит название «емкость среды». Полнота использования ресурсов зависит не только от численности, но и от размещения особей в пространстве. В ходе эволюции у видов выработались разные способы освоения территории, позволяющие поддерживать на ней определенную численность, не создавая угрозы перенаселения. Пространственная

структура популяции создается за счет взаимодействия членов популяции, их реакции друг на друга при освоении среды.

Растения занимают среду своим телом, пронизывая почву корневой системой и располагая фотосинтезирующие органы на определенной высоте в соответствующем объеме воздуха. Площадь их питания не может быть меньше некоторой определенной величины. В ходе роста они остро конкурируют друг с другом, и в результате остается то количество экземпляров на площади, которое соответствует емкости среды. Гектар елового леса содержит 600-700 взрослых деревьев, хотя всходы молодых елочек могут исчисляться десятками тысяч.

Подвижность животных позволяет им иными способами рационально использовать территорию, сочетая элементы конкурентных и взаимовыгодных отношений. У них различают оседлый и кочевой образ жизни. Оседлые животные характеризуются привязанностью к определенному участку местообитания. Эта территориальная привязанность носит название «хоминг», своего рода «чувство дома». Для оседлых животных характерно территориальное поведение, которое включает две составляющих: охрану занимаемого участка и его активное исследование и использование. Участок охраняется от соседей, и таким образом занимаемая популяцией территория оказывается поделенной на отдельные ячейки, достаточные для того, чтобы выкормить отдельную особь, или семейную группу. Охрана индивидуальных участков осуществляется по-разному. В более редких случаях — это прямые схватки с претендентами, но чаще — ритуальные угрозы или просто звуковые сигналы или пахучие и визуальные метки, свидетельствующие, что участок занят. В инстинктах животных заложено избегание занятых участков, на чужой территории у них преобладает ориентировочное поведение, а на своей — агрессивное и активное.

Использование ресурсов у территориальных животных носит характер интенсивного. Досконально изучив свой участок, хозяин его знает, где и в какое время искать корм, куда спрятаться в случае опасности, как защититься от непогоды, строит гнезда, логова, убежища или систему нор. Оседлость может быть постоянной (сурки, суслики, пищухи и др.) или быть приуроченной только к периоду размножения (многие птицы, некоторые рыбы и др.).

В разделении территории присутствуют элементы конкуренции. Однако соседи связаны и мутуалистическими отношениями. Они проявляются в оповещении друг друга о замеченной опасности, в объединениях при реакции на общего врага. В популяции

постоянен поток информации, свидетельствующий о местопребывании отдельных особей, занятости территории. К ним добавляются сигналы тревоги, реакции испуга, половые призывы. Стереотипы поведения животных направлены на поиск и поддержание контактов с себе подобными. Если численность популяции низка и вокруг много свободного пространства, животные не селятся поодиночке, а выбирают участки, расположенные по соседству. Та сумма информации, которую они получают друг о друге получила название «биологическое сигнальное поле».

Максимальный размер участка определяется не только его кормностью, но и возможностями ориентироваться на поведение соседей. На границах индивидуальных участков, например, у сусликов часто имеются нейтральные зоны, где соседи общаются друг с другом без агрессии, а молодые могут вступать в игры.

Площадь индивидуальной территории может меняться в зависимости от плотности популяций и урожайности года, но существуют минимальные пределы, необходимые для выживания хозяев. Те особи, которым не достались участки, расселяются на другие, менее удобные территории, или не приступают к размножению.

Альтернативный тип использования пространства — кочевой образ жизни. Животные передвигаются по достаточно обширной территории, меняя места обитания и собирая пищевые ресурсы. Это экстенсивный способ освоения среды. Он снимает зависимость от недостатка кормов на отдельных участках. Однако, такой образ жизни усиливает опасность гибели от врагов или других неожиданных обстоятельств и оказывается не под силу одиночным особям. Животные кочуют только группами (слоны, копытные, дельфины, павианы и др.). В группах устанавливаются определенные отношения, выявляются лидеры или вожаки, которым подражают или подчиняются другие особи, осуществляется защита детенышей. Группа использует опыт и силу наиболее полноценных своих членов и действует как целое. Стаи без вожаков (рыбы, насекомые) объединяет подражательное поведение и система информационных сигналов. Отношения животных в группах (стадах, стаях, колониях) имеют характер социальных связей, они также представляют собой переплетение конкуренции и мутуализма.

Животные кочуют в пределах определенных территорий, возвращаясь на прежние места по мере восстановления там кормовых запасов. Для зебр в саваннах Африки кочевые территории в среднем составляют пространство в 400 км^2 ($20 \times 20 \text{ км}$), а для северных оленей маршруты кочевков могут быть протяженностью до 1000 км, от тундр на побережье Ледовитого океана до полосы лесотундры или северной тайги. Маршруты эти

постоянны и в настоящее время часто нарушаются промышленными строительными сооружениями (нефте- и газопроводы, автомобильные трассы и т.п.). Отклонения от привычных маршрутов приводят к недокорму и голодовкам животных, нанося существенный урон промысловому оленеводству. У животных, проводящих всю жизнь в стадах, стаях, колониях или скоплениях существует выраженный эффект группы. Физиологическое состояние отдельного животного резко ухудшается, если оно вынуждено существовать в одиночку или при малом числе соседей. Колониальные птицы, например, не приступают к размножению после разорения птичьих базаров, если их число невелико. Стайные виды рыб (например, сельдь) не питаются даже при обилии корма, если вокруг нет соседей. У муравьев, пчел, отселенных от общины, резко сокращается продолжительность жизни, и угасают некоторые важные инстинкты даже в оптимальных, с физической точки зрения, условиях.

Необходимость эффекта группы сильно усложняет возможности восстановления вымирающих видов. С ним необходимо считаться и в животноводстве, и при охране промысловых животных. Этот же эффект затрудняет и борьбу с вредителями. Например, если кладки яиц сибирского шелкопряда сохраняются почти полностью из-за низкой активности естественных врагов, гусеницы развиваются группами вдвое быстрее, чем поодиночке и обладают большей прожорливостью.

Расселение — одна из важнейших функций в жизни любого вида. Попадая на новые еще не освоенные территории, представители вида, в случаях успешного размножения, основывают новые популяции.

Рост популяций у любых видов, от бактерий до человека, проявляет общие закономерности. Теоретически любой вид может расти бесконечно в силу геометрической прогрессии размножения. Число потомков, которое может оставить после себя одна особь, носит название «биотический потенциал вида». Минимальный биотический потенциал — всего два потомка, при простом делении клетки надвое (бактерии, амёбы, инфузории), максимальный — сотни миллионов (число икринок, откладываемых за жизнь рядом плодовитых рыб, число мелких семян у многих древесных растений и т.п.). Но даже при простом удвоении за поколение кривая численности популяции носит характер экспоненты, т.е. быстро взмывает вверх, в бесконечность. У амёб или бактерий геометрическая прогрессия размножения может дать уже через 20 делений из одной клетки — более миллиона, и по подсчетам превысить массу земной коры всего за полтора-двое суток. Такой мощный потенциал размножения, которым обладают живые

существа, никогда не реализуется полностью, прежде всего по одной простой причине — нехватке ресурсов, состояние которых для любого вида на планете имеет пределы, а в конкретных местообитаниях соответствует емкости среды.

Кривая роста популяции в новых для нее условиях сначала поднимается вверх, а затем тормозится на определенном уровне и колеблется вокруг него, отражая влияние различных факторов. В математике рост популяции отражается так называемыми логистическими уравнениями, показывающими, что с увеличением численности популяций скорость прироста замедляется, приближаясь к нулю, и кривая поворачивает параллельно горизонтальной оси. Так растут культуры бактерий в пробирках, завезенные на поле сорняки, стада разводимых сельскохозяйственных животных, население вновь осваиваемых районов и в целом все человечество на планете.

Сдерживание роста популяций в природе происходит в результате действия целого ряда факторов. Их делят на две принципиально различные категории: модификаторы и регуляторы. Факторы — модификаторы воздействуют на численность популяции односторонне, сами не испытывая никакого влияния с ее стороны. Это прежде всего — абиотические явления: засухи, проливные дожди, наводнения, бури, низкие температуры и т.п. Все знают, насколько зависят урожаи культурных растений от таких условий, и как экстремальные ситуации усложняют выживаемость не только диких животных, но и людей. Метеорологические прогнозы очень важны и для сельского хозяйства, и для медицины. Рост и плодовитость особей подчиняется правилу оптимума, поэтому все отклонения от него изменяют (модифицируют) численность популяций в сторону уменьшения, а приближение к оптимуму стимулирует увеличение.

Факторы — регуляторы проявляют двустороннюю зависимость. Они не только влияют на численность популяций, но и сами изменяют силу своего действия в зависимости от ее плотности. С падением численности воздействие регуляторов ослабевает, с повышением — усиливается. Возникает так называемая отрицательная обратная связь, которая способна сдерживать безудержный рост популяции. Следует отметить, что чрезмерный, неконтролируемый рост численности в конечном итоге губителен для любого вида, т.к. может полностью истощить и подорвать ресурсы среды. В эволюции возникло множество механизмов, т.е. способов регулирования размножаемости видов.

Факторы — регуляторы в природе делятся на две группы: биоценотические и внутривидовые. Биоценотические регуляторы численности отдельных популяций — это

влияние врагов: хищников, паразитов, возбудителей болезней, а также конкурентов среди других видов. С увеличением плотности популяций сила их действия возрастает, а при низкой плотности — ослабевает. Хищники переключаются на более доступную добычу, а паразитам становится сложно распространяться от одного хозяина к другому. Пресс врагов и конкурентов — мощные силы сдерживания роста популяций. Например, при плодовитости взрослой трески до 10 млн. икринок за один нерест, до взрослого состояния в лучшем случае доживают одна или несколько особей. Меньшая часть икринок и мальков гибнет под влиянием абиотических факторов, а большая — поедается разного рода фильтраторами, мелкими и крупными хищниками. Паразиты присутствуют в популяциях рыб в большом количестве и разнообразии, снижая их плодовитость и выживаемость. Среди врагов сибирского шелкопряда, способного оголять хвойные леса, наиболее эффективные биоценотические регуляторы — мелкие перепончатокрылые насекомые, паразиты-яйцееды. Они уничтожают до 95% в кладках яиц шелкопряда. Гусеницы и взрослые бабочки также испытывают пресс хищников. В период активности регуляторов вспышек численности шелкопряда не происходит.

Наши древние предки — собиратели также страдали от хищников, в основном — крупных кошачьих: леопардов, львов и др. Для современного человека эта опасность практически полностью снята, а в борьбе с паразитами и инфекционными заболеваниями большие усилия делает медицина.

Внутривидовые (популяционные) механизмы регуляции имеются практически у всех видов, они действуют наряду с биоценотическими, межвидовыми, и выступают на первый план у тех видов, у которых в природе мало естественных врагов. Они поддерживают гомеостаз (примерное постоянство численности) популяций, препятствуя ее чрезмерному увеличению. Разные по экологии и биологии виды сильно различаются по способам саморегуляции.

У растений, неспособных менять свое местопребывание, возникает острая конкуренция за площадь питания и свет, и более сильные особи губят более слабых, перехватывая средства существования, происходит самоизреживание, которое, в итоге служит на пользу виду, поскольку сохраняются генетически и физиологически более полноценные особи.

Другой способ торможения роста численности — отравление среды продуктами обмена веществ, которые ингибируют размножение. Он развивается у видов, населяющих относительно замкнутое пространство, где возможно накопление таких метаболитов: в

культурах бактерий, у рыб и земноводных в непроточных водоемах, у насекомых — вредителей запасов зерна и т.п. В биотехнологиях, основанных на выращивании одноклеточных и мелких организмов в водных растворах, их продукция резко повышается при создании проточных условиях. В аквариумах рыбы не растут, если их поместить в воду, где до этого было много рыб этого вида. Наиболее распространенный и эффективный способ популяционного гомеостаза у животных — их территориальное поведение. Этот способ регуляции плотности населения возник в самых разных группах: у млекопитающих, птиц, рептилий, ряда придонных рыб, у пауков, многих насекомых (особенно с общественным, социальным образом жизни — у муравьев, пчел, термитов). Защита и охрана индивидуальных и семейных участков не позволяет возникнуть избытку населения, угрожающему подрывом общих ресурсов.

Миграции и расселение животных — также распространенный способ снятия угрозы перенаселенности. Инстинкты миграции усиливаются при увеличении плотности популяции. Наиболее яркий пример дают норвежские лемминги, которые в годы вспышки численности сплошным потоком начинают переселяться от мест рождения, преодолевая различные преграды и подвергаясь массовой гибели. Еще более впечатляющи разлеты стадной саранчи на сотни и тысячи километров. Насекомые образуют тучи в тысячи тонн суммарного веса, поедают на своем пути всю растительность, губят урожаи, но и сами обречены на гибель, так как в местах оседания, как правило, не находят условий для размножения. Образование перелетных стай — это реакция саранчи на увеличение плотности собственного населения. При этом меняются физиологическое и гормональное состояние особей, характер поведения, инстинкты и даже внешний облик. Насекомые переходят, через ряд линек, из так называемой одиночной фазы в стадную, собираются вместе и улетают, разреживая оставшуюся часть популяции.

Повышение плотности популяции изменяет поведение, снижает плодовитость и увеличивает смертность у многих групп животных. У млекопитающих при переуплотнении населения возникает стресс-реакция — нервно-гормональные изменения в организме, блокирующие размножение. Эти изменения обратимы, состояние животных вновь нормализуется при разреживании численности.

Таким образом, внутрипопуляционные способы регуляции численности, отработанные естественным отбором, очень разнообразны у различных видов, но приводят к сходным результатам — предотвращению полного подрыва ресурсов и

сохранению вида на данной территории. Они представляют собой реакцию на повышающуюся плотность населения и проявляются до исчерпания емкости среды.

Как биоценоотические, так и популяционные механизмы регуляции могут включаться практически быстро, без инерции, следуя повышению плотности популяции, но могут и запаздывать, проявляя инерцию. Например, размножение хищников вслед за размножением жертв — всегда запаздывающий процесс. Изменение плодовитости также не сразу сказывается на численности популяции, а только в следующем поколении. Поэтому, несмотря на многочисленные регуляторные связи, популяции видов часто на некоторый период выходят из-под действия регуляторных механизмов и дают вспышки размножения. На эту динамику накладывается также влияние односторонне действующих, модифицирующих факторов. Поэтому численность популяций всегда варьирует, отклоняясь от средней более или менее резко.

Различают три основных типа динамики численности популяций: стабильный, флуктуирующий и взрывной. В первом случае виды находятся под влиянием эффективных регуляторов, и колебания численности не превышают нескольких крат. Во втором случае размах колебаний выше — на порядок величин, но преобладают безинерционные регуляторные механизмы, быстро снижающие повышенную плотность населения. Взрывной ход численности характерен для видов, у которых регуляторные механизмы обладают запаздывающим действием. Размах колебаний численности может при этом достигать двух, а иногда и трех порядков величин (лемминги, сибирский и непарный шелкопряды, луговой мотылек и др.).

Антропогенные влияния на динамику численности видов чаще всего выражаются в нарушении регуляторных механизмов. Изменяя биотопы и обедняя сообщества, человек, чаще всего неосознанно, снимает заслоны, стоящие на пути размножения многих видов. Если исчезают враги, паразиты и конкуренты, нарушаются территориальные связи, динамика вида из стабильной может превратиться во взрывную. Возникает проблема вредителей леса, сельского хозяйства, запасов, носителей инфекций и т.п.

Демографические проблемы остро касаются и современного человечества. Последние 200 лет характеризуются таким ростом населения Земли, что он получил название демографического взрыва. За это время численность людей увеличилась в 6 раз и в настоящее время приближается к 7 миллиардам человек. В эпоху собирательства, по всей вероятности, человечество составляло не более 50 млн. людей, а к началу нашей эры не превышало 300 млн.. Увеличение емкости среды было обусловлено развитием

цивилизации. Основными ограничителями плотности населения древних людей были недостаток пищи и малая продолжительность жизни, которая не охватывала всего репродуктивного периода. Первое значительное увеличение емкости среды для людей произошло 8 - 12 тыс. лет назад в связи с переходом от собирательства и охоты к производящему хозяйству — выращиванию растений и животноводству («неолитическая революция»). Следующий значительный подъем численности был связан с промышленной революцией 18 века, когда труд людей был облегчен и интенсифицирован использованием машинной техники и горючих ископаемых. К концу этого века на Земле насчитывалось уже 800 млн. человек. После научно-технической революции 19 века успехи медицины и улучшение условий жизни снизили смертность, и средняя продолжительность жизни впервые охватила весь репродуктивный период. Рождаемость продолжала оставаться высокой, темпы прироста населения возросли.

Угроза перенаселенности Земли начала осознаться еще в конце 18 века, о ней впервые заговорил английский пастор Томас Мальтус, предрекая грядущие катастрофы. Однако по-настоящему обеспокоенность этим охватила общественность в 60-е годы 20 века, когда стало ясно, что численность людей растет угрожающими темпами и мир приближается к исчерпанию ресурсов и тотальному загрязнению. Возникла международная программа «планирования семьи», пропагандирующая сокращение рождаемости, которая достаточно жестко проводилась в жизнь в наиболее населенных странах — Китае и Индии. Компьютерные прогнозы развития человечества, обнародованные Денисом и Донеллой Медоузами в 1972 г. на Стокгольмской международной конференции по состоянию окружающей среды, предрекали всеобщую экологическую катастрофу через считанные десятилетия. Эта угроза продолжает оставаться реальной и в наше время. Однако в темпах прироста населения наметились некоторые сдвиги. Численность человечества продолжает расти, но уже несколько замедляясь. Темпы прироста достигали максимальных величин в 70-е годы прошедшего века — 2,06% за год, в 2000 году они составляли 1,35%, в 2005 - 1,22%. Кривая демографического роста постепенно приближается к логистической, что является результатом для всех растущих популяций. По расчетам, численность человечества может стабилизироваться в 22 веке на уровне 10 -11 млрд. человек. При этом изменится соотношение численности народов мира. Демографические процессы должны характеризоваться низкой рождаемостью и низкой смертностью при увеличении продолжительности жизни.

Природа Земли сможет прокормить такое количество людей, но при условии рационального, экологически грамотного хозяйствования, более справедливого социального распределения пищевых и прочих ресурсов и повышения образованности населения. За осуществление этих условий предстоит сложная и напряженная социальная борьба и в отдельных странах и в целом мировом сообществе.

Вопросы к лекции 6

1. Что такое популяции? Каковы их основные характеристики?
 2. Каковы теоретические и реальные особенности роста популяций?
 3. Какие типы возрастной и половой структуры популяций характерны для разных видов?
 4. Какие пути предотвращения перенаселенности (механизмы гомеостаза популяций) возникли в эволюции разных видов? Какие еще причины сдерживают рост популяций?
 5. Что такое «демографический взрыв» в истории человечества? Почему он происходит и каковы связанные с ним проблемы?
-

ЛЕКЦИЯ 7. ЭКОСИСТЕМЫ

Все живые организмы существуют на потоке вещества и энергии. В своей жизнедеятельности они используют энергию химических связей органических молекул, из которых состоят их тела. Сами же эти молекулы организмы либо синтезируют из простых неорганических веществ, которые получают из окружающей среды, либо преобразуют из соединений, поступающих из тел других организмов. Соответственно все живые существа по типу питания делятся на автотрофные и гетеротрофные. Автотрофы используют для синтеза либо энергию солнечного света (фототрофы), либо энергию химических связей неорганических веществ (хемотрофы). Соответственно гетеротрофы энергетически зависят от других живых организмов, так как в состоянии преобразовывать только органические соединения. Уже из этой простой схемы, приводимой в школьных учебниках, очевидна тесная вещественно-энергетическая зависимость организмов друг от друга. Подавляющее большинство видов в живой природе составляют гетеротрофы (это значительная часть бактерий, простейших, все грибы и животные). Они существуют, в конечном итоге, за счет автотрофных организмов (к которым относятся все растения,

часть бактерий и некоторая часть простейших). Однако и фотосинтезирующие организмы, будучи не зависимыми от других по источнику поступления энергии, нуждаются в содействии гетеротрофов в обеспечении себя веществом. Они могут использовать лишь ограниченный круг неорганических соединений (например, углерод — в составе углекислого газа, азот, фосфор, калий — в составе лишь определенных солей и т.п.). Эти соединения, вовлекаемые в процесс органического синтеза, получили название биогенных веществ, или биогенов. Их запас в окружающей среде всегда ограничен. В это нетрудно убедиться на примере быстрого падения урожайности, если продукция растений удаляется с полей, а в почву не вносят удобрений. Биогенные вещества поступают в окружающую среду за счет деятельности гетеротрофов, разлагающих растительные остатки и другую мертвую органику. Дыхание всех живых существ возвращает в атмосферу углекислый газ, необходимый для фототрофов.

Эта взаимная вещественно-энергетическая зависимость связывает в биоценозах виды друг с другом и окружающей неживой природой, откуда поступают биогенные вещества и энергия, и куда выводятся продукты обмена. Биоценозы создают и поддерживают круговорот биогенных веществ, получивший название биологического круговорота. Жизнь на Земле существует миллиарды лет, не исчерпывая запасы необходимых элементов. По высказыванию академика В. Р. Вильямса, единственный способ придать ограниченному количеству свойства бесконечного — это заставить его вращаться по замкнутой кривой. Этот способ найден природой еще на заре развития жизни, и именно биологический круговорот — главная причина ее устойчивости на планете.

Любые ячейки природы, в которых возникает биологический круговорот вещества, называют экосистемами. В структуре любой экосистемы должны присутствовать четыре необходимых компонента для осуществления биологического круговорота: биогенные элементы в окружающей среде и три разных по функциям группы организмов: продуценты, консументы и редуценты. Продуценты создают биологическую продукцию — органические вещества из биогенных элементов, консументы перерабатывают их в органические соединения собственных тел, а редуценты вновь разлагают до усвояемых продуцентами молекул.

В большинстве природных экосистем функцию продуцентов выполняют зеленые растения, консументов — животные, а редуцентов — грибы и бактерии. Однако, строго говоря, любому организму частично присуща функция редуцента, так как и животные, и

растения часть продуктов обмена веществ выделяют в виде простых неорганических молекул — углекислого газа, аммиака, солей и т.п. Точно так же и грибы, и гетеротрофные бактерии часть потребляемого органического вещества используют на построение своего тела, т. е. выступают как консументы. Поэтому соответствующие названия определенным группам организмов даются по той преобладающей роли, которую они играют в экосистемах.

В природе можно выделить экосистемы самого разного масштаба, с разной степенью замкнутости и интенсивности биологического круговорота, разной длительности существования: от временных, эфемерных образований до постоянных и стабильных. Например, как временная экосистема может функционировать высыхающая лужа, в которой развились одноклеточные водоросли, мелкие фильтраторы: коловратки, рачки-дафнии и, безусловно, бактерии. С другой стороны, пруд, озеро, море и океан можно рассматривать как экосистемы нарастающей степени сложности, с разным временем существования в биосфере. Лес, луг, поле со всеми их живыми и неживыми компонентами — наземные экосистемы, вместе с тем разрушающийся пень, поросший мхом и лишайником и населенный грибами, бактериями и беспозвоночными животными — тоже небольшая, временно существующая экосистема. Мелкие экосистемы входят в состав более крупных, и все вместе представляют составные части глобальной экосистемы Земли — биосферы.

Полнота круговорота веществ в экосистемах может быть очень разной. Она во многом зависит от соотношения и деятельности продуцентов, консументов и редуцентов, но также и от влияния внешних по отношению к экосистеме факторов — например, изменения климата, погоды или антропогенного воздействия. В усыхающей луже атомы углерода, азота и других биогенных элементов могут совершить несколько циклов, переходя из тел организмов во внешнюю среду и обратно, но большая их часть выбывает затем из данного круговорота, переходя в другие, поступая в состав почвы или воздуха. Такие же экосистемы, как зрелые дубравы или ковыльные степи могут долго поддерживать циклику своих элементов, возвращая растениям необходимые для фотосинтеза вещества и существовать тысячелетиями, если внешние силы не нарушают их состав и структуру. Но даже в самых крупных и устойчивых экосистемах биологический круговорот не бывает замкнутым полностью. Часть вещества может надолго выпадать из него, захораниваясь на дне океана, в почвах, болотах и т.д., часть вещества ускользает в другие экосистемы, переносясь водой, ветром, живыми

организмами. В результате все экосистемы планеты оказываются связанными между собой.

В некоторых типах экосистем устойчивость поддерживается не столько цикликой биогенных элементов, сколько балансом привноса и выноса веществ. Такие экосистемы имеют характер проточных. Типичным их примером служат реки.

Неразрывность, единство живой и неживой природы давно осознавалось исследователями. Возникало также множество терминов для обозначения отдельных участков среды, где это единство проявляется наиболее наглядно (например, «микрокосм» — для озера и др.). Термин «экосистема» был предложен в 1935 г. английским ботаником А. Тенсли и утвердился как универсальное понятие, применимое к природным образованиям разного ранга, в которых поддерживается обмен веществом и энергией между абиотической средой и сообществом населяющих ее организмов. Почти одновременно российский геоботаник В. Н. Сукачев предложил термин «биогеоценоз» для обозначения аналогичной системы, которая возникает в пределах фитоценоза, т.е. единицы растительного покрова. Оба термина прижились в науке и употребляются в близком смысле с небольшими отличиями. Не любую экосистему можно назвать биогеоценозом. Его границы определяются в природе фитоценозом, т.е. определенной растительной ассоциацией (например, ельника-кисличника, ельника-зеленомошника, сосняка-беломошника, луга разнотравного, сфагнового болота и т.п.). Термин «экосистема» применим не только к природным ячейкам разного масштаба, но и к рукотворным: аквариумам, теплицам, полям, прудам, кабинам космических кораблей и др., если в них присутствуют необходимые компоненты, обеспечивающие хотя бы временный, частичный биологический круговорот веществ.

Любой круговорот вещества не совершается сам по себе. Он требует затрат энергии. Экосистемные исследования стали развиваться в полной мере лишь с 50-х годов прошлого века, после того, как были разработаны методы учета потоков вещества и энергии в биоценозах. Основным механизмом осуществления биологического круговорота — пищевые связи организмов.

Передача энергии при питании одного организма другим подчиняется определенным закономерностям. Если, например, растительноядное животное (коза, кролик, саранча, лошадь и т.п.) съело целиком растение, энергетическую ценность которого мы примем за 100%, то расход этой энергии будет следующим: 1) часть тканей растения не переваривается и вместе с содержащейся в них химически связанной энергией

поступает во внешнюю среду в составе экскрементов; 2) усвоенная часть энергии используется двояко. Основная ее доля идет на поддержание работы клеток, жизнедеятельности организма в целом, и постепенно превращается в тепловую, которая рассеивается в окружающем пространстве. (По второму закону термодинамики, любое превращение энергии из одного состояния в другое сопровождается переходом части ее в тепловую, поэтому все химические реакции в клетках подчиняются этому закону). Другая, меньшая доля усвоенной из пищи энергии может сохраниться в организме в химически связанном виде в составе прироста.

По средним расчетам, доля энергии растения, задержавшаяся в теле съевшего его животного, не превышает 10%. Хищник, съевший это травоядное, при тех же условиях, сохранит в своем теле соответственно не более 1% энергии, содержащейся в растении. Таким образом, солнечная энергия, связанная растением в ходе фотосинтеза, через два звена трофических связей почти полностью возвращается в окружающую среду в виде тепловой.

Конкретная последовательность питающихся друг другом организмов, в которой еще можно различить судьбу первоначальной порции энергии, получила название трофической цепи, или цепи питания.

Хотя пищевые связи в биоценозах бесконечны и разнообразны, общая трофическая сеть, соединяющая живущие вместе виды, на самом деле состоит из множества переплетающихся трофических цепей, каждая из которых включает всего несколько звеньев. Трофические цепи, или цепи питания, не могут быть длинными, поскольку поступающая в них энергия стремительно иссякает. Ее можно проследить всего в 4 - 4, максимум 6 звеньях, а далее ее доля становится пренебрежимо мала. Энергия не может передаваться бесконечно долго и не может возвращаться в организм по кругу, как биогенные вещества. В экосистемы она должна поступать заново. Жизнь в целом существует на потоке энергии. Образным выражением функционирования экосистемы может служить колесо водяной мельницы : постоянное вращение (круговорот вещества) в струях воды (поток энергии).

Место, занимаемое организмом в цепи питания, называется трофическим уровнем. Пищевые цепи начинаются всегда с растений, создающих органическое вещество. Они представляют первый трофический уровень. На втором находятся растительноядные организмы, на третьем и далее — плотоядные. Хищники и виды со смешанным типом питания могут занимать в разных трофических цепях разные уровни. Воробей, клюющий

зерно, представляет второе звено пищевой цепи, а съевший насекомое — третий или четвертый, в зависимости от того, было ли это насекомое растительноядным или хищным.

Таким образом, с одного трофического уровня на другой переходит в среднем 10% энергии, поступившей на предыдущий. Эта закономерность, получившая в экологии название «правило 10%», чрезвычайно важна для понимания того, как функционируют экосистемы, и для грамотного природопользования. Она лежит в основе создания в природе вторичной биологической продукции.

Биологической продукцией называют то количество органического вещества, которое создается в единицу времени на определенном трофическом уровне. Различают первичную и вторичную биологическую продукцию. Первичную создают растения из неорганических компонентов. Валовая первичная продукция определяется скоростью фотосинтеза, которая зависит и от вида растений, и от условий среды. Значительную часть ее (в среднем 50-60%) растения тратят на поддержание собственной жизнедеятельности, а оставшаяся идет на рост, на увеличение их массы. Ее называют чистой первичной продукцией. За счет чистой первичной продукции в конечном счете существуют все гетеротрофы биоценоза.

Вторичная биологическая продукция — это органическое вещество, создаваемое гетеротрофами, т.е. переработчиками. Она возникает за счет первичной чистой продукции и, по правилу передачи энергии по цепям питания, составляет не более 10% от растительной. Таким образом, в природе на создание 1 кг массы травоядного животного тратится в 10 раз больше солнечной энергии, чем на создание 1 кг растений, а на 1 кг хищника — по крайней мере в 100 раз. В цепи питания «растение — фитофаг — хищник» соотношение солнечной энергии, необходимой для одинакового прироста на каждом трофическом уровне составит 1 : 10 : 100.

На планете сохранились экосистемы, где первичную биологическую продукцию создают не фотосинтезирующие организмы, а хемосинтезирующие бактерии (в недрах океана, при выходах горячих растворов и т.д.). Однако и в этих сообществах развиваются цепи питания по сходным экологическим правилам, с большими потерями энергии при переходе от одного звена к другому.

В сельском хозяйстве законы передачи энергии по цепям питания выливаются в то известное всем обстоятельство, что 1 кг пшеницы вырастить гораздо дешевле, чем получить 1 кг говядины или свинины. По этой же причине на мясо не разводят хищных животных, а среди одомашненных растительноядных для этой цели используют в

основном тех, которые наиболее эффективно перерабатывают пищу на собственный прирост: кур, индеек, уток, свиней, рогатый скот и т.п. У свиней, например, КПД использования кормов на привес может достигать 20% и более. У других видов, несмотря на старания селекционеров, не удается достичь таких результатов. Например, фазанов, павлинов разводят почти исключительно в декоративных целях, поскольку их энергетические траты «на рост» — всего 2 - 3 %. Следует напомнить, что 10% — это средняя цифра, и разнообразие гетеротрофов по данному показателю очень велико.

Правило 10% определяет так называемую пирамиду биологической продукции в экосистемах. Количество органического вещества, создаваемого в единицу времени, убывает по трофическим уровням примерно в 10-кратном размере, и на схеме это можно выразить в виде ступеней пирамиды соответствующего масштаба. Ее называют также пирамидой энергии, поскольку продукция эквивалентна связанной в ней энергии.

Такой пирамиды часто не получается, если мы будем сравнивать не продукцию, а биомассу или численность организмов на разных трофических уровнях. Биомасса — это показатель, отражающий не скорость создания массы, а имеющийся наличный запас организмов. Ее выражают обычно в весовых категориях (граммах, килограммах, тоннах). Это может быть, например, общая масса всех растений на гектаре леса, масса стволовой древесины, общий вес стада лосей в данном лесу или общий вес всех животных изучаемой экосистемы. Термин «биомасса» применим и к отдельно взятому организму — дереву, лосю, человеку.

При высокой продукции общая биомасса организмов определенного трофического уровня может быть очень низкой, если они быстро поедаются потребителями. Например, одноклеточные водоросли в океане размножаются в благоприятных условиях с высокой скоростью, т.е. отличаются большой продуктивностью, но их всегда по весу мало, потому что с не меньшей скоростью они выедаются зоопланктоном и различными фильтраторами. Животные второго и третьего трофического уровня наращивают свою массу в десятки раз медленнее, но общий вес рыб и донных животных выше, чем фитопланктона, поскольку хищники поедают их с меньшей скоростью. Пирамида биомасс в океане оказывается перевернутой. Таким образом, конфигурация пирамид биомассы в экосистемах определяется не соотношением передачи энергии по цепям питания, а тем, быстр или медленно созданная продукция переходит на другой трофический уровень.

Продуктивность экосистем суши и океана — основа жизнеобеспечения человечества. Люди нуждаются и в растительной, и в животной пище, поскольку в

организме человека не вырабатывается ряд незаменимых аминокислот, которые он может получать преимущественно из белков животного происхождения. На нужды человеческого общества используются не только урожаи сельскохозяйственных растений, но и вся та первичная биологическая продукция, за счет которой существует животноводство и живут промысловые виды морских и наземных животных. Кроме обеспечения пищевых потребностей человека, первичная биологическая продукция применяется во многих отраслях промышленности, строительства, транспорта, энергетики, медицины. В условиях демографического взрыва, быстрого роста числа людей на Земле, очень важно представить реальную емкость среды для населения всей планеты и ее отдельных территорий. Поэтому после того, как были разработаны методы оценки биологической продукции, первой задачей стало оценить ее масштабы в разных частях суши и океана, и на планете в целом.

С конца 60-х годов прошедшего столетия ученые разных стран в течение 10 лет работали по общей Международной биологической программе (МБП), оценивая валовую и чистую биологическую продукцию в различных типах экосистем. В результате этой гигантской работы была создана карта продуктивности земного шара. Уточнение и дополнение полученных данных продолжают по настоящее время.

По современным данным, в наиболее продуктивных экосистемах Земли, синтезируется в среднем за сутки на квадратном метре площади не более 25 г органического вещества (в пересчете на сухой вес валовой продукции). К таким высокопродуктивным экосистемам относятся влажные тропические леса, эстуарии рек в аридных районах, в тропических морях — коралловые рифы. Здесь создаются оптимальные условия для фотосинтеза: много тепла, света, воды, достаточно биогенов. Интересно, что основная первичная продукция на коралловых рифах производится симбиотическими одноклеточными водорослями — зооксантеллами, живущих в телах кораллов и других беспозвоночных животных в освещаемых слоях воды. На своих полях человек тоже может добиться такого высокого выхода продукции некоторых сельскохозяйственных растений, но при условии снятия всех лимитирующих факторов, т.е. при обеспечении достаточным количеством регулярно вносимых удобрений, орошении, рыхлении почвы, защиты от вредителей, т.е. при так называемом интенсивном земледелии, что обходится очень дорого, и затраты часто не окупают выгод повышенного урожая.

В условиях резкого лимитирования какого-либо одного или нескольких факторов, влияющих на фотосинтез, создаются экосистемы с низкой биологической продуктивностью. К ним относятся холодные и жаркие пустыни, тундры, засоленные почвы, а также центральные акватории океанов даже в условиях тропического климата. В тундрах и полярных пустынях резко не хватает тепла, долго длится полярная ночь. В жарких пустынях, прежде всего, дефицит влаги. А в центральных частях океанов, при избытке тепла, света и воды недостает биогенных веществ, главным образом, азота и фосфора. Основные их количества выносятся в океан с материков и перехватываются водорослями краевых морей. Суточная первичная продукция таких экосистем — от долей до 1 г сухого вещества на квадратный метр.

Большинство экосистем Земли относится к среднепродуктивным, поставляя от 1 до 5 г сухого вещества за сутки. Это районы северной тайги, горные леса, луга, глубокие озера, мелкие моря, пашни и др. В степях, саваннах, мелких освещаемых до дна озерах суточная продукция может достигать 10 г и более.

Созданное органическое вещество поступает в цепи питания в составе либо живых растений, либо их отмерших частей. В первом случае цепи питания называются пастбищными, во втором — детритными. В разных типах экосистем потоки энергии через пастбищные и детритные цепи различны. В лесах в норме все растительные виды (насекомые, грызуны, копытные и др.) используют около 10% ежегодного прироста растений, остальная часть идет в опад, формируя лесную подстилку. Над ее разрушением трудятся тысячи видов разнообразных организмов — бактерий, грибов, животных, участвуя в детритных цепях питания. В степях и на лугах в пастбищные цепи может поступать 50-70% ежегодной продукции растений, детритные цепи развиты менее. Наиболее интенсивно выедается продукция водорослей в океанах. Мертвое, не разложенное органическое вещество в экосистемах получило название «мортмасса». Организмы, разрушающие мортмассу, относятся к деструкционному блоку экосистем. Замедление их деятельности приводит к накоплению мертвой органики на поверхности почвы (степная ветошь, лесная подстилка) или ее захоронению (болотный торф, сапропель на дне озер и т.п.).

Запасы мортмассы свидетельствуют о скорости круговорота вещества в экосистемах разного типа. В лесах наглядный показатель — отношение массы подстилки к массе ежегодного опада. В тропических лесах общая биомасса растительности составляет более 5000 ц / га, ежегодно опадает более 250 ц/га листвы и веток, но подстилки присутствует не

более 25 ц/га, т.е. ее отношение к опадку составляет 0,1, так как она очень быстро разрушается потребителями (бактериями, грибами, муравьями, термитами и т.п.). В дубравах средней полосы при ежегодном опадке 65 ц/га этот показатель возрастает до 4. Следовательно, только к концу четвертого года будет полностью возвращен тот запас биогенов, которые растения использовали за год. Для ельников северной тайги задержка в разложении годовой порции опада составляет уже 15-17 лет. В таких лесах на земле лежит толстый слой хвойной подстилки, и круговорот вещества сильно замедлен. Еще более замедлен он в болотных экосистемах, где постепенно накапливаются мощные слои торфа. В степях круговорот интенсивен и соответствующий индекс приближается к единице, а в саваннах составляет 0,2.

Полнота и интенсивность биологического круговорота веществ очень важны для повышения урожаев сельскохозяйственных растений. Экосистемы, возникающие на возделываемых землях, носят название агроэкосистем. Они сильно модифицированы человеком, но функционируют и развиваются по общим природным законам, с которыми необходимо считаться. Роль продуцентов в агроэкосистемах играют культурные растения. На больших площадях полей выращивают чаще всего по 1 виду, заменяя им природное разнообразие. Сорты культурных растений селекционированы в интересах человека, они не могут выдерживать конкуренцию диких растений, поэтому приходится тратить много энергии и средств на создание для них подходящих условий: рыхление, полив, борьбу с сорняками и т.п. На полях, по законам формирования экосистем, стремительно складываются цепи питания. большие площади растений одного вида стимулируют размножение их специализированных потребителей — фитофагов. Так, на полях пшеницы в большой массе развиваются злаковые тли, шеститочечная и полосатая цикадки, хлебный клопик, злаковые трипсы, хлебная полосатая блошка, яровая и шведская мухи и другие виды сосущих и грызущих насекомых. На них, в свою очередь, кормятся божьи коровки, хищные жуки-стафилины, жужелицы, паразитические перепончатокрылые, муравьи, пауки, птицы и др. Общее число видов насекомых, которые обнаруживаются в стеблестое пшеницы, исчисляются несколькими сотнями. Кроме того, на растениях развиваются разные виды круглых червей — нематод, обильны плесневые грибки, дрожжи, бактерии. Насыщена жизнью и почва. Таким образом, вокруг культурного растения формируются многовидовые биоценозы, которые называют агроценозами. Потребителей культурных растений мы называем вредителями, поскольку они отнимают у человека часть урожая. Борьба с вредителями выгодна только тогда, когда стоимость ожидаемых потерь урожая

превышает стоимость средств, вкладываемых в подавление размножившегося вида. Фитофаги — это второе звено в цепи питания. С экологических позиций, урожай можно спасти и не прибегая к ядохимикатам, а стимулируя развитие третьего звена трофической цепи, т.е. увеличивая численность хищников и паразитов, присутствующих на поле. Этот принцип лежит в основе разработки биологических методов борьбы с вредителями.

Обработка почвы, посев, уход за сельскохозяйственными растениями, борьба с сорняками и вредителями требуют труда и расхода энергии. Агроэкосистемы получают по сравнению с природными, кроме солнечной, дополнительный приток энергии от человека. Без этого энергетического вложения они существовать не могут. Каждое заброшенное поле быстро преобразуется в природную экосистему. Одна из основных сложностей в поддержании агроэкосистем — это сохранение баланса биологического круговорота вещества. С полей удаляются большие массы урожая, содержащие биогенные элементы. Если равноценное количество этих элементов не будет возвращено в почву в виде минеральных или органических удобрений, продуктивность полей быстро падает.

Подробные исследования выявляют гигантскую сложность даже предельно простого агроценоза. Ограждая урожай, мы обрываем множество цепей питания и дисбалансируем сообщество. По существу все усилия по созданию высокой чистой продукции в пользу человека есть борьба «против природы», которая требует много труда, средств и знаний. В современной сельскохозяйственной науке наиболее прогрессивное направление — экологизация производства, т.е. использование таких методов и приемов, чтобы они как можно меньше противоречили природным законам. Излишняя химизация почв, использование сильнодействующих ядохимикатов, а также тяжелой техники — главные препятствия в достижении экологически грамотного земледелия.

Природные экосистемы подвержены процессам саморазвития. Они меняют свой видовой состав, структуру и внешний облик до тех пор, пока в них не установится устойчивое равновесие поступления и расхода энергии.

Закономерный направленный процесс изменения экосистем в результате взаимодействия организмов между собой и абиотической средой носит название сукцессии. Различают первичные и вторичные сукцессии.

Первичные сукцессии ведут к формированию устойчивых сообществ на первоначально безжизненных территориях. Такие участки постоянно возникают на современной суше в результате локальных событий: осыпей в горах, отступания ледников, разрушения скал, образования песчаных наносов, отступания уреза воды на

побережьях и т.п. Сукцессии впервые были проанализированы на примере растительного покрова американским ботаником Ф. Клементсом еще в начале прошлого века. Он выделил ряд этапов этого процесса. 1. Сначала возникает обнаженный участок, на котором еще нет обитателей. 2. Начинается его заселение. На обнажившуюся территорию попадают представители разных видов растений из окружающих биотопов в виде семян, плодов, спор или других зачатков. 3. На следующем этапе идет жесткий отбор видов абиотическими условиями, поскольку не все способны прижиться в этой экстремальной среде. 4. Прижившиеся виды начинают изменять среду своей жизнедеятельностью. растения извлекают из грунта минеральные соединения, включают их в свои тела, оставляют опад, отмершие корни, меняют влагоемкость субстрата, влияют на микроклимат. 5. Полностью освоив и изменив местообитание, растения начинают конкурировать друг с другом, и начинается отбор уже за счет преимущественно биотических факторов. Состав сообщества преобразуется, в него внедряются новые виды, более конкурентноспособные в изменяющейся среде. Естественно, что изменению состава растительности сопутствуют изменения и животного, и грибного, и бактериального мира. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не подберется такой состав сообщества, при котором изменения среды, вызванные деятельностью одних видов, компенсируются другими и весь биоценоз способен поддерживать сбалансированный круговорот вещества. Такая экосистема становится устойчивой и существует до тех пор, пока не изменятся климатические условия или другие внешние силы не выведут ее из равновесия. Завершающий устойчивый этап сукцессии Клементс назвал климаксовым, или климаксом, начальные этапы — пионерными, а весь ряд ведущих к климаксу изменяющихся сообществ — сукцессионной серией.

Основная закономерность сукцессионного процесса — постепенное замедление преобразования экосистем. Первые стадии сукцессионной серии — наиболее быстротечные, неустойчивые. Чем ближе к климаксовому сообществу, тем медленнее совершаются изменения среды и видового состава. Наглядным примером первичных сукцессий служат зарастания стоячих водоемов, когда на их месте постепенно возникают заболоченные участки, затем развиваются травы и кустарники, сменяющиеся лесной растительностью. На глазах человека зарастают отвалы, возникшие в результате строительной деятельности или добычи полезных ископаемых. Вначале сообщества меняются очень быстро. На голых отвалах появляется мать-и-мачеха, на второй-третий

год — бурьянные травы. Через несколько лет они сменяются злаковой растительностью, затем — кустарниками, и постепенно вырастает лес.

Первичные сукцессии — достаточно длительный процесс, поскольку он сопровождается формированием почвы. Климатические сообщества возникают только на той стадии, когда формируется почвенный профиль, соответствующий определенному климату и подстилающей породе. На разных субстратах пионерные стадии сукцессионных серий различаются очень сильно. Например, обрастание голых скал начинается обычно с накипных лишайников, заселение сыпучих песков — с осок и злаков, устойчивых к обнажению ветром их корневой системы, зарастание мелких водоемов — с пышной водной и прибрежной растительности: кубышек, рдестов, рясок, рогоза и т.п. Постепенно в сообщества внедряется все больше общих видов, и на климаксовой стадии они становятся похожими друг на друга. По-настоящему устойчивых сообществ, воспроизводящих себя и не меняющихся в течение столетий, в природе немного. Они формируют типичные экосистемы, характерные для климатических зон и горных поясов: например, ельники средней тайги, дубравы широколиственного пояса, ковыльно-типчаковые степи, мохово-кустарниковые тундры и т.п.

В ходе сукцессий закономерно меняется структура сообществ. На пионерных стадиях экосистемы не сбалансированы. В биоценозах еще не сформировались сложные цепи питания, не заняты все экологические ниши, растительная продукция не полностью используется консументами и редуцентами, накапливается в виде мортмассы и изменяет условия среды. Круговорот веществ не замкнут. Но постепенно в сообществах нарастает видовое разнообразие, происходит более тонкое их расхождение по экологическим нишам, ослабляется конкуренция, увеличивается роль взаимовыгодных, мутуалистических от ношений. Появляются виды с длительными циклами развития. Паразиты и хищники регулируют численность своих жертв. Вся чистая первичная продукция, созданная растениями, перерабатывается множеством грибов, бактерий и животных в пастбищных и детритных цепях питания. Общий прирост биомассы растений в биоценозе приближается к нулю. Круговорот веществ становится сбалансированным.

Кроме первичных сукцессий, формирующих устойчивые экосистемы на первоначально не измененных жизнью участках среды, в природе возникает много вторичных, или восстановительных. Это те изменения сообществ, которые начинаются после частичного нарушения уже сформировавшихся экосистем. Они происходят, например, после лесного или степного пожара, рубки леса, вспашки целины. В

экосистемах во многих случаях сохраняется почва, семена или корни растений, выживают некоторые виды животных. Сообщество снова начинает развиваться в сторону устойчивого, климаксового. В геоботанике такие смены называют демутациями. Например, в средней тайге после пожара или рубок развиваются заросли Иван-чая, малины, затем — мелколиственные породы деревьев, и только под их прикрытием постепенно вырастает и сменяет их ельник. Стадии и последовательность этого процесса может отличаться от первичной сукцессии, например, восстановлению еловых пород могут предшествовать не березняки, а осинники. Восстановительные сукцессии протекают быстрее, чем первичные.

Сукцессии наблюдаются в сообществах и на территориях самого разного масштаба. Зарастают, проходя закономерные этапы, вывалы деревьев в лесах, сугликовины в степях, выбросы кротов, днища высохших луж и т.п.

На этих участках меняется, наряду с растениями все их население. Такие мелкомасштабные сукцессии постоянно протекают во всех крупных экосистемах, восстанавливая локальные нарушения. Во всех случаях, когда в любой системе первичная продукция не равна ее потреблению, начинается сукцессионный процесс, изменяются условия и происходит смена видов.

Экологические сукцессии являются механизмами развития, самоподдержания и восстановления природных экосистем. Знание их законов чрезвычайно важно для рационального природопользования. С одной стороны, сукцессии восстанавливают антропогенные нарушения в природных экосистемах. Восстановление лесов, разнотравной степи, зарастание отвалов, осыпей, оврагов можно ускорить, если грамотно стимулировать эти процессы. На юге нашей страны разработаны технологии, позволяющие за считанные годы превратить деградированную степь в многовидовую, высоко продуктивную. Ограничивать сукцессии могут недостаток воды, семян, насыщенность среды токсичными соединениями. Во всех случаях надо понять природу ограничивающих факторов, чтобы ускорить восстановление почв и растительности.

С другой стороны, чтобы получать урожай, человеку приходится бороться против природных сукцессий. Из экологических законов следует, что экосистема не может быть одновременно устойчивой и накапливать при этом избыток первичной продукции. Все наши агроэкосистемы — поля, огороды, сады — это крайне неустойчивые пионерные сообщества, они требуют постоянной поддержки человеком, а иначе быстро вовлекаются

в природный процесс экологической сукцессии. За сельскохозяйственные урожаи человек платит нестабильностью среды

Грамотная организация ландшафта — это мозаика разнообразных экосистем, как устойчивых, так и пионерных, предназначенных для получения избытка чистой продукции. Поля от горизонта до горизонта антиэкологичны, они должны чередоваться с лесополосами, лесами, перелесками, водоемами, пастбищами, лугами и т.п. Нельзя также, в соответствии со старым оптимистичным лозунгом, превратить всю землю в цветущий сад, это также антиэкологично. Сад — тоже пионерная и нестабильная экосистема, для поддержания которой также придется бороться «против природы». Человек должен поддерживать вокруг себя все то разнообразие экосистем, на котором строится и устойчивость природной среды.

Вопросы к лекции 7.

1. Как соотносятся между собой понятия «биоценоз», «экосистема» и «биогеоценоз»?
2. Почему в экосистемах не может быть круговорота энергии?
3. Что такое первичная и вторичная биологическая продукция?
4. Чем агроэкосистемы отличаются от природных и чем похожи на них?
5. Что такое экологическая сукцессия и каковы ее этапы?

ЛЕКЦИЯ 8. БИОСФЕРА

Понятие «биосфера» ввел в геологию австрийский ученый Э. Зюсс в 1875 г. Классифицируя оболочки Земли, он выделил в них ту область, где существует жизнь. Она охватывает пространство верхних слоев литосферы, всю гидросферу и нижние слои атмосферы. Учение о биосфере связано с именем нашего крупного отечественного ученого, геохимика В. И. Вернадского. Он впервые представил биосферу не только как место пребывания жизни, но и как полностью преобразованную ею часть планеты. Основная идея учения В. И. Вернадского о биосфере — признание жизни мощной и активной силой, не только сравнимой по результатам действия с геологическими явлениями, но и превосходящей их по ряду величин.

Биосфера, по В.И.Вернадскому, приспособлена к жизни и жизнью воссоздаваема. Любой реальный организм неразрывно связан с окружающей средой, и можно отделить

его от нее только мысленно. Через организмы проходят вихри химических элементов из окружающей среды. «Всякий организм ... постоянно, неудержимо, захватывает прямо или косвенно лучистую энергию Солнца и превращает ее в свободную, т.е. способную производить работу, химическую энергию. Значительная часть лучистой энергии Солнца, достигающей земной поверхности, таким образом захватывается и превращается в новую форму. Особенно геохимически важен такой захват зелеными растениями». В геохимии планеты жизнь проявляется совместным действием множества отдельных организмов, а геохимические последствия их деятельности грандиозны.

Для того чтобы иметь возможность изучать роль жизни в геохимии планеты и сравнивать с другими формами нахождения элементов (минералами, горными породами, магмами, водными растворами и т.п.) В. И. Вернадский предложил ввести понятие «живое вещество». «Я буду называть живым веществом, — писал он, — совокупность живых организмов, выраженную в весе, в химическом составе, в мерах энергии и характере пространства... Прилагая новую мерку изучения жизни, совершенно отличную от обычной, мы подходим к явлениям и перспективам, до сих пор невиданным. Сложный эффект мельчайших явлений, не привлекавших до сих пор внимания в биологических науках, принимает неожиданные размеры».

В. И. Вернадский подчеркивал, что жизнь захватывает значительную часть атомов, составляющих материю земной поверхности. Под ее влиянием эти атомы находятся в непрерывном, интенсивном движении. Из них все время создаются миллионы разнообразнейших соединений. И этот процесс длится без перерыва миллиарды лет. «На земной поверхности, — писал В. И. Вернадский, — нет химической силы более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом». Прекращение жизни было бы неизбежно связано с прекращением химических изменений поверхности Земли — биосферы. «С исчезновением жизни на земной поверхности шли бы лишь медленные, от нас скрытые изменения, связанные с земной тектоникой. Они проявлялись бы не в наши годы и столетия, а в годы и столетия геологического времени... Лик Земли стал бы так же неизменен и химически инертен, как является неподвижным лик Луны, как инертны осколки небесных светил, захватываемые притяжением Земли... метеориты... Так жизнь является великим, постоянным и непрерывным нарушителем химической косности поверхности нашей планеты».

Идеи В. И. Вернадского, высказанные ими впервые в 20-х годах XX века, намного опередили состояние современной ему науки и в должной мере были оценены лишь спустя несколько десятилетий, после возникновения учения об экосистемах. Стало очевидным, что биосферу следует рассматривать как самую крупную, глобальную экосистему, поддерживающую себя круговоротом веществ и потоками солнечной энергии. Последующие исследования подтвердили многие положения учения о биосфере.

Биосфера распространена на несколько километров вверх и вниз от поверхности земли и океана. Ее верхняя граница определяется в атмосфере слоем озона — озоновым экраном, защищающим жизнь от губительного коротковолнового ультрафиолетового излучения на высоте 16 - 25 км. Все живое, поднимающееся выше защитного слоя озона, погибает. Однако, химический состав атмосферы выше озонового слоя во многом определяется деятельностью живого вещества. Вся гидросфера пронизана жизнью до самых больших глубин (около 11 км). Вглубь литосферы живые организмы могут проникать до 3-4 км, как показали находки бактерий при глубоком бурении. Здесь ограничивающим фактором является высокая температура глубинных пород и подземных вод, превышающая 100 градусов. Однако и более глубокие породы относятся к области биосферы, поскольку даже в метаморфизированном, переработанном в глубинах Земли виде, они представляют собой слои, созданные когда-то на дне океана при участии жизни.

Все вещество биосферы разделено В.И.Вернадским на четыре категории: косное, живое, биогенное и биокосное. Косное — это совокупность тех веществ в биосфере, в образовании которых живые организмы не участвуют. Биогенное — создается и перерабатывается живыми организмами. Оно концентрирует в себе мощную потенциальную энергию (угли, нефть, известняки, битумы и др.). После его образования живые организмы в биогенном веществе малодеятельны. Биокосное — особое вещество, создается живыми организмами и биокосными процессами, представляя системы динамического равновесия. Живые организмы играют ведущую роль в поддержании свойств биокосных веществ. Ими являются все природные воды, почвы, кора выветривания. Так, вода, лишенная жизни и ее производных — кислорода, углекислоты и т.п. в условиях земной поверхности является телом химически мало деятельным, инертным.

В. И. Вернадский указывал на широкое поле устойчивости жизни и ее «всюдность» в биосфере. Крайние пределы температур, которые выносят организмы, не теряя жизнеспособности (в латентном состоянии) — от практически абсолютного нуля до

+ 180 — 200 градусов — дают интервал почти в 500 градусов. Жизнь существует при давлении от долей атмосферы на большой высоте до тысячи и более атмосфер на больших глубинах, а в экспериментах некоторые формы выдерживают и полный вакуум. Различные виды, особенно бактерий, могут существовать в широком диапазоне химических условий среды: в атмосфере свободного кислорода и полностью без кислорода, в горячих борных источниках, насыщенных растворах поваренной соли, купороса, селитры, в растворах фтористого натрия, сулемы и т.п. Некоторые особо устойчивые формы могут выдерживать даже высокие дозы ионизирующей радиации — бактерии обнаружены в котлах действующих реакторов, а инфузории выдерживают облучение в 3 млн. доз превышающее естественный радиоактивный фон Земли. В биосфере нет мест, которые не были бы заняты той или иной формой жизни, ее нет только в жерлах действующих вулканов.

Наряду с этим жизнь в биосфере распространена неравномерно, мозаично. Она слабо выражена в холодных и жарких пустынях, высоко в горах, в центрах океанов. Высокая концентрация, богатство и разнообразие жизни присущи областям раздела разных сред: газообразной, жидкой и твердой. Жизнь сосредоточена на контакте литосферы и атмосферы (наземная жизнь и особенно — в почвах), атмосферы и гидросферы (поверхностные слои океана), литосферы и гидросферы (дно водоемов). Особенно богаты жизнью области, где почвы, вода и воздух близко соседствуют друг с другом — побережья и мелководья морей, лиманы, эстуарии рек. Места наибольшей концентрации организмов в биосфере В. И. Вернадский назвал «пленками жизни».

Суммарный химический состав живого вещества свидетельствует, что жизнь — это химическое производное земной коры, «плоть от плоти» Земли. По относительному числу атомов в литосфере наиболее распространены (более 1%) :кислород, кремний, алюминий, железо, натрий, водород, кальций, магний, калий. В гидросфере преобладают атомы водорода и кислорода, в атмосфере — азота и кислорода, в живом веществе — водород, кислород и углерод. Живое вещество в основном состоит из элементов, образующих газообразные и растворимые в воде соединения. В живых организмах 99,9% массы приходится на те 14 элементов, которые преобладают и в земной коре (98,9%), хотя находятся в ней в других соотношениях. На воспроизведение тех реакций, которые протекают в организмах с помощью катализаторов — ферментов, потребовались бы в неживой природе огромные затраты энергии.

Живое вещество совершает на Земле огромную геохимическую «работу».

В. И. Вернадский рассматривал биосферу прежде всего как область превращений космической энергии. До него еще К.А.Тимирязев говорил о космической роли зеленых растений. Основная планетарная функция живого вещества — это связывание и запасание, концентрирование солнечной энергии. Эта энергия расходуется затем в большом количестве геохимических процессов. Современными исследователями подсчитано, что ежегодная продукция в биосфере составляет $2,32 \times 10^{11}$ т. Следовательно, только за миллиард лет вся наработанная масса живого вещества весит в 10 раз больше земной коры, а длительность существования жизни на планете, по последним данным — около четырех миллиардов лет. Сжигая в топках уголь, газ или нефть, мы используем солнечную энергию, законсервированную живыми организмами далекого прошлого — мезозойской, палеозойской и протерозойской эры.

Газовая функция живого вещества заключается в создании и поддержании состава современной атмосферы. В настоящее время имеется достаточно много убедительных доказательств того, что атмосфера на ранней Земле была бескислородной и включала другие газы. Считается, что их состав был сходен с теми, которые выбрасывают действующие ныне вулканы. Предполагается преобладание окислов углерода (угарного и углекислого газов), метана, водорода, аммиака, значительные примеси серы и ее соединений, «кислых дымов» HCl и HF и др. Главные составляющие современной атмосферы — молекулярный азот, кислород и углекислый газ — производные жизни. Кислород — самый распространенный в верхних слоях планеты элемент — содержался на древней Земле в связанном виде.

Свободный кислород атмосферы накоплен в процессах фотосинтеза, за счет активности цианобактерий («синезеленых водорослей») и зеленых растений. Другие его источники на Земле, например, фотодиссоциация молекул воды в верхних слоях атмосферы, дают ничтожную массу. В.И.Вернадский отмечал исключительную роль этого соединения в истории биосферы. «Свободный кислород... в форме газа и еще больше в водных растворах играет совершенно исключительную роль во всех химических реакциях земной поверхности. Можно сказать, что он своим присутствием меняет весь их ход...Свободный кислород — самый могущественный деятель из всех известных нам химических тел земной коры. Он изменяет — окисляет — огромное количество химических соединений, он всегда находится в движении, все время вступает в соединения... История всех циклических элементов земной коры определяется их отношением к свободному кислороду». Озон и перекись водорода, присутствующие в

атмосфере, также генетически связаны с жизнью, так как подавляющая масса кислорода, из которой они образуются, является продуктом живого вещества.

Современный растительный покров продуцирует за год 430-470 млрд. т молекулярного кислорода. В пресных и океанических водах этого газа содержится от 9 до 14 мг/л.

Молекулярный азот стал накапливаться в атмосфере за счет окисления поступающего из недр Земли аммиака. Первые количества кислорода, освобождаемого фотосинтезом, шли на окисление газов атмосферы и горных пород. Атомы в молекуле азота объединены очень прочной связью, на разрыв которой требуется много энергии. Атмосферный азот поэтому инертен, трудно вовлекается в реакции. Атмосфера стала его гигантским резервуаром.

Углекислый газ в составе современного воздуха — также почти исключительно производное жизни. Он поступает в атмосферу в результате дыхания многочисленных организмов, включая растения. Наибольшее его количество выделяется живым миром почв. Первоначально углекислый газ попадает в воздушную и водную оболочки Земли в продуктах дегазации мантии, но не накапливается в них. Его удаление происходит главным образом при образовании карбонатов, как химическим, так и биологическим путем, а также при использовании в процессах фотосинтеза. Современные источники углекислого газа из недр планеты поставляют лишь 0,01% от выделенного живыми организмами, а общее содержание в атмосфере составляет около 0,03%

К газам органического происхождения относятся также сероводород, метан и множество других соединений, поставляемых в воздушную среду жизнедеятельностью разных видов. Например, гектар можжевельного или соснового леса может выделить за день до 30 кг летучих веществ — фитонцидов. Продуцируя и потребляя газообразные вещества, организмы биосферы поддерживают постоянство состава воздушной оболочки Земли.

К концентрационной функции живого вещества В. И. Вернадский относил те процессы организма, которые сводятся к избирательному выбору из окружающей среды определенных химических элементов. Часть таких элементов входит в состав тел всех живых существ, а часть — встречается только у определенных групп. У некоторых организмов концентрация отдельных элементов составляет более 10% от веса тела. Такие организмы ученый предложил называть по элементу; кремневые, серные, железные. Кремневыми, например, являются радиолярии, диатомовые водоросли, многие губки.

Железными — железобактерии, до 20% веса которых составляет этот элемент. К магниевым организмам следует относить литотамниевые водоросли, к кальциевым — моллюсков, фораминифер, плеченогих, некоторых ракообразных. При содержании какого-либо элемента, заметно превышающего его концентрацию в окружающей среде и составляющего 1-2 процента от веса тела, организмы относятся к группе богатых этим элементом. Так, богаты кремнием злаки, хвощи; богаты фосфором дрожжи, все позвоночные животные; хлором — растения-солянки; калием — водоросли Макроцистис; йодом — некоторые морские губки, водоросли ламинарии и фукусы. Отмирая и захораниваясь в массе, они образуют скопления этих веществ, формируя горные породы. Органогенные породы давно выделялись геологами : известняковые хребты, состоящие из остатков раковин морских животных, залежи угля. Но в целом роль живых организмов в образовании пород считалась второстепенной. В.И.Вернадский показал большую роль живого вещества в формировании всех осадочных горных пород, включая такие, как глины, пески и др. Он пришел к выводу, что и гранитные породы образовались за счет переплавления осадочных, и в своем начальном происхождении также связаны с влиянием жизни. Многие из пород, концентрирующих отдельные элементы, человек использует как полезные ископаемые: железные руды, бокситы, фосфориты, известняки и многие другие.

Окислительно-восстановительная функция живого вещества также подчеркивалась В. И. Вернадским. В биосфере постоянно идет окисление более бедных кислородом соединений (в почвах, коре выветривания и в гидросфере): солей, закиси железа и закиси марганца, нитрита, сероводорода, азота и др. Эта функция выполняется, прежде всего, бактериями. Восстановительные процессы резко выражены для сульфатов с образованием сероводорода. В результате возникают пирит и другие сульфиды, образующие часто крупные скопления и залежи в земной коре.

Биогенное перемещение атомов — также одна из функций живого вещества на планете. Кроме вовлечения в химические реакции, вещества перемещаются живыми организмами и в пространстве. Растения выносят химические элементы из почвы на ее поверхность, формируя свои тела порой до десятков метров в высоту. Перемещают большие массы почвы и грунтов роющие животные. На далекие расстояния разносят вещество летающие организмы. Эти процессы, умноженные на время, выявляют грандиозные масштабы происходящего.

Одна из важнейших биогеохимических функций на Земле — деструкционная. Она заключается в разложении создаваемой биологической продукции и возвращении биогенных элементов в окружающую среду. В осуществление этого процесса включено огромное разнообразие живых организмов. Многие органические соединения (целлюлоза, лигнин и др.) обладают высокой прочностью и устойчивостью, они не разрушаются в природе в отсутствие редуцентов. На планете постоянно идет гигантская работа по минерализации созданного органического вещества. Параллельно протекает процесс гумификации: часть промежуточных продуктов распада в результате деятельности разных групп организмов вступает в новый синтез, образуя гумус — сложный комплекс веществ, богатых энергией. Гумус является основой почвенного плодородия. Он разлагается определенными микроорганизмами очень медленно и постепенно, обеспечивая постоянство и надежность в снабжении растений биогенными элементами.

Продукты минерализации органических веществ, растворяясь в природных водах, многократно усиливают их химическую активность в разрушении горных пород.

Стабильность биосферы основывается на биогеохимических круговоротах веществ.

Глобальный биогеохимический круговорот вещества представляет собой систему сложно переплетенных циклов химических элементов. Круговороты планетарного масштаба создаются из бесчисленных циклических перемещений атомов, движимых жизнедеятельностью организмов в отдельных экосистемах, и тех перемещений, которые вызываются причинами геологического и ландшафтного характера: поверхностный и подземный сток, ветровая эрозия, вулканизм, горообразование, движение морского дна и т.п. Различают малые и большие круговороты, т.е. локальные и общепланетарные.

Биологические круговороты характеризует неполная замкнутость. Часть химических элементов и их соединений выпадает из общей циркуляции и скапливается вне живых организмов. Так постепенно накапливались кислород и азот атмосферы, горючие ископаемые, осадочные породы. Незамкнутость циклов может быть ничтожной, но помноженная на геологическое время, она приводит к глобальным эффектам, к изменениям состояния и структуры биосферы. Современная биосфера сильно отличается от биосферы прошедших времен, когда, например, господствовали только микроорганизмы, или когда сложная жизнь была развита только в океане.

Главным для биосферы является цикл органического углерода.

Биологический цикл углерода определяется первичной продукцией организмов за счет фотосинтеза растений и цианобактерий, частично — хемосинтезирующих бактерий и

последующей деструкцией созданного органического вещества всеми, как аэробными, так и анаэробными организмами. Конечный продукт деструкции — углекислый газ, связывающий цикл органического углерода с неорганическим и с циклом кислорода. Основные запасы углерода находятся в связанном виде в осадочных породах Земли (в основном в составе карбонатов), значительная часть растворена в водах океана, и относительно небольшая часть присутствует в составе воздуха. Общие пропорции углерода в литосфере, гидросфере и атмосфере, по уточненным расчетам, 28570: 57: 1.

Таким образом, в биологическом круговороте участвуют лишь доли процента от общего его количества на Земле. Атмосфера и гидросфера представляют обменный фонд, откуда его черпают зеленые растения. Выделение углерода из недр Земли в составе вулканических газов примерно равно скорости погружения его вглубь литосферы в составе осадочных пород, т.е. большой геологический цикл углерода уравновешен. Из биологических круговоротов на суше и в океане часть углерода надолго выводится из-за недостаточной скорости деструкционных процессов. Так образуются залежи горючих ископаемых, обогащение органическим углеродом осадочных пород и смыкание большого и малого круговоротов. Временным резервуаром углерода являются тела долгоживущих организмов и запасы мертвой органики (мортмассы), еще не успевшей разложиться, и почвенного гумуса. В растительном покрове суши связано $4,5 \times 10^{11}$ т С, в почве — 7×10^{11} т. Экосистемы могут оказаться накопителями органического углерода даже при низкой продуктивности, все определяет отставание скорости разложения от скорости создания органического вещества. К таким экосистемам относятся, например, болота, моховые тундры, таежные леса с большим запасом подстилки.

Суммарная биомасса организмов зависит от количества углерода, участвующего в системе биологического круговорота. Известную регуляторную роль играет растительность, которая способна до некоторых пределов поглощать избыток углекислого газа воздуха и резервировать углерод в своих телах, увеличивая продуктивность и биомассу. Углекислый газ относится к парниковым, и даже небольшое увеличение его содержания в воздухе может заметно повлиять на средние температуры и климат Земли. Поэтому уменьшение суммарной массы растительности, особенно лесной, при современных масштабах антропогенного уничтожения лесов, грозит подрывом тонкого равновесия в цикле органического углерода, связанного и с циклами многих других веществ в биосфере.

Кислород. Находится в основном в составе воды и минералов. Это самый распространенный химический элемент на Земле. Свободный молекулярный кислород накапливается в биосфере как побочный продукт фотосинтеза и используется на дыхание организмов и окисление всех недоокисленных веществ на поверхности Земли. Растворимость кислорода в воде невелика, его концентрация, при полном насыщении, в среднем в 21 раз ниже, чем в воздухе. Резерва, имеющегося в воздушной среде, при прекращении фотосинтеза хватило бы не более чем на 2000 лет. Накопление O_2 в атмосфере и гидросфере происходит в результате неполной замкнутости цикла углерода. Захоронение органики в осадочных породах, углях, торфах послужило основой поддержания обменного фонда O_2 в атмосфере. Современное человечество усиленно «работает» на уменьшение запасов свободного кислорода в биосфере. Этому способствует сведение лесов и беспрецедентное связывание O_2 за счет сжигания топлива промышленностью и транспортом. Оно достигло уже почти 14 млрд. т в год, что составляет почти тридцатую часть поставляемого растительностью кислорода, т.е. вполне сопоставимо по масштабам с биосферными процессами.

Азот. Входит в состав важнейших органических молекул — ДНК, белков, липопротеидов, АТФ, хлорофилла и др. Его общее отношение к углероду в биомассе составляет 16:106. Недостаток азота часто является фактором, лимитирующим биологическую продукцию. Молекулярный азот атмосферы недоступен растениям. Ассимиляция ими азота возможна только из его связанных форм — аммиака, нитратов, мочевины. Биологический круговорот азота поэтому целиком поддерживается деятельностью бактерий. Многие из них обладают способностью к фиксации атмосферного азота. Этот процесс требует больших затрат энергии на разрыв прочных связей между двумя атомами азота. Аммонифицирующие бактерии, разлагая органическое вещество, переводят азот в аммиачную форму, а продолжающие этот процесс нитрификаторы окисляют его до нитритов и нитратов. Денитрифицирующие бактерии завершают цикл, освобождая азот из нитратов и переводя вновь в молекулярную форму. Растения, усваивая азот на потоке его превращений бактериями, не могли бы существовать без бактериальной системы этого круговорота.

Независимый от жизнедеятельности бактерий механизм вовлечения молекулярного азота в биологические циклы — разряды молний, способствующие возникновению аммиака и нитрата. Однако, эти процессы не восполняют потерь при денитрификации. Современная промышленность удобрений фиксирует азот атмосферы в количествах,

превышающих природную азотфиксацию. Избытки нитратов, поступающих через загрязнение вод и продуктов питания к человеку, угрожают его здоровью. Деятельность человека все сильнее влияет на круговорот азота в природе.

Фосфор. Входит в состав нуклеиновых кислот, энергетических молекул АТФ и АДФ, фосфолипидов клеточных мембран, скелетных тканей животных. Его среднее отношение к органическому углероду в биомассе составляет 1 : 106. Специфика круговорота фосфора связана с тем, что он не образует летучих соединений и плохо растворим в воде. Источником доступного растениям фосфора является в основном его выщелачивание из подстилающих почвы горных пород. На суше из разлагающейся органики соединения фосфора возвращаются в почву, но частично вымываются в водоемы и, в конечном счете, в океан. В воде они почти не остаются в растворенном виде, а захораниваются в осадках, переходя в систему геологического круговорота. Дефицит фосфора в центрах океанов — один из главных лимитирующих факторов продуктивности водорослей в фотическом слое. Но и у берегов континентов в морских экосистемах жизнь рассчитана на невысокие концентрации фосфора. В биосфере, по сути дела, осуществляется однонаправленный поток фосфора из горных пород суши в глубины океана, и обменный фонд его в гидросфере очень ограничен. Промышленное производство фосфорных удобрений усиливает поступление этого элемента, через смыв с полей, в пресные водоемы и является одной из главных причин их бурной эвтрофикации, а также грозит нарушением природного равновесия в морях.

Все биогеохимические циклы элементов связаны друг с другом в общую систему, поскольку атомы, имеющие разную «судьбу» в атмосфере, гидросфере и литосфере, вступают друг с другом в реакции, объединяясь в разных пропорциях в составе органических молекул.

Все химические элементы, используемые в процессах жизнедеятельности организмов, совершают постоянные перемещения, переходя из живых тел в соединения неживой природы и обратно. Возможность многократного использования одних и тех же атомов делает жизнь на Земле практически вечной при условии постоянного притока нужного количества энергии. Однако формы жизни меняются и влияют на геологическую историю.

Историю Земли делят на три большие отрезка — архей (первые два миллиарда лет ее существования), протерозой (следующие два миллиарда лет) и фанерозой, который начался около 570 млн. лет назад. В архее господствовали бактериальные формы жизни

при отсутствии озонового экрана над Землей. Образующийся в результате фотосинтеза цианобактерий кислород шел на окисление восстановленных и недоокисленных соединений в атмосфере и гидросфере. В протерозое началось накопление свободного кислорода, приведшее к расцвету аэробных эукариотических одноклеточных организмов (простейших и водорослей), а к концу протерозоя — и многоклеточных форм. Фанерозой начался со взрывного образования многоклеточных скелетных животных, в возникновении которых большую роль сыграло дальнейшее увеличение концентрации кислорода в атмосфере и воде. Формирование в результате этого полноценного озонового экрана сделало возможным выход сложных форм жизни на сушу, возникновение растительного покрова, уменьшение сноса в океан продуктов эрозии. Почти 370 млн. лет на суше шумят леса, но сначала они состояли из споровых растений, а затем сменились голосеменными и покрытосеменными. Почвы из примитивных сначала пленочных сменились, под первыми лесами, полуводными образованиями, в анаэробных условиях которых шло захоронение древесины с последующим превращением в каменные угли. В современных почвах, имеющих развитый профиль, господствуют аэробные процессы разложения органики, идут активные процессы минерализации и образуются резервы гумуса. Жизнь на Земле, с одной стороны, вечна, а с другой — изменяема.

Процессы изменения биосферы многократно усилились с возникновением и развитием человеческого общества. Они идут по нарастающей, быстро ускоряющимися темпами. Угрожающе увеличивается риск сбоев в природной саморегуляции устойчивости биосферы. Перед современным человечеством встает вопрос о саморегуляции в меняющемся мире, поскольку масштабы его отрицательного влияния на окружающую среду сравнимы с биосферными процессами. В связи с этим в центр внимания выдвигается идея «устойчивого развития», провозглашенная в 1992 г. на Международном форуме в Рио-де-Жанейро. Мировому сообществу приходится решать задачи, по масштабам не имеющие себе равных в истории человеческого общества. Становится понятным, что человечество может продолжать развиваться на планете только при условии принятия в расчет экологических ограничений, на которых основывается стабильность всей биосферы. Международные рекомендации всем государствам — развитие экологической политики, в основу которой должны быть положены:

1. содействие восстановлению ресурсов, предельно экономному использованию из них невозобновимых и переход на технологии. потребления в основном возобновимых со строгим соблюдением норм их изъятия; 2. жесткие нормы предельного загрязнения среды

с развитием новых технологий, способствующих снижению этого загрязнения; 3. охрану редких экосистем и видов, сохранение биологического разнообразия планеты, с достаточной мерой ответственности за нарушения.

В целом вопрос стоит о том, как вписать экономическое развитие общества в экологические ограничения биосферы. Отсюда вырастает роль развития экологической науки и экологического образования. Не нарушать природное равновесие в такой грандиозной по сложности природной системе как биосфера можно только хорошо зная закономерности ее функционирования. Надо уметь определять емкость среды, устанавливать формы и пределы допустимого воздействия, чего нельзя сделать без опоры на фундамент знаний, собираемых кропотливым трудом ученых.

Естественно, что необходимым условием устойчивого развития общества является достаточно высокая экологическая культура населения. Еще в 1977 г. на Международной конференции в Тбилиси было признано необходимым и приоритетным экологическое и природоохранное просвещение всех социальных и возрастных групп населения, т.е. «непрерывное экологическое образование».

Решение экологических проблем связано, прежде всего, с осознанием всем населением планеты масштабов надвигающейся экологической катастрофы, важности обеспечения экологической безопасности, охраны природы и изменения всего стиля хозяйствования человечества на Земле. В .И. Вернадский оптимистично отмечал приближение «ноосферы» — времени, когда биосферные процессы будут регулироваться разумом человека. Глобальное влияние человека на биосферу уже наглядно проявляется, и в основном отрицательно, но до разумной регуляции мощных природных сил пока еще далеко, хотя человечество уже знает, в каком направлении надо действовать. Очевидно, что это требует гигантских объединенных усилий науки, экономики, политики и просвещения.

Вопросы к лекции 8.

1. Что такое биосфера? В чем основная суть идеи биосферы В. И. Вернадского?
2. Как сформировался газовый состав современной атмосферы?
3. Какие изменения произвела жизнь на планете за время ее существования?
4. В чем заключаются главные механизмы устойчивости жизни на Земле?
5. Почему для человечества главным становится вопрос своего «устойчивого развития»?