

Природные сообщества

Никита Мурзин, Виталий Лысцов



Использование при обработке фотографий фильтра «Emboss» позволяет выявить сложную структуру природных сообществ, определить их формы и размеры. Пример: на переднем плане – фация кубышки желтой, Рязанская область, озеро Негарь. Фото: Н.Мурзин.

Жизнь экосистем

Понятие «экосистема» — важнейшее и для аквариумистов, и для современных натуралистов и естествоиспытателей. Аквариум — маленькая «вселенная за стеклом», микрокосм, но сколько труда, и очень часто безуспешного, необходимо вложить в это рукотворное чудо! А Природа создает свои «аквариумы» и поддерживает в них жизнь без видимых усилий. Естественные сообщества регулируют свою жизнь сами. Впервые термин «экосистема» для обозначения саморегулирующегося сообщества природных организмов предложил в 1935 году английский ученый А.Тэнсли, и с тех пор это слово постоянно на слуху.

Экосистемы, биоценозы и биогеоценозы

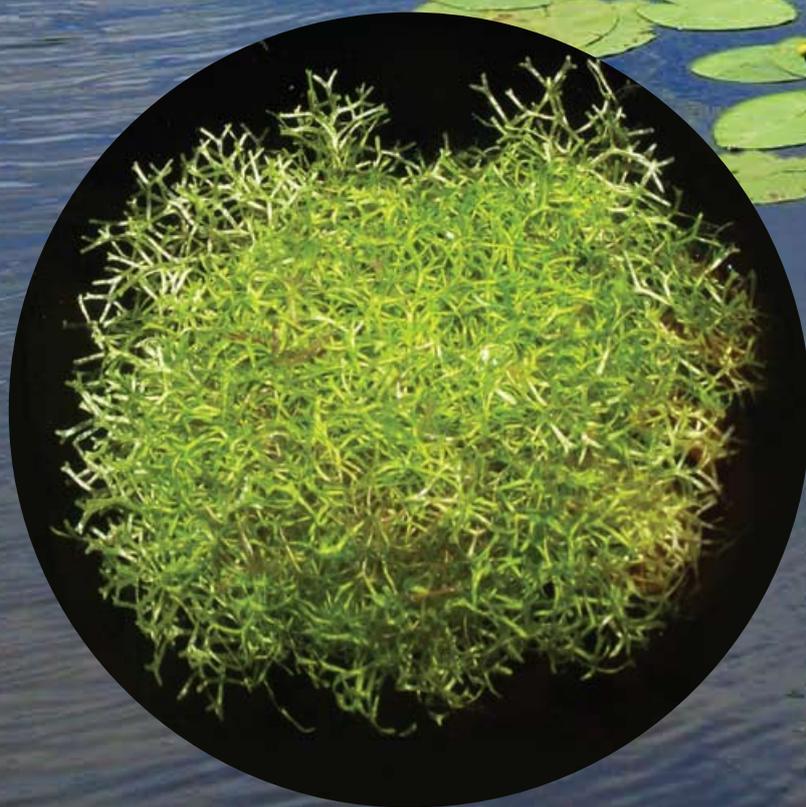
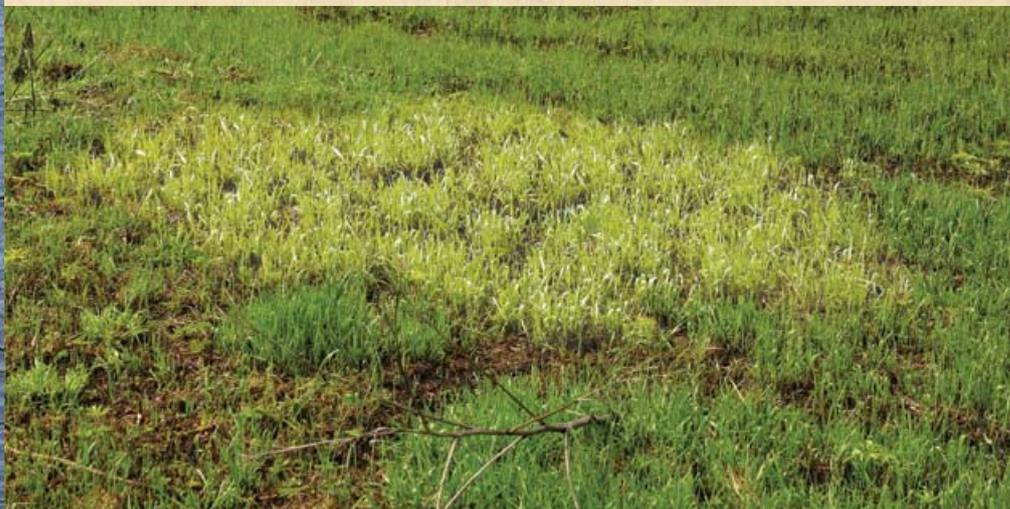
Экосистема — это саморегулирующаяся сообщество живых организмов, рассматриваемая как единое целое вместе со средой их обитания. Они повсюду, от маленького кустика травы до озера, леса — и, наконец, наша планета — тоже экосистема. Основой природных сообществ являются, как правило, растения, создающие «живое вещество» из воды, углекислого газа за счет энергии солнечного света. Прочие живые существа живут либо за счет своих соседей, либо за счет веществ в окружающей среде, которые эти соседи производят. Каждая природная экосистема — это сложная технологическая линия по трансформированию запасаемой солнечной энергии в легкодоступную энергию химических связей синтезируемых органических веществ. Живые организмы взаимодействуют между собой, формируя сложную структуру взаимозависимостей. Сходные по своим свойствам живые организмы взаимодействуют с другими ком-

понентами экосистемы сходным образом, образуя для стороннего наблюдателя ясно выделяемое множество.

Экосистема — наиболее общее название для таких множеств. Кроме него, часто используются термины «биоценоз», введенный немецким ученым К.Мебиусом в 1877 году, и «биогеоценоз», предложенный русским ученым В.Сукачевым в 1944 году. Под биогеоценозом принято понимать саморегулирующуюся совокупность взаимодействующих живых организмов со средой их обитания в пределах занимаемой этими организмами территории. По сути, это — наземная экосистема. Биоценозом называется сообщество взаимодействующих живых организмов, населяющих участок суши или водоёма. Биоценоз — только часть экосистемы, которая объединяет помимо животных, растений, грибов еще и среду их обитания — почву или грунт, приземный слой воздуха или толщу воды.



Фацци на заброшенном поле в конце апреля и в середине мая. Подмосковье. Фото: Н.Мурзин.



Консорция риччии (*Riccia* sp.). Подмосковье. Фото: Н.Мурзин

Ранг экосистемы

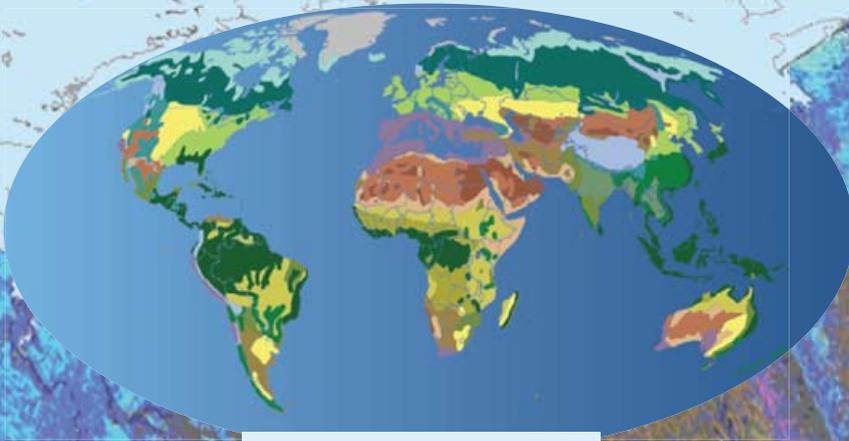
В окружающем мире растения и животные существуют в строго организованных сообществах. Таким сообществом является даже отдельно произрастающий кустик травы. Его жизнь обеспечивается сложным комплексом микроорганизмов почвы, потоками энергии и вещества извне и удалением всего ненужного куда-нибудь подальше. Самая маленькая экосистема — консорция — просто сообщество небольших живых существ, микроорганизмов или мельчайших беспозвоночных, живущих вокруг или внутри более крупного живого существа, для внешнего наблюдателя представляющего всю консорцию. Таким «представителем» может быть растение или небольшая колония кораллов, губок. Размеры консорций невелики, от нескольких сантиметров до метра в диаметре. Их биомасса не превышает десятка килограммов.

Более крупными экосистемами являются фации, объединения взаимодействующих консорций. Они характеризуются значительной биомассой (до десятка тонн) и могут поддерживать более сложную структуру взаимоотношений между организмами. Ресурсов фации уже хватает для поддержания жизнедеятельности многих беспозвоночных, которые входят в фацию как самостоятельные единицы, обеспечивая взаимодействие отдельных консорций. Поддерживая большее видовое разнообразие, фация имеет значительно более высокую устойчивость к неблагоприятным внешним воздействиям по сравнению с консорцией.





Чередование озерных и лесных биотопов формирует ландшафт. Западная Сибирь.



Биомы суши в биосфере Земли.

Биомасса биотопов, как объединения взаимодействующих фаций и консорциев, может достигать десятка тысяч тонн и значительно превосходить биомассу формирующих его сообществ. Биотоп обладает еще большим разнообразием видов живых организмов и значительной устойчивостью к неблагоприятным воздействиям. Биотопы объединяются в ландшафты, совокупность которых формирует экосистему региона (как правило, вокруг бассейна крупной реки), которые складываются в экосистему природно-климатической зоны, биома. Объединение биомов — это ткань, из которой создана самая крупная из известных нам экосистем — биосферу Земли.

Положение экосистемы в этой строгой иерархии называется рангом. Сложноорганизованные группы (стада травоядных, стаи или охотничьи группы хищных) животных требуют для своей жизнедеятельности экосистему рангом не ниже ландшафта, а крупные морские млекопитающие (киты и касатки) — не ниже биома. Естественно, при снижении ранга экосистемы (например, с единой экосистемы биома до набора несвязанных друг с другом региональных экосистем) снижается и доступность пищевых ресурсов. При этом виды животных, жизнедеятельность которых обеспечивается рангом не менее биома, окажутся под угрозой вымирания, несмотря на кажущийся достаток пищевых ресурсов и внешне благоприятные условия обитания. Возможно, именно в этом кроется одна из причин вымирания осетровых рыб, амурских тигров и иных редких видов животных.

Форма экосистемы

Форма экосистемы определяется формирующими ее организмами и физико-химическими условиями окружающей их среды. Условно можно выделить две основные формы экосистемы до ранга ландшафта — линейную и округлую. Линейная форма встречается у речных, литоральных, пограничных (например, на границе между полем и лесом) и многих антропогенных фаций и биотопов (лесозащитные полосы, придорожные биоценозы и так далее). Ландшафты и региональные экосистемы имеют форму, соответствующую форме водосборного бассейна соответствующей реки или водоема. Форма экосистемы важна экологам для правильного описания процессов переноса энергии и различных веществ.



Линейная форма биотона, сформированного (последовательно от воды к суше) фациями рогоза и камыша, ивы и ольхи, разнотравьем. Калужская область, река Угра. Фото: А.Подарин.



Как организмы объединяются в экосистему

Живые организмы, взаимодействуя между собой, образуют сообщество. Конечно, отношения между ними очень разнообразны, одни — взаимовыгодны, другие несут выгоду только одной из сторон. Важнейшие взаимодействия в экосистеме — пищевые, или трофические, — являются тем скелетом, вокруг которого «нарастают» все остальные виды взаимоотношений, управляющие непрерывным потоком энергии и вещества. Травоядные животные постоянно нуждаются в пище, производимой будто бы для них растениями, помогая друг другу или конкурируя за пищу, чтобы послужить пищей хищным, которые и в свою очередь послужат пищей для следующих звеньев пищевой цепи.

Структура экосистемы, сформированная взаимоотношениями живых организмов, предназначена природой для переноса и накопления солнечной энергии в виде живого вещества. Основная функция природных экосистем — наиболее эффективное, при данных физико-химических условиях окружающей среды, производство живого вещества из солнечной энергии и доступных минеральных и органических ресурсов.

Определить количество живого вещества в экосистеме трудно. Обычно измеряют биомассу — суммарную массу всех живых организмов экосистемы. В отличие от «живого вещества» экосистемы, в состав биомассы входят и неусвоенная пища, и отмершие ткани, и продукты выделения, остающиеся внутри живых организмов экосистемы в момент наблюдения. Полная биомасса земной биосферы оценивается примерно в две с половиной — три с половиной тысячи миллиардов тонн сухого вещества, а ежегодное производство — не более сотни миллиардов тонн.

Живое вещество

Отмершие ткани

Неусвоенная пища

Невыведенные продукты метаболизма

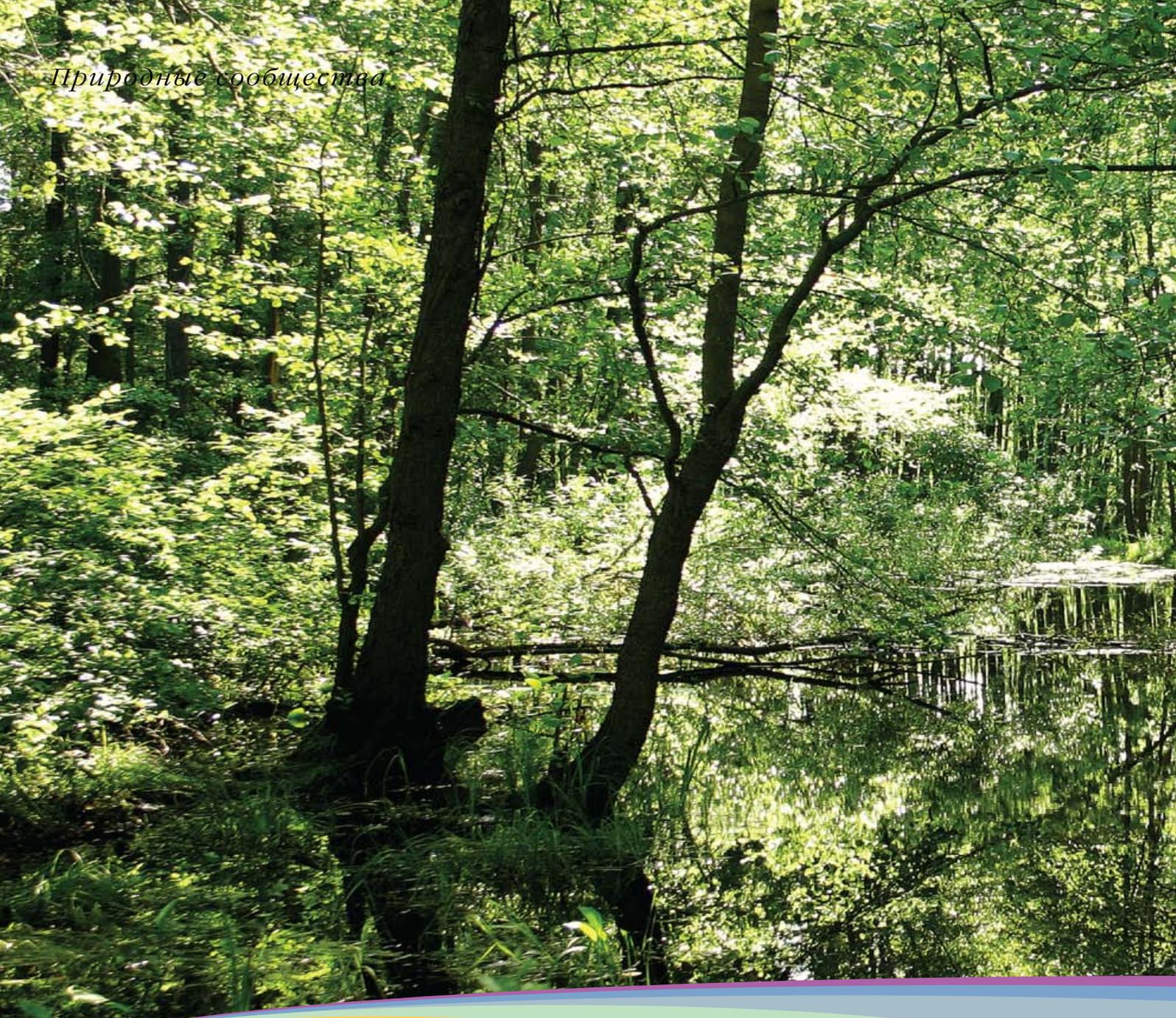
БИОМАССА

Закон «экологической пирамиды»

Поскольку лишь часть первоначально произведенной биомассы является пищевым ресурсом для формирования живого вещества следующих звеньев пищевой цепи, вездесущий закон сохранения энергии превращает экосистему в своеобразную экологическую (трофическую) пирамиду: биомасса каждого следующего трофического уровня не превышает десятка процентов биомассы предыдущего.



Биотон из фаций камыша и кувшинки. Москва, Воронцовские пруды. Фото: Н.Мурзин.



Консорция - до 1 м

Фация - до 20 м

Биотоп - от 20 до 200 м

Ландшафт - до 10 км

Структура наземной экосистемы формируется организмами-продуцентами. Как правило, это растения, производящие живое вещество из воды и углекислого газа атмосферы за счет солнечной энергии. Так они создают пищевые ресурсы для растительноядных животных, называемых первичными консументами, которые, в свою очередь, пища для хищных животных (вторичных консументов). Неусвоенная пища, отмершие ткани и продукты выделения их всех служат пищей для целой группы бактерий, грибов и животных, называемых редуцентами. Они

возвращают часть содержащиеся в этих «отходах» веществ в исходное состояние, углекислый газ и воду. Таким образом, природная экосистема — круговорот неорганического, органического и живого вещества, приводящийся в движение энергией Солнца.

По главенствующей роли этапов этого круговорота можно выделить три типа экосистем. В экосистемах первого типа главную роль играет производство живого вещества из минеральных ресурсов, углекислого газа и воды. Это биогеоценозы, некоторые пресноводные и морские



Региональный ландшафт - до 100 км

Биом - от 100 до 5000 км

Биосфера - до 20000 км

биоценозы. В экосистемах второго типа основная масса живого вещества образуется из поступающего, как правило, извне органического вещества. Это большинство водных экосистем. К третьему типу, сформированному смешением в различных пропорциях первых двух, относится большинство региональных природных экосистем, биомы и земная биосфера в целом.

Если главная задача природных экосистем — наиболее эффективное производство живого вещества, то экосистемы, сформированные человеком, предназначены не для производства

живого вещества вообще, а лишь его определенной доли, полезной для человека — «урожая». Естественно, такие системы принципиально неустойчивы, недолговечны и неспособны к самостоятельному существованию без постоянного вмешательства человека. Хотя «урожай», получаемый в искусственных экосистемах, выше, чем в аналогичных природных экосистемах, продуктивность искусственных экосистем (производство биомассы на единицу площади за сезон) и их устойчивость к неблагоприятным изменениям, как правило, ниже.



Жизненные принципы природных сообществ

Животные каждого трофического уровня взаимодействуют таким образом, чтобы каждая экологическая ниша оказалась заполненной собственными консументами, а пищевой ресурс наиболее эффективно использовался для производства живого вещества. Растения, в свою очередь, заполняют все доступное пространство, чтобы наиболее эффективно использовать свои главные «пищевые» ресурсы — углекислый газ, воду и свет, образуя при благоприятных обстоятельствах непрерывную «мозаику» соприкасающихся друг с другом консорций и фаций.

Каждая ступень «экологической пирамиды» содержит несколько пищевых ресурсов для следующего уровня, каждый из которых наиболее эффективно использует один из видов консументов. Между организмами, потребляющими один и тот же пищевой ресурс, происходит жесткая конкуренция, а если организмы потребляют различный пищевой ресурс, между ними устанавливаются нейтральные отношения. Таким образом, каждый трофический ресурс формирует собственную «экологическую нишу», с точки зрения потребителей этого ресурса изолированную от прочих экологических ниш. Естественно, не все «обитатели» экологической ниши способны использовать ее ресурс максимально эффективно, и потому в результате бескомпромиссной конкурентной борьбы между ними неизбежно «останется только один». Эта закономерность называется по имени советского ученого-эколога Г.Ф.Гаузе.

Естественно, эффективность использования ресурса экологической ниши сильно зависит от условий («экологических факторов») внешней среды, прежде всего температуры, кислотности, концентрации кислорода, углекислоты и важнейших химических элементов. Изменения этих факторов, приводящие к смене одного обитателя «экологической ниши», называется «диапазоном толерантности» первоначального вида, а изменения, делающими невозможным использование данной ниши — диапазоном существования экосистемы.

Каждый живой организм экосистемы имеет собственный диапазон толерантности, который для совместного существования различных живых существ должен соответствовать их диапазонам толерантности. Рост и развитие каждого живого существа в экосистеме при этом определяется именно тем фактором, значения которого находятся ближе всего к границам толерантного диапазона. Эта закономерность называется принципом Либиха – Шелфорда.



Если значения экологического фактора выходит за пределы толерантного диапазона, вид обречен на вымирание, а его место в экологической нише займет новый, более приспособленный к сложившимся условиям. Практически в этом случае происходит изменение и самой экосистемы, которая может быть очень сходна с предыдущей, но будет неизбежно отличаться составом видов и видовым биоразнообразием. При значительных изменениях живые организмы уже не смогут пользоваться пищевыми ресурсами с достаточной для их выживания эффективностью, и экосистема погибнет. Эта закономерность

последовательной смены одних экосистем на другие, схожие с предыдущими, вплоть до окончательной гибели сообщества, получила название принципа Холлинга.

При благоприятных условиях число экологических ниш в сообществе велико, и поэтому велико биологическое разнообразие. Общее число видов в сообществах тем выше, чем выше ранг и больше биомасса сообщества. Чем больше разнообразие видов в экосистеме, тем эффективнее она использует ресурсы окружающей среды, тем стабильнее и устойчивее экосистема к внешним воздействиям. Эта закономерность называется принципом Эшби.

Принцип конкурентного исключения Гаузе

Два вида не могут устойчиво сосуществовать одновременно в ограниченном пространстве, если они занимают одну экологическую нишу.

Принцип Либиха - Шелфорда

Рост и развитие живого организма определяется тем экологическим фактором, чье значение находится ближе всего к границе толерантной зоны

Следствиями принципа Либиха - Шелфорда

являются принцип оптимальности:

Любая экосистема функционирует с наибольшей эффективностью в некоторых характерных для нее пространственно-временных пределах.

и принцип экологической ниши:

Каждый биологический вид адаптирован к специфичной для него совокупности условий существования, называемой «экологической нишей».

Принцип Холлинга

При внешних воздействиях живые организмы или формируют то сообщество, толерантный диапазон которого наиболее близок к сложившимся в результате воздействия новым условиям, или погибают, если такое сообщество не может быть сформировано.

Принцип Эшби

Стабильность и устойчивость экосистемы тем выше, чем больше видовое разнообразие.



Принцип Холлинга: биотон, сформированный исключительно фациями хвоща приречного (вид-эдификатор), вблизи уреза воды обогащается на заливном лугу осоками, а в воде – перистолистником и рдестами. Новгородская область, озеро Верхнее.
Фото: Н. Мурзин





мхи, лишайники

травы

кустарники

поросль

лиственный
лес

Взрождение и старение экосистем

Любое сообщество непрерывно изменяется, приспособляясь к изменениям внешней среды. Поскольку жизнедеятельность живых организмов меняет их среду обитания, то изменения внешней среды разделяют на аллогенные, не связанные с жизнедеятельностью экосистемы, и автогенные, вызванные деятельностью экосистемы. Например, возникая на мертвом грунте, растения-первопроходцы («пионерные» консорции) производят живое вещество, которое, отмирая, насыщает бедный грунт органическими соединениями. Постепенно формируется почва и возникают условия для замещения пионерных сообществ более сложными. Это — автогенные изменения.

Вот и пример аллогенных изменений: лесные таежные экосистемы подвержены пожарам, уничтожающим лес, но высвобождающим запасенные деревьями минеральные вещества. Аллогенное изменение экосистем связано с естественными, в том числе катастрофическими событиями.

На одной и той же территории или акватории с течением времени одни экосистемы замещают другие. В отсутствии катастроф и антропогенного воздействия происходит плавная смена одних сообществ другими с более сложной структурой, с более эффективным производством живого вещества. Каждое сообщество само определяет и условия существования замещающего, и причины собственного исчезновения. Такой причиной может

Типичная лесная сукцессия. Подмосковье. Слева направо: заброшенный луг; кустарники и мелколесье (около 10 лет спустя); березовый лес (20 – 40 лет спустя); смешанный лес; хвойный лес вблизи климакса (60 – 70 лет спустя). Подмосковье. Фото: Н.Мурзин.



смешанный лес

хвойный лес

климакс

быть и накопление вещества или энергии, которые сообщество уже не в состоянии включить в свой «технологический круговорот», и сопутствующее преобразование окружающей среды. Процесс автогенного замещения одних сообществ другими называется сукцессией. Естественное замещение одной экосистемы на другую может занимать как довольно длительные (десятилетия), так относительно короткие (несколько лет) промежутки времени. Каждая экосистема в ряду последовательных автогенных замещений становится просто одним из этапов сукцессии. Последний из этапов сукцессии называется климаксом.

На ранних этапах сукцессии число видов в сообществе мало, но по мере развития видовое разнообразие увеличивается, и в сообществе проявляется весь спектр взаимоотношений между

элементами экосистемы. Климаксное сообщество максимально устойчиво, поскольку имеет множество специализированных видов и стабилизированные круговороты необходимых биогенных веществ и энергии. Предыдущие этапы сукцессии обладают меньшей устойчивостью. Чем ниже этап сукцессии, тем выше риск гибели сообщества вследствие неблагоприятных аллогенных изменений и антропогенного воздействия. В процессе сукцессии изменяется ранг экосистем. Если пионерные сообщества — это просто набор отдельных консорций, то в процессе развития эти консорции начинают взаимодействовать, образуя фации, взаимодействующие фации формируют биотопы, и так далее. Чем выше этап сукцессии, тем совершеннее экосистема интегрирована в биосферу всей планеты.

Экологическая безопасность и проблемы защиты природы

В климаксом сообществе практически вся его продукция тратится на поддержание собственной жизнедеятельности. Естественно, в каждый момент времени эта продукция не равна потерям на поддержание жизнедеятельности: в благоприятные периоды времени продукция больше, а в неблагоприятные — меньше, чем эти потери. Очевидно, что в зависимости и от периода времени, и от стадии сукцессии будет различна и уязвимость экосистемы к неблагоприятным воздействиям. Так как жизнь экосистемы прямо связана с производством живого вещества, наиболее очевидный отклик экосистемы на такое воздействие:

- уменьшение территории/акватории экосистемы и, возможно, снижение ранга экосистемы;
- увеличение потерь на поддержание жизнедеятельности и, возможно, ее замещение на оптимальную в новых условиях в соответствии с принципом Холлинга;
- уменьшение биомассы/производства биомассы и, возможно, снижение сукцессионной стадии в сторону пионерного сообщества.

Уменьшение территории экосистемы прямо связано с уменьшением биомассы, уменьшением числа экологических ниш и неизбежным снижением биоразнообразия. Уменьшение биомассы экосистемы неизбежно приводит к увеличению межвидовой и внутривидовой конкуренции и сопутствующих потерь на поддержание жизнедеятельности. Если подобная ситуация затянется, часть видов из экосистемы исчезнут в результате проигрыша в конкурентной борьбе, а часть — из-за изменения условий окружающей среды с толерантных на неблагоприятные.

Многие экологические проблемы — восстановление популяций редких или ценных промысловых рыб (например, осетровых), защита малых рек и водоемов от деградации в результате чрезмерной антропогенной нагрузки — имеют решение только при взгляде на экосистему как целое. Невозможно защитить от исчезновения животных, если разрушена среда их обитания и отсутствует необходимая им экологическая ниша. Конечно, с этой точки зрения в центре внимания защитников природы должны находиться экосистемы как целое. Но экосистемы — сложно организованные сообщества, различающиеся по рангу, стадии сукцессии, биоразнообразию и так далее. А потому вопрос защиты природы и проблемы экологической безопасности нуждаются в ответе на целый комплекс вопросов:

- какую стадию сукцессии защищать?
- какая экосистема в данных природных условиях наилучшая?
- какими должны быть меры защиты экосистем?

Без ответа на эти и другие подобные «наивные» вопросы невозможна эффективная защита экосистем, защита рек и водоемов, сохранение редких и ценных видов рыб. Поэтому поиск ответов является в настоящее время одной из актуальнейших задач современной экологии.





Об авторах:

Виталий Николаевич Лыцов — профессор, доктор физико-математических наук (экология), ведущий научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт», автор более двухсот научных работ, в том числе ряда монографий, посвященных проблемам охраны окружающей среды.

Никита Владимирович Мурзин — кандидат физико-математических наук (биофизика), ведущий научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт», автор более ста научных работ, посвященных проблемам защиты окружающей среды и безопасности природных сообществ, в том числе ряда монографий.



Литература:

Быков А.А., Мурзин Н.В. Проблемы анализа безопасности человека, общества и природы. С.-Пб.: Наука, 1997.

Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. В 3-х т. Т.2. М.: Мир, 1990.

Лархер Р. Экология растений. М.: Мир, 1978.

Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975.