

О.В.Мусатова

БИОИНДИКАЦИЯ И БИОПОВРЕЖДЕНИЯ

Курс лекций

Репозиторий ВГУ

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ. ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧИ, МЕТОДЫ. БИОИНДИКАТОРЫ.

1. Понятие биоиндикации и биотестирования. Сферы применения биоиндикации.
2. Преимущества и недостатки биоиндикации. Уровни биоиндикации.
3. Тест-объекты и биоиндикаторы. Требования к биоиндикаторам. Стандарты сравнения при биоиндикации.
4. Средства и методы биоиндикации.

Понятие биоиндикации и биотестирования. Сферы применения биоиндикации. Сохранение среды обитания в пригодном для успешной жизнедеятельности организмов состоянии в условиях технократического развития общества и связанных с этим антропогенных нагрузках на окружающую среду базируется на основе информации экологического мониторинга.

Наряду с прямыми физико-химическими методами определения качества среды особую значимость и популярность приобретает биологический мониторинг, т.е. использование индикационных возможностей живых организмов.

Биологическая индикация – определение состояния среды по наличию или отсутствию в ней тех или иных организмов, называемых индикаторами. Согласно этому определению биоиндикацию следует понимать как метод экологических исследований, позволяющий с помощью биологических систем с определенной точностью устанавливать основные качественные и количественные характеристики среды обитания.

Наиболее важными сферами применения биоиндикации могут быть следующие:

- выявление естественного буферного потенциала биологической макросистемы и допустимых нагрузок экзогенных веществ при разнообразных воздействиях на систему;
- контроль над состоянием популяций с целью ранней диагностики возможных нарушений ее экологических характеристик и возможности повлиять на структуру и функции биоты, продуктивность биоценоза;
- комплексная система экологического мониторинга биосферы, включая обнаружение негативных изменений, их диагностика на самой ранней стадии антропогенного воздействия;
- сохранение биоразнообразия природных ландшафтов, позволяющее обеспечить существование как можно большего числа организмов, в особенности редких видов биоты, высокочувствительных к загрязнению.

Методической основой биоиндикации является биотестирование – приемы исследования, при котором о качестве среды, факторах, действующих самостоятельно или в сочетании с другими, судят по состоянию специально помещенных в эту среду организмов.

Биотестирование (bioassay) – процедура установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих нарушением жизненно важных функций об изменениях в среде.

Благодаря простоте, оперативности и доступности биотестирование получило широкое признание во всем мире, и его все чаще используют наряду с методами аналитической химии.

Биотестирование как метод оценки токсичности среды используется:

- ✓ при проведении токсикологической оценки промышленных, сточных бытовых, сельскохозяйственных, дренажных, загрязненных природных и пр. вод с целью выявления потенциальных источников загрязнения;
- ✓ в контроле аварийных сбросов высокотоксичных веществ;
- ✓ при проведении оценки степени токсичности при проектировании локальных очистных сооружений;
- ✓ при проведении экологической экспертизы новых материалов, технологий очистки, проектов очистных сооружений и т.п.

Вместе с тем, полученные с помощью биотестирования данные позволяют судить только о прямом токсикологическом воздействии, а косвенные эффекты при этом остаются неучтенными. Речь идет о том, что в реальной экологической ситуации изолированного действия стрессора не существует – есть лишь совместное действие всего комплекса факторов. В настоящее время по результатам токсикологических лабораторных тестов на живых организмах установлены ПДК для более чем 1000 химических соединений. Между тем, число веществ-загрязнителей, способных влиять на экологическое состояние биоты самостоятельно, или комбинируясь, на сегодня превысило миллион наименований. Вредное воздействие физических, химических и других факторов при их комбинировании может суммироваться (аддитивное или независимое действие), ослабляться (антагонизм) или усиливаться (синергизм). Поэтому не совсем правомерна экстраполяция полученных в лаборатории данных по реакции видов на природные экосистемы. Это является ошибкой еще и потому, что в лаборатории изучается реакция отдельных изолированных индивидуумов конкретного вида, тогда как основа естественных экосистем – многовидовые сообщества, где выживание каждого вида - функция его питания, поведения, взаимоотношения с другими популяциями и т.д. По этой причине биоиндикация в природных сообществах часто представляет единственную возможность получения информации о влиянии параметров среды и их взаимодействии. К таким параметрам относятся не только концентрации химических веществ, но и климатические условия, скорости переноса веществ в водной или воздушной среде, эрозионные процессы в почве, соленость воды и др.

Преимущества и недостатки биоиндикации. Уровни биоиндикации. Использование биоиндикации как метода имеет ряд преимуществ. Оно позволяет существенно сократить или даже исключить применение дорогостоящих и трудоемких аналитических методов анализа. Биоиндикаторы интегрируют биологически значимые эффекты загрязнения. Они позволяют определять скорость происходящих в среде изменений, пути и места скопления в экосистеме различных токсикантов, делать предварительные выводы о степени опасности для человека

и полезной биоты конкретных веществ или их сочетаний. И вместе с тем биоиндикация не дает ответа на вопрос о характере загрязняющего вещества или их смеси. Поэтому обычно подобные методы используют до химического анализа, т.к. этот метод позволяет провести экспресс-оценку природной среды и выявить «горячие» точки, указывающие на наиболее загрязненные участки акватории (территории, полигона). На участках, где методами биотестирования выявлены какие-либо отклонения, и исследуемая среда характеризуется как токсичная, аналитическим путем необходимо установить причины этого явления.

Биоиндикация как метод применяется при исследовании биологических систем разного ранга. При индикации на низших уровнях организации биосистем преобладают прямые и часто специфичные виды биоиндикации, что обусловлено относительной простотой реакций живых организмов этого уровня организации. Биосистемы макроуровня организованы гораздо сложнее, поэтому проявляемые ими реакции многообразнее. По сравнению с отдельными организмами, экосистемы реагируют на стрессовые воздействия чаще всего с запаздыванием и в сильно измененной форме. На высших уровнях применима в основном косвенная и неспецифичная биоиндикация. Тем не менее, биоиндикация на высшем и низшем уровне представляет собой неразрывное единство, так как изменения, возникающие на уровне макросистем, являются, как правило, следствием нарушений на предыдущем уровне. В соответствии с организационным уровнем биологических систем выделяют несколько уровней биоиндикации, хотя строгих границ между ними не существует:

1. внутриклеточные реакции (биохимические, физиологические);
2. реакции организма (анатомические, морфологические, биоритмические, этологические);
3. популяционно-динамические изменения (колебания структуры, численности, плотности популяции);
4. изменения в природных сообществах (состояние продуцентов, консументов, редуцентов, степень антропоического воздействия на них);
5. биогеоэкологический уровень (стрессовое влияние на биогеоэкоценозы);
6. изменения ландшафтов.

Тест-объекты и биоиндикаторы. Требования к биоиндикаторам. Стандарты сравнения при биоиндикации. Для объективной оценки загрязнения природного сообщества необходимы адекватные тест-системы и биоиндикаторы, реагирующие на комплекс загрязнителей и пригодные для выявления мутагенного потенциала встречающихся в экосфере загрязнителей.

Тест-объекты (*test-organism*) – организмы, используемые при оценке токсичности химических веществ, природных и сточных вод, почв, донных отложений, кормов и др. Тест-объекты, по определению Л.П. Брагинского, - «датчики» сигнальной информации о токсичности среды и заменители сложных химических анализов, позволяющие оперативно констатировать факт токсичности (ядовитости, вредности) среды («да» или «нет»), независимо от того, обусловлена ли она наличием одного точно определяемого аналитически вещества или целого комплекса аналитически не определяемых веществ, какой обычно представляют собой сточные воды, например. Тест-объекты с известной степе-

нию приближения дают количественную оценку уровня токсичности загрязнения среды.

Биоиндикаторы – организмы или сообщества организмов, жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки.

При выборе биотических индикаторов в качестве критериев используют знания о биологии, биогеографии и экологии организмов, их чувствительность, редкость вида, методические особенности работы с организмами и др. В идеале следует прибегать к «спектрам» биоиндикаторов, которые включают представителей разных трофических уровней и типов питания, различные жизненные формы и стадии развития. Правда, часто оказывается невозможным охватить весь спектр, поэтому обычно берут ограниченное число индикаторов, представляющих разные группы.

Биоиндикаторы и тест-объекты должны удовлетворять ряду требований:

- 1) накопление загрязняющих веществ не должно приводить к гибели тест-организмов;
- 2) численность тест-организмов должна быть достаточной для отбора, т.е. без влияния на их воспроизводство (редкие и исчезающие виды даже при их высокой чувствительности не могут служить тест-объектами);
- 3) в случае долгосрочных наблюдений предпочтительны многолетние виды;
- 4) биотесты должны быть генетически однородны;
- 5) должна быть обеспечена легкость взятия проб;
- 6) должна реализоваться относительная быстрота проведения тестирования;
- 7) биотесты должны обеспечивать получение достаточно точных и воспроизводимых результатов;
- 8) биоиндикаторы должны быть одновозрастными и характеризоваться, по возможности, близкими свойствами;
- 9) диапазон погрешностей измерений (по сравнению с классическими или эталонными методами тестирования) не должен превышать 20-30 %;
- 10) при выборе тест-организмов предпочтение следует отдавать регистрации функциональных, этологических, цитогенетических изменений индикаторных процессов биоты, а не только изменению ее структуры, численности или биомассы, т.к. последние являются более консервативными.

Все биоиндикаторы отличаются по чувствительности. В зависимости от скорости проявления биоиндикаторных реакций выделяют несколько различных типов чувствительности тест-организмов (рис.1):

I. биоиндикатор проявляет спустя определенное время внезапную и сильную реакцию, продолжающуюся некоторое время, после чего перестает реагировать на загрязнитель.

II. биоиндикатор в течение длительного времени линейно реагирует на воздействие возрастающей концентрации загрязнителя.

III. биоиндикатор реагирует с момента появления нарушающегося воздействия с одинаковой интенсивностью в течение длительного времени.

IV. после немедленной, сильной реакции у биоиндикатора наблюдается ее затухание, сначала резкое, затем постепенное.

V. под влиянием загрязнителя реакция биоиндикатора постепенно становится все более интенсивной, однако, достигнув максимума, постепенно затухает.

VI. реакции и типы неоднократно повторяются, возникает осцилляция биоиндикаторных параметров.

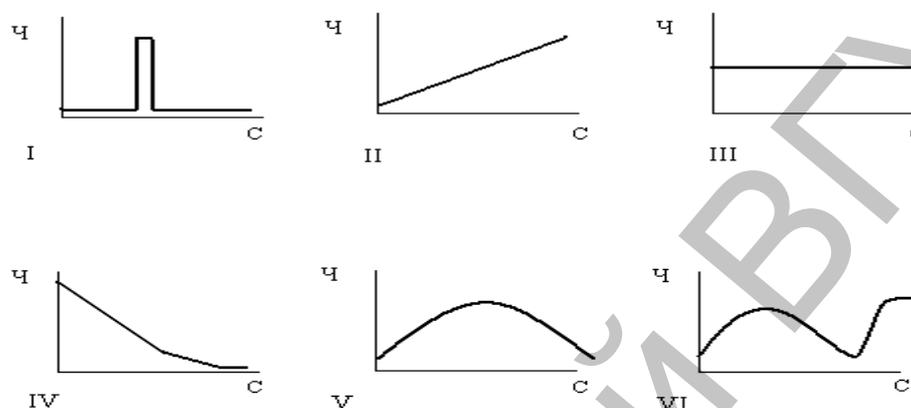


Рис.1. Типы чувствительности биоиндикаторов в зависимости от развития реакции во времени. Ч – чувствительность, С – стрессор.

Регистрирующие биоиндикаторы реагируют на изменения состояния окружающей среды изменением численности, фенооблика, повреждением тканей, соматическими проявлениями, изменением скорости роста и другими хорошо заметными признаками (лишайники, хвоя деревьев и др.). Однако с помощью регистрирующих биоиндикаторов не всегда можно установить причины изменений, то есть факторы, определившие численность, распространение, конечный облик или форму биоиндикатора.

Накапливающие биоиндикаторы концентрируют загрязняющие вещества в тканях, органах или частях тела, которые в последствии используются для химического анализа (панцири ракообразных, личинок насекомых).

Основанием для выбора тест-объектов при проведении биотестирования служит набор стандартных методов, регламентированных стандартными документами. Например, в качестве стандартных при определении качества водной среды приняты тесты с ветвистоусыми и жаброногими ракообразными, водорослями, инфузориями, светящимися бактериями. Кроме того, как и при проведении биоиндикации существенную роль играет выбор стандартов для сравнения. При биоиндикации используются две группы: абсолютные и относительные.

Абсолютные стандарты:

- системы свободные от воздействия поллютантов;
- системы с искусственным исключением действия антропогенных факторов;
- системы слабо или вовсе не подверженные действию антропогенных факторов;
- градиенты изменения функций объекта, вплоть до пренебрежимо малого времени воздействия.

Относительные стандарты базируются на:

- корреляции с пространственно-временными изменениями антропогенных факторов среды;
- установлении эталонных объектов, испытывающих незначительное или известное антропогенное воздействие.

Средства и методы биоиндикации. Используемые на каждом уровне биоиндикации методы имеют свои особенности и характеристики. Существует несколько форм биоиндикации, классифицируемых по разным признакам. В зависимости от реакции, проявляемой системой на действие того или иного фактора, различают 2 вида биоиндикации: *регистрирующая биоиндикация* и *биоиндикация по аккумуляции*. Регистрирующая биоиндикация позволяет судить о воздействии факторов среды по состоянию особей вида или популяции, а биоиндикация по аккумуляции использует свойство живых организмов накапливать те или иные химические вещества. Если антропогенный фактор действует непосредственно на биологический элемент, то речь идет о *прямой биоиндикации*. Но нередко биоиндикация становится возможной только после изменения состояния под влиянием других непосредственно затронутых элементов. В этом случае говорят о *косвенной биоиндикации*.

Даже внутри организма наблюдается определенное соподчинение реакций, возникающих в ответ на какой-нибудь антропогенный фактор. Первая реакция создает основу *первичной биоиндикации*, следующая - для *вторичной*.

Часто желательно заблаговременно обнаружить биологическое действие антропогенного фактора, для того, чтобы при известных условиях иметь возможность произвести направленное вмешательство. Наличие очень чувствительных индикаторов приводит к *ранней индикации*, когда реакция заметна уже при минимальных дозах спустя очень короткое время и происходит в месте воздействия фактора на элементарные молекулярные и биохимические процессы. Обычно в природе все виды биоиндикации включены в цепочку последовательно происходящих реакций или процессов.

Для биоиндикации на любом уровне пригодны в основном два метода – *пассивный и активный мониторинг*. В первом случае у свободно живущих организмов исследуются видимые или незаметные повреждения или отклонения от нормы, являющиеся признаками стрессового воздействия. В природе на организмы влияют разнообразные экзогенные и эндогенные факторы. Совокупность этих факторов по большей части дает непредсказуемый суммарный эффект, который не позволяет сделать определенного заключения относительно отдельных стрессоров. При активном мониторинге пытаются обнаружить те же самые воздействия на тест-организмах, находящихся в стандартизированных условиях на исследуемой территории. Но при этом воздействие этих многочисленных факторов, затрудняющих биоиндикацию, может быть в значительной степени исключено посредством стандартизации экспериментального материала, условий выращивания и содержания растений – индикаторов.

При данном подходе качественной оценке поддается любая природная экосистема (водная, наземная, почвенная, городская), так как в любом случае анализируется природная биота. Рассмотрим несколько методов оценки, различаю-

щихся составом организмов-индикаторов и типом применяемого анализа (структурный, продукционный, биохимический, клинический).

Экспертная оценка экосистем основана на наиболее простом способе выявления экологического неблагополучия в экосистемах – фиксации определенных индикаторных организмов, чувствительных к комплексным и специфическим загрязнениям. В качестве параметров оценки используют сведения о численности, биомассе, динамических характеристиках популяций, видовой структуре сообществ, показателям развития. Многие из этих методов предполагают статистическую обработку материала, математическое моделирование вероятных откликов биоты.

Анализ ранговых распределений представляет инструмент количественного исследования экосистем. В качестве биоиндикационных групп могут выступать биологические таксоны, размерные классы, совокупности особей, объединенные по каким-либо физиологическим или иным признакам. Обилия видов в сообществе распределяют по рангам в порядке убывания полей обилий отдельных видов. В нормальном (ненарушенном, фоновом) состоянии размеры рангов соответствуют определенному диапазону значений. Этот диапазон специфичен для типа сообщества (например, для сообществ фитопланктона, зоопланктона или перифитона), для конкретной экосистемы. Любые отклонения от этих параметров могут служить мерой патологии состояний сообщества.

Метод функции желательности основан на соотнесении текущего значения той или иной индикаторной характеристики с максимумом (или эталоном). В этом методе предполагается, что наиболее желательно такое состояние экосистемы, когда оно неотлично от контроля, а повышение обилия индикаторного организма так же нежелательно, как и его снижение. Наиболее желательным, как правило, признается наиболее вероятное (чаще всего встречающееся) или многолетнее среднее.

Эталонное оценивание. Идея использования эталонных систем с самого начала лежала в основе системы экологического мониторинга. Этот метод предлагает сравнивать состояние исследуемого параметра с эталонным. В качестве эталона может выступать культура организмов или целая экосистема, в которой систематически проводились наблюдения за изменением экологических факторов и получены предсказуемые результаты их естественных колебаний. Но такие данные не позволяют судить о допустимых или предельных уровнях изучаемых параметров. Поэтому наиболее обоснованным является выделение эталонных участков в пределах каждой конкретной экосистемы с относительным постоянством видовой, пространственной и трофической структуры. Этот метод очень удобен при исследовании стабильности сообществ не только в пространстве, но и во времени.

Оценка состояния биоты, основанная на отклонениях от нормального функционирования отдельных организмов. Метод основан на анализе морфологических, биохимических, цитогенетических и иммунологических характеристик организмов в норме и при отклонении этих параметров от нормы. Например, анализ фенотипической изменчивости растений и животных на территориях

с разным уровнем загрязнения, исследование причин летальных мутаций у организмов, оценка активности ферментных систем, уровня плодовитости и др.

Один из методов морфологического подхода – оценка уровня флуктуирующей асимметрии (ФА) билатеральных морфологических признаков растений и животных. Стабильность развития, т.е. способность организма функционировать без отклонений от нормы, есть самый чувствительный показатель состояния природных популяций. А оценка уровня ФА – простейший способ анализа степени этих отклонений. В качестве объектов используются древесные растения, насекомые, мелкие млекопитающие, рыбы и амфибии. При выборе конкретного показателя, который флуктуирует, не существует никаких ограничений – это могут быть линейные размеры признаков, например, длина прожилок листьев, слева и справа; число пятнышек на элитрах насекомых слева и справа; качественные показатели и др.

Кроме описанных методов биоиндикационной оценки состояния среды существуют обобщенные методологии оценки благополучия экосистемы путем интегрирования нескольких методов. Примером универсальной оценки нормальности среды может служить показатель продолжительности жизни человека.

При всем этом следует учесть, что, как правило, используемые в биоиндикации методы преимущественно неспецифичны. Разной природы реагенты могут вызывать сходные реакции в биологических системах и наоборот. Нередко сходный характер имеют и последующие после стресса биологические изменения.

ЛЕКЦИЯ 2

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОИНДИКАЦИИ.

1. Понятие о стрессе и стрессорах.
2. Токсичность среды и ее характеристики.
3. Диапазон физиологической толерантности организмов. Экологические диапазоны присутствия.
4. Тест-функции.

Понятие о стрессе и стрессорах. Понятие «*стресс*» весьма различно используется в различных областях науки. Впервые в качестве научного термина оно было введено в медицину Селье (1976 г.). Он определяет стресс как состояние критической нагрузки, которая проявляется в виде специфического синдрома, слагающегося из всех неспецифически вызванных изменений внутри биологической системы. Стресс можно разделить на два различно действующих типа. *Эустресс* характеризуется физиологическими адаптивными реакциями, которые вызываются в организме биоэнергетическими процессами, когда в критических ситуациях организму необходимо приспособиться к изменившимся условиям среды. *Дистресс* означает патогенные процессы, возникающие, как правило, при постоянных нагрузках или усилиях, которые индивид не в состоянии регулировать короткое или длительное время. В какой мере тот или иной стрессор обуславливает эустресс или дистресс, зависит от многочисленных факторов, напри-

мер от экзогенного сочетания раздражителей и от внутреннего состояния организма.

Генетическая конституция каждого организма обуславливает его определенную реакционную способность (норму реакции) по отношению к воздействующим стрессорам. При возникновении стресса большую роль играет также фактор времени, связанный как с развитием в онтогенезе чувствительности к стрессу. Так и с продолжительностью воздействия какого-либо эффективного стрессора на протяжении различных периодов жизни.

В биологии под *стрессом* понимается *реакция биологической системы на экстремальные факторы среды (стрессоры), которые могут в зависимости от силы, интенсивности, момента и продолжительности воздействия более или менее сильно влиять на систему.* В природе на организм действуют стрессоры различной природы, классификация которых приведена на рисунке 2.

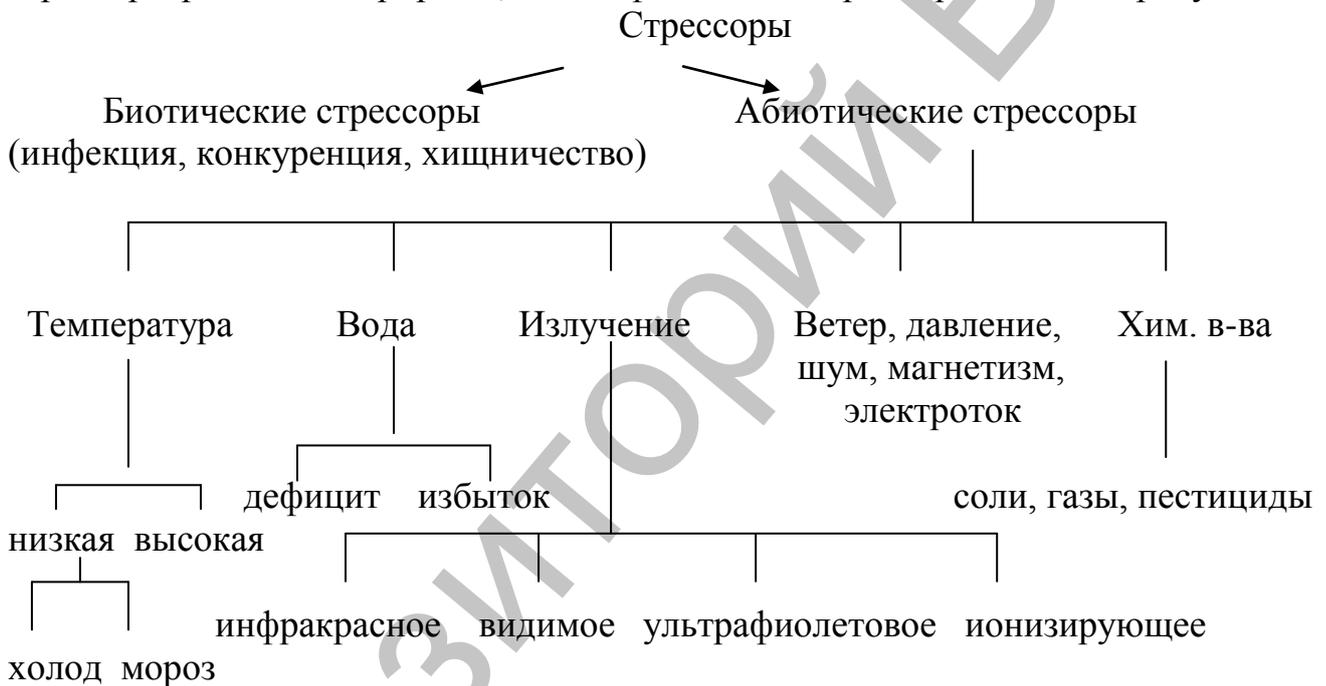


Рис.2. Стрессоры в окружающей организмы среде

Часто биоиндикация применяется для оценки характера влияния всех видов антропоических факторов. Такие воздействия, с одной стороны, представляют собой новые параметры среды, с другой – модификации уже имеющихся природных факторов. Опасность антропоических стрессоров состоит, прежде всего, в том, что биологические системы недостаточно адаптированы к ним. Антропоические стрессоры создаются с такой скоростью, что системы часто не успевают активизировать соответствующие адаптационные процессы. Все стрессоры этого типа опасны для живых систем еще и потому, что их интенсивность, продолжительность и момент воздействия сильно отличаются от существующей в природе нормы, поэтому они влияют на диапазон толерантности биологических систем. Кроме того, в природе наблюдается комплексное действие стрессоров (нарушающих факторов), при этом тот или иной фактор может временно доминировать. Естественно, это усложняет диагностирование биологических последствий воздействия среды на систему.

Токсичность среды и ее характеристики. Разнообразные виды абиотических загрязнений создают *токсичность среды* (toxicity) – свойство химических параметров среды проявлять повреждающее или летальное действие на живые организмы. Вещество, оказывающее токсическое действие, называется *токсикантом*, а процесс воздействия токсиканта на организм – *токсикацией* (на экосистемы – *токсификацией*). Количественно токсичность вещества для отдельного организма определяется как величина, обратная медианной летальной концентрации:

$$T = 1 / LC50.$$

Различают острую и хроническую токсичность среды. *Острая токсичность* выражается в гибели отравленного организма за короткий промежуток времени – от нескольких секунд до 48 часов. *Хроническая токсичность среды* проявляется через некоторое время в виде нарушений жизненных функций организмов и возникновения патологических состояний (токсикозов). Хроническая токсичность может выражаться в нарушении плодовитости, эмбриогенеза и постэмбрионального развития, возникновению уродств (мутаций) в потомстве, сокращению продолжительности жизни, появлению карликовых форм.

Часто выделяют *интегральную токсичность* – токсичность сложных смесей, сточных вод, многокомпонентных факторов. Количественно интегральная токсичность определяется как величина обратная максимальному разведению (1:2, 1:5, 1:10, 1:50, 1:100 и т.д.), при котором не наблюдается каких-либо нарушений жизненно-важных функций тест-организмов при 24-48 часовом биотестировании. Выражается в баллах токсичности целыми числами (2,5,10,50,100 и т.д.) соответственно величинам разведения. Баллы токсичности могут быть четко ранжированы и позволяют выстраивать ряд исследуемых веществ или сред по снижению или повышению уровня их токсичности.

Существуют количественные меры токсичности веществ для живых организмов. Это показатели острой токсичности NOEC, LC0, LC50, LC100, устанавливаемые для «чистого» вещества при его лабораторном исследовании. Показатели не имеют универсального значения и устанавливаются для каждого тест-объекта индивидуально.

NOEC – максимально недействующая концентрация вещества;

LC0 – минимальный порог чувствительности, при котором отмечаются специфические тест-реакции или смертность тест-объектов.

LC50 – стандартная мера токсичности вещества, показывающая, какая концентрация вещества вызывает гибель 50 % тест-организмов за установленное время (24, 48 или 96 ч.).

LC100 – высший смертельный порог для всех животных или тест-культуры водорослей, использованных в опыте.

Оценкой степени токсичности веществ занимается *токсикометрия*, основными приемами которой являются установление переносимой или пороговой концентрации, медианной летальной концентрации, или дозы, и зоны токсического действия – диапазона токсических концентраций.

Среда редко бывает свободной от разной природы загрязнителей, тем не менее, большая часть организмов существуют в достаточно широких пределах колебания их количественных показателей.

Способность живых организмов существовать в токсической среде, сорбируя или используя определенное количество токсического вещества, называется токсобностью.

Диапазон физиологической толерантности организмов. Экологические диапазоны присутствия. Все биологические системы в ходе своего развития приспособились к комплексу факторов местообитания. Каждый организм обладает в отношении любого действующего на него фактора генетически детерминированным, видоспецифичным *физиологическим диапазоном толерантности*. В пределах этого диапазона любая интенсивность фактора является адаптируемой. Физиологический диапазон толерантности неодинаков для разных стадий развития организма и для всех особей данных популяций. Обитая в среде с многообразным комплексным действием факторов, организмы проявляют реакцию на их действие, часто сильно отличающуюся от таковой в лабораторном эксперименте. В таком случае говорят об *экологических диапазонах присутствия (экологических потенциях)*, отражающих фактическую реакцию организма на среду. Физиологическая толерантность и экологическая потенция организма определяют его индикаторную ценность.

Нагрузки на биологические системы, вызываемые стрессорами, принято делить на *упругие (обратимые)* и *пластические (необратимые)*. А все многообразные реакции организмов на действие различного рода стрессоров являются, по существу, вариациями двух основных типов адаптации биосистем:

а) толерантность к стрессу – устойчивость к ритмически повторяющимся изменениям параметров среды.

б) избегание стресса – способность уклоняться от воздействия экстремальных условий среды при помощи специфических приспособлений.

Не смотря на разные механизмы этих приспособлений, ход адаптации к долго действующим экстремальным условиям сходен (рисунок 3). За исходным состоянием в ответ на воздействие стрессора, прежде всего, следует избыточная реакция, которая через определенный промежуток времени стабилизируется и ведет к состоянию приспособленности.

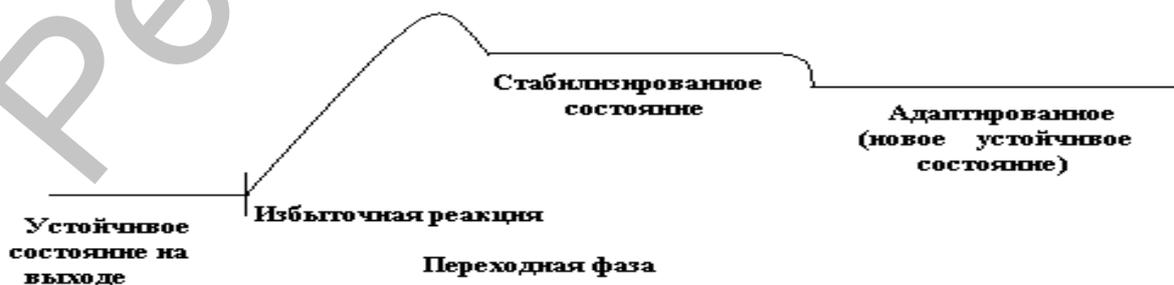


Рис.3. Ход адаптации биологической системы.

Тест-функции. Возникающие в окружающей среде изменения можно диагностировать по изменению ряда параметров и функций живых биологических систем, или *тест-функциям*. Возникающая у организма или биологической макросистемы реакция может проявляться в визуально определяемых или скрытых изменениях.

Понятие «невидимые повреждения» ввел в 1903 г. Вилер, обнаружив на микроскопическом уровне снижение интенсивности ассимиляции растений после кратковременного интенсивного воздействия SO₂. Позже это понятие трансформировалось, благодаря уточнениям Фогля и Хертеля (1976 г.). Обратимые физиологические нарушения были названы «отклонениями», а необратимые – «физиологическим повреждениями». В 1977 г. Келлер предложил понятие «латентное повреждение», которое включает все формы поражения организмов-биоиндикаторов, не воспринимаемые невооруженным глазом. Сюда относятся все обратимые и необратимые биохимические или физиологические реакции независимо от степени их влияния на жизнедеятельность организмов.

Наиболее удобными в качестве тест-функция являются, безусловно, морфологические, биоритмические и поведенческие отклонения от нормы у организмов под действием стрессоров. Комплексное действие стрессоров проявляется в хорологических и популяционно-динамических изменениях. На макроуровне в качестве тест-функций используют видовой состав и структуру сообществ, соотношение продукции и деструкции, экологические спектры видов и др.

Посредством оценки состояния перечисленных параметров системы получить точные количественные данные о динамике и величине стрессовых воздействий, как правило, невозможно, зато довольно точно могут быть оценены биологические последствия.

ЛЕКЦИЯ 3.

РЕГИСТРИРУЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ БИОИНДИКАЦИИ.

1. Морфологические, биоритмические и поведенческие реакции.
2. Популяционно-динамические изменения.
3. Изменения в природных сообществах.
4. Функциональные показатели нарушения равновесия экосистем.

Морфологические, биоритмические и поведенческие реакции. Морфологические реакции организмов на действие факторов среды – очень удобные для биоиндикации параметры состояния. На изменение окраски, формы тела, расположения органов, размера организма под антрополическим воздействием человек обратил внимание уже давно. В 1850 г. появилась первая публикация о повреждениях дымом елей, а сегодня оценку морфологических изменений организма используют наиболее часто применяемые на практике методы биоиндикации.

Все морфологические изменения делят на микро- и макроскопические.

Макроскопические изменения:

1) Изменение окраски (неспецифическая реакция на различные стрессоры). Например, хлороз листьев под действием газов, пожелтение участков листьев под влиянием хлоридов, покраснение листьев под действием SO_2 , побурение или побронзовение, появление серебристой окраски и т.п. Некрозы – отмирание ограниченных участков ткани, часто довольно специфичные (рис. 4). При развитии некрозов сначала наблюдаются изменения в окраске (при действии SO_2 чаще всего образуются грязно-зеленые, O_3 – металлически блестящие пятна, хлоридов – хлорозы). После гибели клеток пораженные участки высыхают и приобретают бурую или беловатую окраску. Различают:

- точечные и пятнистые (например, серебристые пятна после воздействия озона);
- межжилковые – отмирание тканей листовой пластинки между боковыми жилками первого порядка (при действии SO_2);
- краевые (действие хлоридов);
- верхушечные (действие HF, SO_2);
- некрозы околоплодника.

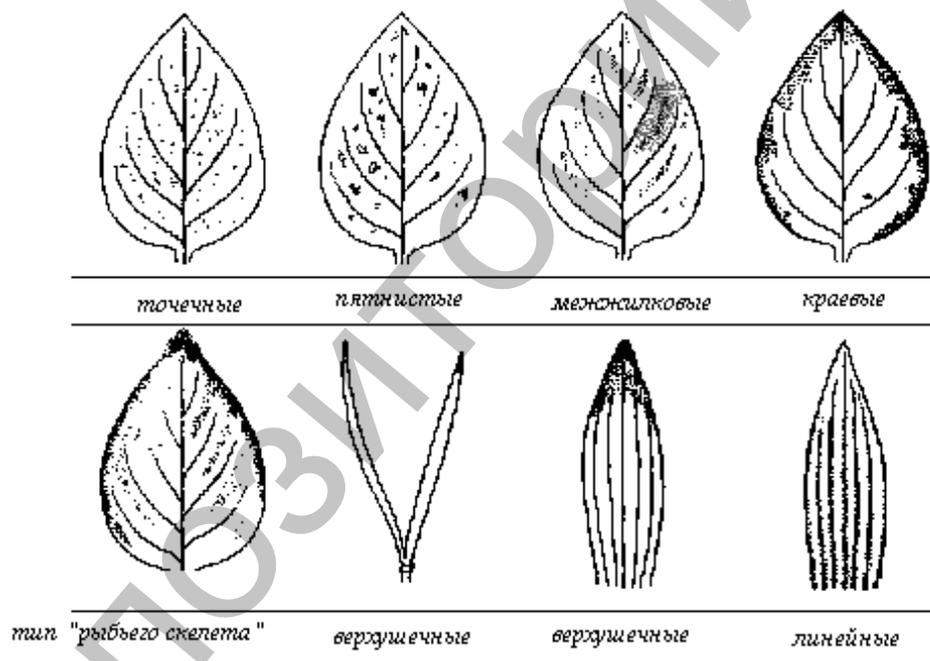


Рис. 4. Типы некрозов листьев у высших растений.

- 3) Преждевременное увядание (например, под действием этилена в теплицах);
- 4) Дефолиация (следствие некроза, влияние SO_2 , хлоридов);
- 5) Изменение размеров органов по большей части неспецифичны (например, удлинение хвои под действием нитратов, крупные листья на отмирающих деревьях при повреждении HCl);
- 6) Изменение формы, количества и положения органов (например, при действии радиоактивного облучения, локальных некрозов, гормональных гербицидов);
- 7) Изменение направления формы роста и ветвления (например, изменение направления роста корней одуванчика при изменении уровня грунтовых вод,

кустовидная и подушечная форма роста деревьев при загрязнении атмосферы HCl, изреживание кроны при газодымовом загрязнении);

- 8) Изменения прироста неспецифичны, но часто используются. Например, измерения радиального прироста древесных стволов, прироста в длину побегов и листьев, длины корней, диаметра талломов лишайников и др.). Изменения плодovitости (например, уменьшение образования плодовых тел у лишайников и грибов, продуктивности черники в загрязненной газообразными выбросами атмосфере).

Микроскопические изменения:

- 1) Изменение размеров клетки (реакция на газообразные загрязнения);
- 2) Изменения субклеточных структур (например, блокирование плазмодесм, расширение цистерн ЭПС, набухание тилакоидов, образование кристаллических включений, грануляция плазмы и разрушение хлоропластов и др.);
- 3) Плазмолиз – отслаивание плазмы от клеточной стенки как следствие действия кислоты и SO₂;
- 4) Изменение степени ксероморфизма листьев – увеличение числа устьиц, толщины кутикулы, густоты опушения, толщины листа и степени суккулентности (отношения сырой вес/сухой вес);
- 5) Изменение структуры древесины.

Эти и многие другие факторы используются в индикации антропогенной нагрузки на систему, и наиболее удобные в этом отношении объекты – растения. Однако существует проблема оценки морфологических изменений у растений. При определении морфологических изменений нужно уметь отличать симптомы повреждений, вызванных естественными факторами и антропогенными. Важно уметь правильно оценивать воздействие климата, почвы, стадии развития и времени года, присутствие вредителей, а также явление констелляции экологических факторов (при высокой влажности воздуха и почвы растения становятся особо чувствительными к газовым загрязнениям, зимой повышение температур снижает устойчивость и т.п.). Кроме того, внутренние факторы также затрудняют оценку изменений у растений. Наблюдается различная чувствительность:

- на различных возрастных стадиях;
- у органов различного возраста (хвоя сосны особенно сильно повреждается на первом году жизни, потом устьица закрываются);
- в различное время дня и года (к выбросам SO₂ листья более устойчивы ночью, чем днем; хвоя весной и летом более чувствительна, чем осенью и зимой);
- у различных особей генетически неоднородных популяций;
- при различной предрасположенности (ранее подвергшиеся действию стрессора особи более чувствительны).

У животных при действии стрессоров реакция на морфологическом уровне проявляется в разнообразных формах. Наиболее известной является так называемый «индустриальный меланизм». Это явление потемнения окраски покровов у первоначально светлых форм. Оно хорошо изучено у некоторых чешуекрылых, жесткокрылых, ногохвосток. У паукообразных напротив в условиях повышенно-

го газодымового загрязнения возрастает доля светлоокрашенных особей. У брюхоногих моллюсков отмечается неодинаковое распределение разных типов исчерченности в городских местообитаниях. И хотя подобные изменения окраски зависят от географического района, это не исключает возможности использовать их в качестве тест-функций.

Чрезвычайно удобны для биоиндикации биологические ритмы живых организмов. Биоритмы – это эндогенно-обусловленные, упорядоченные реакции организмов на периодически изменяющиеся экологические факторы. В результате смены интенсивности и продолжительности действия факторов возникает определенная последовательность смены внешних условий. Эти изменения адаптируются организмами благодаря генетически закрепленным автономным ритмам. Они обеспечивают организму стабильность внутренней организации и гармонию во взаимоотношениях со средой. Стрессоры различного происхождения вызывают в организме отклонения от естественных ритмов (циркадного, цирканнуального и прочих). Это проявляется в изменении активности поведения, физиологических и биохимических процессов, и может быть использовано для неспецифической биоиндикации. Например, искусственное освещение городских улиц нарушает фотопериодические реакции растений, поэтому в крупных городах листопадные явления наступают позже. Изменения биоритмов растений еще не используются для биоиндикации, хотя имеется уже достаточное количество фактов, свидетельствующих о вмешательстве антропогенных стрессоров в суточные и сезонные ритмы у этих организмов. Среди наиболее частых проявлений отмечают нарушение ритма работы устьиц, ритма побегообразования, повторное цветение.

При оценке качества среды часто используют поведенческие реакции животных. Антропогенные стрессоры могут воздействовать на поведение организма двумя путями:

- через «информационную среду», когда сигналы организм может контролировать сенсорно;
- через «неинформационную среду» (проникающий), приводящий непосредственно к физиологическим изменениям.

Первый путь воздействия более значим для индикации и основан на трех механизмах воздействия:

- воздействие на тело и его свойства (внутренние изменения, затрагивающие, например, эмоциональное состояние);
- воздействие на поведение особи по отношению к среде (примером могут служить разнообразные таксисы);
- воздействие на поведение особи внутри популяции (например, «плотностной стресс», когда фактор скученности может вызвать специфические виды поведения, вплоть до агрессии в отношении особей того же вида).

Регистрация поведенческих реакций зависит от того, воспринимает ли организм стрессоры информационно. Если особь не «замечает» стрессор, это может привести к сублетальным или летальным эффектам, однако такие нагрузки можно диагностировать уже на ранних стадиях. Если стрессор сенсорно доступен, то реакция проявляется чаще всего в форме избегания, специфического по-

ведения на время воздействия фактора или изменения свойств среды на период воздействия. Учесть изменения поведения можно, сравнивая их со стандартными формами поведения или с результатами стандартных биоиндикаторных поведенческих тестов.

Популяционно-динамические изменения. Воздействие антропогенных стрессоров на популяции разных видов неоднозначно, равно как и возможности их биоиндикации.

Воздействие на динамику растительных популяций.

Из факторов, которые сильно подвержены действию антропогенных стрессоров, выделяют:

1) Продуктивность. Ее величина многократно возрастает в результате ослабления конкурирующих видов.

2) Плотность. В нарушенных растительных сообществах доля популяций с большой численностью особей обычно выше, чем в ненарушенных.

3) Величина ареала. Ее флуктуации в ответ на антропогенное нарушение непредсказуемы, ареал может, как расширяться, так и сокращаться.

4) Возрастная структура, т.е. процентная доля возрастных классов. При антропогенных нагрузках возрастная структура популяций изменяется не так сильно, как первые 3 признака, и является относительно стабильным популяционным показателем. У растений при оценке колебаний возрастной структуры следует учитывать высокий процент вегетативного размножения, которое особенно интенсифицируется в условиях нагрузки. Возрастная структура популяции в этом случае определяется процентом смертности или возобновления вегетативно возникающих экземпляров (рамет), в то время как клон (генета) не погибает. Однако вегетативное размножение не дает возможности рекомбинации наследственных признаков и у вегетативных единиц сильно снижается генетическая пластичность. Это делает их более чувствительными к стрессовому действию среды. В целом, чаще всего в результате антропогенного нарушения популяции растений омолаживаются, так как возрастает смертность на разных стадиях, и укорачиваются стадии развития.

5) Набор устойчивых экотипов. В природе виды характеризуются разнообразием экотипов, которые обеспечивают поддержание одинаковой продуктивности популяции при меняющихся условиях среды, в том числе и экотипы, устойчивые к разнообразным антропогенным нагрузкам. В случае интенсивного длительного воздействия какого-либо антропогенного фактора в популяциях растений наблюдается вытеснение из популяции чувствительных к этому фактору экотипов и увеличение доли устойчивых. Это приводит к обеднению экотипов в популяции.

6) Характер распространения. Все виды антропогенного воздействия на ландшафты приводят к изменению мест обитания, что проявляется в распространении рудеральных сегетальных растений, увеличению в сообществах доли синантропных видов, видов, избирательно устойчивых к разным загрязнителям. Устранение экотонов (переходных между растительными формациями зон) приводит к обеднению флоры. В лесных экосистемах при антропогенных воздействиях изменяется пространственная структура, характер прироста отдельных ви-

дов. Решающую роль в изменении видового состава и характера распространения растительных видов играют процессы урбанизации и развитие транспортной сети.

Воздействие антропогенных стрессоров на популяции животных.

Популяции животных и их отдельные характеристики могут быть использованы как биоиндикаторы, если непосредственно реагируют на определенные факторы окружающей среды. Сложность индикации в природных условиях связана с тем, что на популяции воздействует одновременно антропогенные и природные факторы. Поэтому изменения популяций или их характеристик – реакция на комплексное воздействие. Так как в природе живые организмы обитают в условиях с определенным благоприятным для жизнедеятельности сочетанием факторов, каждый вид является своего рода маркером специфической комбинации факторов, которая и означает необходимое для него качество среды.

Для биоиндикации нарушений используют такие характеристики популяций животных как обилие видов и видовое разнообразие. Такая индикация всегда условна и неточна, потому что нужно представлять, каким именно должен быть эталонный ценоз, соответствующий «нормальному» ненарушенному состоянию. Но в целом резкое возрастание или сокращение популяции всегда сигнализирует о воздействии нарушающих факторов. Например, резкое возрастание численности озерных чаек, бакланов в Средней Европе обусловлено эвтрофикацией культурного ландшафта. Такие формы биоиндикации носят преимущественно качественный характер. Для количественной оценки воздействия стрессора требуется индикаторная популяция, четко коррелирующая со специфичным стрессором. В природе такая зависимость возникает редко, так как воздействие факторов на организм синхронно и синергично. Лабораторные эксперименты показали, что смеси двух веществ более токсичны, чем каждое из них в отдельности. Определенный выход из положения предлагают разнообразные биотесты, в которых в качестве тест-функций используют физиологические параметры (состояние кровяной плазмы, клеток крови, активность ферментов и др.).

Особую сложность представляет выбор тест-объектов и стрессоров для индикации. При выборе индикаторных видов учитываются частота и область встречаемости вида, быстрота размножения и относительная легкость отлова. При выборе стрессора важную роль играют его распространение и легкость обнаружения. Наиболее часто используемыми для индикации стрессорами являются:

1) Бициды – вещества различных химических классов, попадающие в среду как средства защиты растений, гигиены человека и животных, пищевых запасов, в ходе промышленного загрязнения. Широко используется определение содержания ДДТ и ПХД (полихлорированные дифенилы) у птиц.

2) Соединения тяжелых металлов. Попадая различными путями в экосистемы, нарушают развитие популяций животных. Особенно опасны тем, что подчиняются правилу концентрирования в цепях питания. Наиболее токсичными металлами являются ртуть, кадмий, свинец.

3) Хлорорганические соединения. Эти вещества вызывают побочные явления в популяциях позвоночных, что обусловлено их химической стойкостью в

среде, жирорастворимостью и способностью накапливаться в пищевой цепи. Эти вещества вызывают во всем мире сокращение популяций хищных птиц, нарушение плодовитости диких животных. В качестве тест функций для определения загрязнения хлорорганическими соединениями используют процент выводимости, величину кладки, толщину скорлупы, смертность птенцов и др.

Воздействие антропогенных нарушений значительно влияет на характер распространения и динамику популяций животных. Изменение особенностей местообитания приводит к изменению плотности заселения и структуры зооценозов. Обычно с ростом загрязнения происходит уменьшение плотности заселения, сокращение ареала и даже утрата сообществом чувствительного вида. В то время как другие, менее чувствительные, виды могут увеличить свое присутствие, что отразится на видовом разнообразии. Все эти изменения могут быть использованы как биоиндикационные параметры.

Изменения в природных сообществах. Действие антропогенных стрессоров на динамику биоценозов проявляется в изменении основных структурных и функциональных параметров сообществ.

Действие на первичных продуцентов.

Сообщества представляют собой совокупность элементов разного уровня организации – виды и популяции. Виды могут реагировать на нарушение принципиально разным образом (как положительно, так и отрицательно). Реакция сообщества на стрессор определяется неодинаковым ответом на нарушение его элементов. Причем ключевое значение имеет фитосоставляющая сообщества, так как она обуславливает его пространственную структуру и определяет специфику местообитания для консументов. При оценке реакции фитоценозов на нарушение обращают внимание на несколько параметров:

1) Параметры нарушения: вид, интенсивность и продолжительность действия, зависимость от параметров окружающей среды (климата, почвы, времени года и др.).

2) Параметры фитоценоза: специфические структурные признаки и чувствительность. Для индикации состояния сообщества исследуются такие параметры как:

- материальный баланс (например, по изменению интенсивности транспирации, фотосинтеза);
- структурные параметры (общее число видов, численность особей, биомасса, ритм продуктивности, экологические группы);
- популяционные характеристики (размеры популяций, плотность, возрастная структура).

Методы оценки экологических условий по растительному покрову довольно интенсивно разрабатываются в индикационной геоботанике. Показателем изменения условий могут служить почвенная микрофлора, фауна почвенных беспозвоночных и другие группы живых организмов. На начальных стадиях процесса лучшими индикаторами будут редкие и немногочисленные виды. При индикации важно выяснить не только факт нарушения экосистем, но и установить, как изменились их важнейшие функции. Сделать это можно по балансу вещественно-энергетического обмена. В качестве эталонной модели используют при-

знаки сбалансированных зрелых экосистем: замкнутость круговорота веществ, низкая скорость обмена биогенных веществ, значительная роль детритного цикла.

Особое значение для индикации нарушений имеет положение о том, что отношение валовой продукции к дыханию в сбалансированных экосистемах равно примерно единице. Для определения этого параметра оценивают интенсивность газообмена сообщества на протяжении периода вегетации и данные о валовой первичной продукции. Определить валовую продукцию можно только приблизительно, приняв во внимание, что чистая первичная продукция сообщества составляет от 30 до 70% от валовой (в среднем 50%).

Для определения интенсивности обменных процессов разных групп животных существуют обобщенные формулы их зависимости от веса, например:

для млекопитающих – $Q=443 W^{0,73}$,

для птиц (при 0°C) – $\log Q=0,6372+0,53\log W$,

для рептилий - $Q=95 W^{0,67}$,

для амфибий - $Q=30 W^{0,67}$,

для насекомых - $Q=65 W^{0,67}$,

для всех пойкилотермных животных $Q=16,54 W^{0,75}$ и другие.

Эти формулы широко используются для установления значения разных групп животных в энергетическом потоке и процессах круговорота веществ в экосистемах.

Математические и статистические индексы и методы оценки структуры.

Обусловленные нарушениями количественные и качественные изменения структуры фитоценоза относительно просто поддаются количественной оценке путем расчета структурных индексов. Коэффициент общности выражается следующим уравнением:

$$KO = \frac{2a}{2a + b + c} \times 100\%, \text{ где}$$

a - виды, присутствующие в год наблюдений и в год, взятый для сравнения;

b - виды, присутствующие только в год наблюдений; c — виды, присутствующие только в год, взятый для сравнения.

Основой для сравнения может служить как первый год в серии наблюдений, так и год, предшествующий последнему наблюдению.

Если оценка изменения степени покрытия важнее, чем изменение числа видов, применяют уже иной коэффициент общности.

При этом изменения степени покрытия учитываются с помощью процентного сходства (ПС) по следующей формуле:

$$ПС = \frac{2 \sum \min(x_i, y_i)}{\sum (x_i + y_i)}, \text{ где}$$

$\min(x_i, y_i)$ означает наименьшую степень покрытия вида, общего для описаний x и y.

Функциональные показатели нарушения равновесия экосистем. Элементарной единицей ландшафта является экотоп. Он складывается из физиотопа

(совокупности абиотических факторов) и биоценозопа, а также формы землепользования. Физиотоп состоит из морфотопа, педотопа, гидротопа и климатотопа. Биоценозоп включает фито- и зооценозы. Биоиндикация на уровне ландшафта касается биоценозопа. Чтобы оценить степень воздействия, необходимо иметь эталон для сравнения. Таким эталоном считают потенциальную естественную растительность ненарушенных местообитаний, которая представляет собой первичное сообщество. При антропогенном воздействии на ландшафт возникают вторичные сообщества, облик и структура которых зависит от вида и интенсивности использования территории. Естественные ландшафты – это мозаика разнообразных форм растительности. Человек, применяя разнообразные методы землепользования, унифицирует экологические условия в пределах ландшафта. Это приводит к уменьшению разнообразия экотопов и растительности. Оценка состояния природных ландшафтов ведется по двум направлениям. Во-первых, это характеристика степени антропогенного преобразования ландшафта и его классификация. Во-вторых – это описание структурных биологических изменений.

Классификация ландшафтов по степени антропогенного преобразования опирается на понятие гемеробности – окультуренности ландшафта. Разработана шкала гемеробности, в которой используются такие критерии, как доля терофитов, доля неофитов, утрата видов естественной флоры (таблица 1). Сравнивая единицы современной растительности по степени гемеробности, получают гемеробные серии. По шкале гемеробности можно разместить не только фитоценозы, но и отдельные виды, и экологические группы видов.

Исследование степени гемеробности определенных растительных сообществ дает ценные данные с точки зрения охраны природы. Агемеробные и олигогемеробные территории представляют собой в большинстве случаев земли, максимально заслуживающие охраны, хотя определенную ценность могут представлять и другие типы сообществ, например, многолетние рудеральные сообщества в городах. По этой же причине карты гемеробности городов пригодны для выделения нуждающихся в охране биотопов, а также районов города, нуждающихся в озеленении.

Таблица 1.

Характеристика степеней гемеробности (по Blum, Sukopp, 1976)

Степени гемеробности	Экосистемы	Антропогенные воздействия	Изменения растительности и флоры			Изменения почвы и местообитания в целом
			растительность	флора		
				доля в видовом составе сосудистых растений, %	нео-фитов	
Агемеробная	Скалистые, болотистые, тундровые, высокогорные	Отсутствуют	Типичные водная, наскальная, болотная и высокогорная	0	<20	Без изменения
Олигогемеробная	Леса с незначительными лесохозяйственными угодьями или слабым выпасом, развивающиеся низинные и верховые болота	Незначительное изъятие древесины, выпас, загрязнение воздуха и воды.	Слабо выпасаемые леса, засоленные луга, развивающиеся верховые или низинные болота, некоторые сообщества водных растений.	<5	<20	Незначительное изменение поступления питательных веществ
Мезогемеробная	Насаждения чуждых данному местообитанию пород деревьев, пустоши, суходольные и малопродуктивные луга, ландшафтные парки	Раскорчевка и реже распашка, сплошные рубки, снятие дернины, слабое удобрение	Растительность сильно изменена человеком	5-12	<20	Незначительное изменение поступления питательных веществ, воды и кислорода
β-Эвгемеробная	Интенсивно используемые пастбища, луга и леса, декоративные газоны	Удобрение, известкование, применение биоцидов	Устойчивые рудеральные сообщества, декоративные газоны, лесопосадки из нехарактерных данной местности видов	13-17	21-30	Повышенное поступление пит. веществ при изменении их доступности под влиянием pH
α-Эвгемеробная	С/х угодья с типичной флорой сорняков, декоративные газоны с сорняками-однолетниками, поля орошения	Выравнивание почвы, регулярная вспашка, умеренное внесение минеральных удобрений	Типичные сеgetальные сообщества, однолетние рудеральные сообщества	13-17	30-40	См. выше; кроме того, изменение пронизанности корнями верхних слоев почвы
Полигемеробная	Специальные культуры, мусорные свалки, отвалы	Глубокая вспашка и осушение или интенсивное орошение, полное уничтожение биоценоза	Слабо конкурентные пионерные биоценозы, доминируют однолетники	18-22	>40	Сильно возросшее поступление и вынос воды и пит. в-в, изменение свойств местообитания
Метагемеробная	Полностью застроенные экосистемы	Биоценозы сильно обеднены или уничтожены	Отравленные или обработанные биоцидами экосистемы	-	-	Преобладание вредных веществ, отсутствие корнеобитаемой толщи

БИОИНДИКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ.

1. Причины и виды загрязнения воздуха. Методы биомониторинга атмосферы.
2. Биоиндикация с помощью высших растений.
3. Лихеноиндикация.

Причины и виды загрязнения воздуха. Методы биомониторинга атмосферы. Роль атмосферы в природных процессах огромна. Основные составные части чистого воздуха как существенной предпосылки для нормального развития организмов подразделяются на три группы:

1. постоянные (O_2 , N_2 , и благородные газы);
2. переменные (CO_2 и водяной пар);
3. случайные (компоненты, определенные местными условиями).

Изменения состава воздуха могут происходить в силу разнообразных причин: погодные влияния, биологические процессы (скопление терпенов над борами, CH_4 над болотами, H_2S над гнилостными очагами и т.п.), антропогенное загрязнение и др. Так что провести четкую границу между антропогенным и природным загрязнением воздуха часто не представляется возможным. *Загрязнение воздуха* имеет место, когда одно или несколько загрязняющих веществ или их смеси находятся в воздухе в таких количествах и так длительно, что создают опасность для биологических систем разного ранга. Для некоторых из этих веществ установлены предельно допустимые концентрации кратковременного (до 30 мин) и долговременного (24 ч.) загрязнения. Набор следовых веществ, загрязняющих воздух, очень широк: газообразные неорганические в-ва, минеральные кислоты, радионуклиды, органические в-ва, пылевидные в-ва и смеси (сажа, зола, угольная и цементная пыль и др.).

Распространение загрязняющих веществ в воздухе зависит от очень многих факторов, в особенности от метеоусловий. Между концентрацией веществ на поверхности почвы или в организмах и их эмиссией в атмосферу существуют сложные взаимоотношения, которые трудно поддаются количественному определению. Биоиндикация вредных веществ в воздухе основана только на их проникновении в живые организмы. Слишком высокое или низкое содержание обычных составных частей может приводить к замедлению или остановке определенных процессов метаболизма, а наличие в воздухе токсических веществ быстро вызывает биохимические и физиологические нарушения на разных уровнях.

Для выявления действия загрязнителей воздуха на живые организмы можно пользоваться как активным, так и пассивным мониторингом.

При активном мониторинге оправдал себя *метод организмов-ловителей*. Сущность метода заключается в том, что в тест-камерах (контрольной и экспериментальной) размещают особо чувствительные к загрязнениям воздуха организмы, где в течение экспериментального периода поддерживаются стандартизированные условия. В контрольном варианте происходит постоянная фильтра-

ция воздуха, а в экспериментальной камере воздух не фильтруется. Оценивается реакция тест-организмов на конкретный загрязнитель или их смесь.

При пассивном мониторинге для изучения последствий загрязнения используются индикаторные свойства свободноживущих организмов исследуемой области. Такая индикация является чаще всего неспецифичной вследствие сложности факторов местообитания. Интерпретация полученных таким образом данных должна проходить с учетом знания конкретных экологических условий (биологии вида, его экологической ниши, трофического уровня, пищевых цепей). Чем выше трофический уровень вида, тем сложнее использовать его в качестве биоиндикатора, особенно по аккумулярующему типу, вследствие сложности и многообразия пищевых цепей, в которых участвуют особи разных возрастных групп, полов. Контроль пищевых сетей должен охватывать не только непосредственные стрессоры, но и их метаболиты, учитывать r-, S- и K-стратегии видов, встречающихся в различных экосистемах.

Биоиндикация с помощью высших растений. От загрязнения воздуха страдают биологические системы разного происхождения. Но, следует иметь в виду, что животные и человек адаптированы к постоянному содержанию в воздухе кислорода, в то время как растения с их ассимиляционным аппаратом приспособлены к значительно более низким концентрациям в атмосфере CO_2 , и поэтому более чувствительны к концентрациям вредных веществ в воздухе. По этой причине растениям придается особое значение как биоиндикаторам атмосферного загрязнения.

Высшие растения очень различаются по чувствительности к разнообразным загрязнителям воздуха (таблица 2).

Таблица 2

Чувствительность некоторых древесных пород к длительному загрязнению воздуха.

<i>Виды</i>	<i>SO₂</i>	<i>HF</i>	<i>NH₃</i>	<i>HCl, Cl₂</i>
Ель обыкновенная	+++	+++	++	+++
Сосна обыкновенная	+++	++	++	+++
Пихта белая	+++	+++	++	+++
Сосна Веймутова	++	++	·	++
Лиственница европейская	++	++	++	++
Граб обыкновенный	++	++	+++	+++
Липа мелколистная	++	++	+++	·
Рябина обыкновенная	++	·	·	·
Береза повислая	++	+	++	·
Береза пушистая	++	++	·	·
Вяз шершавый	+	·	·	·
Осина дрожащая	+	·	·	+
Сирень обыкновенная	+	+	·	·
Роза собачья (шиповник)	+	+	·	·
Дуб черешчатый	-	-	-	++
Клен ясенелистный	-	+	+	·
Бузина черная	-	-	-	·
Бузина красная	-	-	-	·
Бересклет европейский	-	·	-	·

Слива садовая	.	+++	.	.
Лещина обыкновенная	.	++	.	.
Яблоня домашняя	.	++	.	.
Каштан конский	.	+	.	.

«-» - нечувствительные, «+» - малочувствительные, «++» - чувствительные, «+++» - очень чувствительные, «.» - реакция недостаточно изучена.

У растений под действием различного рода стрессоров возникают биохимические, физиологические и морфологические отклонения от нормы. Последние являются часто используемыми показателями в качестве тест-функций, т.к. могут изучаться без специальных лабораторий и обученного персонала, а также имеются испытанные стандартизированные морфологические индикаторы и условия их применения. Морфологические изменения ассимиляционного аппарата – очень удобный диагностический параметр, который иногда проявляется в виде специфической реакции на стрессор (таблица 3).

Фитоиндикационным методом, дающим достаточно надежную экологическую оценку состояния природных экосистем, является изучение верхушечного и радиального годичного прироста у древесных растений, интенсивности транспирации и фотосинтеза, величины и скорости продуцирования биомассы. При оценке лесных экосистем в процессе постепенной деградации насаждений выделяют несколько стадий: фоновую (естественное состояние), преддигрессивную, дигрессивную при сохранении эдификаторной роли древесного яруса, дигрессивную при разрушении древесного яруса, редину, пустошь, техногенную эродированную пустыню. Данные модификации различаются структурой фитомассы видов – эдификаторов, а также отдельных элементов фитоценоза.

Таблица 3

Признаки изменения ассимиляционного аппарата под действием некоторых элементов.

<i>Элемент, находящийся в избытке</i>	<i>Концентрация</i>	<i>Признаки отравления</i>	<i>Биоиндикаторы</i>
Двуокись серы	Влияние длительного воздействия SO ₂ в концентрации менее 0,5 мг/м ³ Длительное влияние слабых концентраций двуокиси серы (менее 0,1 мг/м ³)	У растений появляются слабые повреждения, обнаруживающиеся по общему обесцвечиванию листа. Межжилковые некрозы и хлорозы. Наблюдается деформация листовых пластинок в виде морщинистости, скручивания без заметного изменения их окраски. На листьях образуются наросты, края становятся коричневыми, а затем бледно-желтыми.	Люцерна, гречиха, подорожник большой, горох.
Хлор		Появление различного рода пятен и красноватого оттенка листьев. Побледнение листьев, деформации хлоропластов.	Шпинат, фасоль, кресс-салат.
Озон		Появление на листьях темно-коричневых пятен и точечных некрозов на верхней стороне листьев.	Табак, шпинат, соя.
Фтор, фторид-	Невысокие кон-	На листьях появляются узкие некротиче-	Райграсс мно-

ионы, ионы металлов	центрации	ские светло-желтые полосы, распространяющиеся по периферии листа от верхушки к его основанию. Ионы накапливаются в сухом веществе.	гоцветковый, полевица ползучая, полевица тонкая, горчица белая, листовая капуста, конский каштан, мхи.
Окислы азота, аэрозоли, азотистая кислота	Концентрация, превышающая 2 мг/м^3	Сильные повреждения ассимиляционных органов, которые схожи с повреждениями, вызванными SO_2 . Отличительной особенностью являются участки, чаще всего возникающие в верхней части, реже – в середине листовой пластинки. Межджилковые некрозы.	Шпинат, сельдерей.
Этилен	Слабая концентрация	Отмирание цветочных почек, мелкие размеры цветков, закручивание краев листьев, повышение пероксидазной активности.	Перуния, салат, томаты.
Пероксиацетилнитрат	Длительное влияние слабых концентраций (менее $0,1 \text{ мг/м}^3$)	Полосчатые некрозы на нижней стороне листьев	Крапива жгучая, мятлик однолетний.
Радионуклиды	Невысокие концентрации	Накопление в сухом веществе	Олений мох, исландский мох
Сочетание вредных веществ в воздухе, смог	Высокие концентрации смога (основные компоненты: озон и пероксиацетилнитрат)	Поражаются субэпидермальные клетки нижней стороны листа. появляются вздутия и серебристый налет листьев, образуются некротические пятна, сосредоточенные посреди и по краям листа. Уменьшение прироста клеток.	Пихта, ель, сосна, выводковые почки

С помощью методов биоиндикации, основанных на морфологии растений, создают картосхемы антропоического влияния, а также используют их при селекции устойчивых линий растений.

Лихеноиндикация. Лихеноиндикация – направление лихенологии (II пол. XX в.), в задачи которого входит изучение влияния атмосферного загрязнения на лишайники в полевых условиях, нахождение зависимости между характеристиками лишайникового покрова (число видов, присутствие, степень покрытия, синтетический индекс лишайникового покрытия) и параметрами, характеризующими уровни локального и регионального загрязнения.

Можно выделить два главных направления использования лишайников в биоиндикации и биомониторинге антропоического загрязнения:

- индикация изменений загрязнения среды в пространстве;
- мониторинг изменений загрязнения среды во времени.

Для решения названных проблем изучаются разные признаки лишайникового покрова, и выводы делаются на основе анализа, как всего комплекса учиты-

ваемых показателей, так и выявленных изменений только одного признака. Суждения базируются на сравнительном изучении видового состава лишайников, формируемых ими группировок, распространении отдельных видов, морфологических изменений слоевищ, физиологических показателей, прироста, концентрации загрязнителей в слоевищах и др. Для обоснования выводов, получения более интегрированных оценок используются также различные индексы, производится математическое моделирование процессов. Индикация изменений качества воздуха осуществляется на разных уровнях: это большие и малые города, территории вокруг промышленных предприятий, рекреационные зоны, а также крупные административно-территориальные образования.

Программа периодических исследований включает:

1. инвентаризацию флоры лишайников;
2. выявление и характеристику лишайниковых синузид в основных типах сообществ, на всех главных субстратах, определение числа видов лишайников в сообществе, величины покрытия слоевищами лишайников субстрата;
3. картирование компонентов точно фиксированных фрагментов наиболее распространенных лишайниковых синузид;
4. детальное картирование распространения на исследуемой территории отдельных видов лишайников, признанных чувствительными и очень чувствительными к загрязнению, отмечаются состояние растения: плодоношение, наличие повреждений и прочее;
5. определение скорости роста представителей отдельных видов лишайников;
6. определение содержания ряда элементов в слоевищах лишайников.

В основе изменения видового состава лишайниковых сообществ под влиянием загрязнения лежит дифференциальная чувствительность различных видов к воздействию поллютантов. Большое количество данных, касающихся распространения видов, и длительный мониторинг по определению концентраций поллютантов в местах их произрастания позволяют составить точные количественные шкалы чувствительности видов к различным загрязнителям. Выделяют несколько групп лишайников по их чувствительности к газообразным загрязнителям:

1. *Устойчивые к загрязнению* – виды, покрытие которых под действием загрязнения (на расстоянии от 30 км от источника) уменьшается в 10 раз (преимущественно в 3-5 раз). А также виды, встречающиеся на других субстратах на расстоянии 8-15 км от источника загрязнения и демонстрирующие свою биологическую устойчивость. *Lecidea flexuosa*, *Lecanora fuscescens*, *Parmeliopsis ambigua*, *Parmeliopsis hyperapta*. В незагрязненных условиях это обильные виды. К этой группе относят ряд эпигейных представителей родов *Cladonia* и *Cetraria*. В незагрязненных условиях это довольно редкие виды, встречающиеся у основания деревьев. На загрязненных территориях процветают: *Scoliciosporum chlorococcum*, *Lecanora conizaeoides*.

2. *Чувствительные к действию атмосферного загрязнения* – виды, покрытия которых под действием загрязнения (на расстоянии 30 км) уменьшается более чем в 10 раз. *Parmeliopsis aleurites*, *Bryoria simplicior*, *Hypogymnia physodes*,

Ohrolichia anarogyna. В фоновых условиях эти виды являются доминантными, а *Parmeliopsis aleurites* – один из основных видов, формирующих лишайниковый покров на стволах сосен. Особое внимание исследователей привлек лишайник гипогимния вздутая (*Hypogymnia physodes*), серые, узколопастные слоевища которой часто встречаются на стволах хвойных. Он широко распространен на территории Европы и при концентрации сернистого газа $0,23 \text{ мг/м}^3$ воздуха этот лишайник полностью отмирает за 29 суток. При меньшей концентрации сернистого газа ($0,08 \text{ мг/м}^3$) после 8 – суточного воздействия некроз занимал 60% площади слоевища.

3. *Очень чувствительные* – не присутствуют на стволах на расстоянии 30 км от источника, но не сразу выпадают, а встречаются на других субстратах. *Cetraria chlorophylla*, *Cetraria sepincola*, *Bryoria fremontii*, *Mycoblastus sanguinarius*. В незагрязненных районах они встречаются менее чем в 5 % описаний.

4. *Не переносящие загрязнений* – виды, на расстоянии 30 км от источника, под действием загрязнений исчезают отовсюду, полностью выпадают из лишайниковой растительности. В незагрязненных районах они встречаются менее чем в 1 % описаний. *Usnea hitra*, *Bryoria furcellata*, *Evernia mesomorpha*, *Platismatiaglausa*.

Для мониторинга используют виды первой – второй группы. Учет третьей и четвертой групп затруднителен из-за редкой встречаемости и незначительного покрытия.

Для оценки загрязнения атмосферы города, районного центра или другого объекта делят его на квадраты, в каждом из которых подсчитывается общее число исследуемых деревьев и деревьев, покрытых лишайниками. Пробная площадка ограничивается на стволе дерева деревянной рамкой ($10 \times 10 \text{ см}$), которая разделена проволокой внутри на квадраты 1 см^2 . Отмечают количество видов на пробной площадке и площадь их покрытия. Кроме того, указывают жизнеспособность каждого образца. Для оценки степени покрытия должны выбираться только отдельно стоящие, растущие вертикально, взрослые деревья, у которых на стволе, на высоте 30-150 м описывают минимум 4 пробных площадки в наиболее заросшей лишайниками части коры. Для каждого вида или типа роста (накипные – Н, листоватые – Л, и кустистые – К) производят расчет средних баллов встречаемости и покрытия. Зная эти показатели, можно рассчитать показатель относительной чистоты атмосферы (ОЧА) местообитания:

$$ОЧА = \frac{H + 2L + 3K}{30}$$

Чем выше ОЧА (ближе к единице), тем меньше загрязнений в атмосфере. Имеется прямая связь между ОЧА и средней концентрацией диоксида серы в воздухе.

Можно провести оценку индекса чистоты атмосферы (ИЧА) в пределах всей анализируемой территории:

$$ИЧА = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot f_i ,$$

где Q_i - коэффициент токситолерантности вида i (среднее число видов, сопровождающих вид i по всем пунктам); f_i – степень покрытия / частота вида i в каждом пункте.

Следует иметь в виду, что коэффициент токситолерантности видов лишайников может отличаться в разных ландшафтах и при его расчете должны учитываться и накипные лишайники. Хорошие результаты дает изучение всего сообщества лишайников: по его изменениям судят о влиянии промышленных выбросов. Подобные исследования можно проводить и со мхами, которые часто реагируют с еще большей чувствительностью, чем лишайники.

Часто используется метод трансплантации лишайников в исследуемый район. Существует несколько способов трансплантации. Напочвенные лишайники переносят вместе с почвой, вырезая участки размером 20×20 или 50×50 см. Кустистые виды можно переносить в специальной посуде или подвешивать в сетках. Эпифитные виды переносят вместе с ветками или частями коры, на которых они росли. В исследуемом районе их располагают на тех же видах деревьев, с которых они были сняты, или к специальным доскам и столбам на одинаковой высоте. Через определенные промежутки времени (4, 8, 12 месяцев) оцениваются изменения пересаженных лишайников по 4-балльной шкале:

- 1- повреждений нет,
- 2- некоторые незначительные повреждения,
- 3- сильное повреждение,
- 4- слоевище полностью повреждено.

Кроме того, анализируются следующие признаки повреждений:

- изменение окраски слоевища;
- появление на слоевище пятен различной окраски;
- уменьшение степени прикрепления лишайников к субстрату;
- появление трещин на слоевищах;
- уменьшение числа плодовых тел (апотециев) или особых вегетативных образований (изидий).

Пересадка дает сведения об индивидуальной устойчивости видов. Она удобна еще и тем, что до некоторой степени позволяет изучать воздействие каждого загрязняющего вещества по отдельности.

На основании полученных результатов исследования территорию исследуемых районов картируют на зоны с разным уровнем загрязнения.

ЛЕКЦИЯ 5.

БИОИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОЧВЫ.

1. Причины и виды загрязнения почвы.
2. Индикация физико-химических параметров почв.
 - 1) Загрязнение газами;
 - 2) Загрязнение пылью и золой;
 - 3) Загрязнение солями металлов;
 - 4) Загрязнения агрохимикатами;
 - 5) Загрязнение органическими и радиоактивными веществами.

Причины и виды загрязнения почвы. Почва, будучи частью всех наземных экосистем, активно участвует во многих важных процессах преобразования вещества. Когда происходит количественное изменение долгое время державшихся на одном уровне факторов среды или вступают в действие совершенно новые экологические факторы, влияющие на почву, могут возникнуть нагрузки, которые нанесут вред почвенным организмам или даже изменят систему ценологических взаимоотношений между ними.

Загрязнение почвы вызывается различными по масштабу и по территориальному размаху явлениями, поэтому при их определении и оценке с помощью биоиндикаторов используют различные предпосылки и соответственно различные способы. Выделяют:

1. широкомасштабное территориальное (глобальное) загрязнение почвы, вызываемое совокупностью большого числа отдельных источников, трудно идентифицируемых;
2. территориально ограниченное загрязнение, причиной которого является в большинстве случаев более или менее известное число ограниченных по своему территориальному влиянию источников;
3. локальное узкоограниченное загрязнение почвы с кратко- или долговременным воздействием на отдельные организмы и экосистемы.

Индикация физико-химических параметров почв. Индикация плодородия почв, глубины залегания грунтовых вод, кислотности почв и других характеристик проводится с использованием методов альгоиндикации, биомониторинга с помощью высших растений и сообществ почвенных животных. Анализ состояния почвенного микробиоценоза может быть осуществлен количественным учетом различных групп (видов) или измерением интегральных параметров функционирования. К ним относят почвенное дыхание, скорость разложения целлюлозы и других субстратов, интенсивность включения глюкозы и накопления аминокислот, активность азотфиксации и нитрификации. Информативным параметром является изменение видового состава почвенных сообществ, биомассы почвенных микроорганизмов. Индикаторным параметром может служить репродуктивная функция актиномицетов. По результатам индикации выделяют несколько состояний почв, характеризующих переход от благоприятных к неблагоприятным условиям существования под влиянием антропогенных нагрузок:

- 1) сохранение стабильности состава сообщества (*зона гомеостаза*),
- 2) перераспределение доминантных популяций (*зона стресса*),
- 3) преимущественное развитие устойчивых популяций (*зона резистентности*),
- 4) полное подавление роста и развития микроорганизмов в почве (*зона репрессии*).

Различают несколько типов изменения почв, вызванных разными причинами и приводящих к нарушению структурно-функциональных связей почвенных сообществ. *Физическое изменение* связано с различными, прежде всего механически действующими агентами, способными, особенно если они влияют на ризосферу, привести к существенным нагрузкам на соответствующие экосисте-

мы. Они могут быть связаны с химическими изменениями или часто приводят к таким изменениям. *Химическое загрязнение* вызвано веществами, действующими в виде газов, растворов (в большинстве случаев водных), или твердых тел и не вызывающими при этом, по крайней мере в начальной стадии, изменений физического характера.

Физическое изменение почвы.

В случае необрабатываемых почв изменение вследствие антропогенных физических нагрузок в близких к природным экосистемах (например, лесах), как правило, относительно невелико. В экосистемах с повышенной антропогенной нагрузкой оно может принять более широкие масштабы.

Физическим нагрузкам сильно подвержены все имеющие антропогенное происхождение (т.е. сильно измененные) почвы. Это относится к большей части почв, возникающих в процессе рекультивации бывших горных разработок, на месте поселений или промышленных предприятий.

Причины физических нагрузок на почву:

- 1) прямые механические воздействия:
 - повышенное давление на поверхность почвы (транспорт, вытаптывание);
 - особые агротехнические мероприятия, проводимые в пахотном слое почвы или в подпочве;
- 2) процессы, связанные с перемещением почвы:
 - водная эрозия;
 - эоловые отложения (особенно вследствие промышленных выбросов).

Изменение почвенных параметров касается, прежде всего, сложения и структуры почвы, например ее порозности и плотности горизонтов, что может привести к уменьшению вентиляции и дренажа.

На уровне фитоценозов это сказывается в затруднении прорастания семян и проникновения корней в почву с последующим замедлением роста корней и побегов. В почвенных ценозах происходит снижение активности и обилия организмов (микроартропод и микробов), разлагающих органические вещества. Наблюдаемое в полевых условиях и экспериментально полученное уплотнение почвы определяется пенетрометрически. Параллельно в лаборатории и в поле можно провести исследования важных экологических параметров (прорастание, рост побегов и корней, продуктивность).

Подорожники *Plantago major*, *P. lanceolata*, *P. media* демонстрируют, например, видоспецифичные различия в отношении к уплотнению (вытаптыванию) почвы. В результате представляется возможным путем оценки популяционно-экологических параметров названных видов использовать полученные данные для биоиндикации.

Химическое загрязнение почвы.

Загрязнение почвы, обусловленное химическими причинами, значительно превосходит по своему воздействию, как в количественном, так и в качественном отношении все виды ее физического изменения. При этом прямое и косвенное загрязнение удается разграничить не всегда.

Химическое загрязнение почвы вызывается разными причинами. Оно происходит либо произвольно (например, в результате применения средств защиты растений) или непреднамеренно (в случае промышленных выбросов). В связи с этим в большинстве случаев с территориальной точки зрения различными могут быть и радиус действия, и интенсивность загрязнения. Исходя из агрегатного состояния и способа действия загрязнителей, их делят на группы:

- ✓ газы (особенно серосодержащие промышленные выбросы, галогениды и окислы азота);
- ✓ пыль (зола, известковая пыль, частицы, содержащие тяжелые металлы, особенно промышленные выбросы);
- ✓ соли (переносимые воздухом и водой, особенно при посыпании зимой улиц или при добыче и переработке соли);
- ✓ агрохимикаты (средства защиты растений, удобрения);
- ✓ органические газы и жидкости (прежде всего продукты ископаемых видов топлива);
- ✓ радиоактивные осадки (гл. образом при загрязнении ими воздуха).

Изменение химических параметров почвы отражается спустя короткий или длительный период на росте и продуктивности отдельных видов, их популяций или приводит к более или менее сильным нарушениям структуры фитоценозов и даже к развитию сукцессий.

По причине физико-химической специфики отдельных почв при одинаковой интенсивности и продолжительности действия химического стрессора степень и форма возникающего хим. загрязнения может быть различной. Для биоиндикации это важно, поскольку между химической обстановкой и ее влиянием на биоценоз не обязательно существует линейная зависимость. Решающее значение для действия на биологическом уровне имеет по этой причине соотношение интенсивности стрессора и специфической реакции буферной системы почвы.

Загрязнение газами. Загрязнение почвы сернистым газом происходит вместе с загрязнениями другими газами или пылью, поэтому его непосредственное влияние трудно поддается определению. Действие сернистого газа выражается, прежде всего, в подкислении почвы, захватывающем, главным образом, ее верхние горизонты. Но при одновременном воздействии на почву пыли, имеющей основную реакцию, может начаться частичная нейтрализация или даже подщелачивание. Поэтому важно оценивать соотношение этих двух видов загрязнителей при их одновременном действии.

Подкисление почвы приводит к дефициту важных минеральных веществ в результате повышения их подвижности и вымывания, токсичности растворимых при pH ниже 4 ионов Al^{3+} .

При оценке влияния кислотного дождя на почву средствами биоиндикации можно использовать следующие возможности:

- опыты по стандартизированному выращиванию специально подобранных кислотоустойчивых или кислоточувствительных видов на субстратах с соответствующим химическим загрязнением. В зависимости от цели нарушения

изучаются на биохимическом, физиологическом, морфометрическом или продуктивно-экологическом уровне;

- оценка изменений естественных фитоценозов по соответствующим структурным параметрам вдоль градиента загрязнения.

Загрязнение пылью и золой. Экологически существенные воздействия при загрязнении пылью оказываются в двух основных направлениях:

- ✓ изменение общей насыщенности основаниями;
- ✓ накопление металлов (прежде всего тяжелых).

Обе формы загрязнений могут выступать как независимо, так и совместно. Биоиндикацию этих нарушений можно осуществлять на разных уровнях. У продуцентов изучается популяционная динамика соответствующих видов, на уровне фитоценозов оцениваются структурные параметры на площадках длительного наблюдения. Оценка загрязнения почвы тяжелыми металлами возможна с помощью аккумулирующих биоиндикаторов, которые потребляют тяжелые металлы вместе с пищей и включают их в обмен веществ. Доля отдельных элементов в общем содержании ТМ различна в почвах, обогащенных ими как природным, так и антропогенным путем. Естественные почвы с высоким содержанием ТМ существуют в разных частях света, как существуют и устойчивые к ТМ популяции растений. Но следует иметь в виду, что не существует тотальной устойчивости к ТМ, она носит избирательный характер.

Возможные методы биоиндикации:

- оценка нагрузки на первичный обмен веществ по активности ферментов;
- опыты по культивированию разных по устойчивости видов растений на субстратах со ступенчато изменяющейся концентрацией загрязнителей. При этом оцениваются выживаемость, рост корней и побегов, некрозы;
- для оценки уже имеющейся у растений устойчивости к ТМ проводят сравнительное измерение роста корней и метод сравнительной протоплазматки;
- использование активности и обилия почвенных микроорганизмов в качестве биоиндикаторов содержания в почве ТМ.

Загрязнение солями металлов. Загрязнение почвы растворенными или твердыми солями металлов возникает в результате деятельности соледобывающих и перерабатывающих предприятий, недостаточной эффективности дренажных систем при орошении, применении солей для очистки улиц ото льда и др. Для биоиндикации в каждом конкретном случае важно знать причины различий в солевом стрессе у отдельных видов при равной интенсивности загрязнения. Неодинаковый ущерб объясняют видоспецифичным поглощением соответствующих ионов. А если накопление происходит в недолговечных ассимиляционных органах, то действие стрессора может производить ничтожный эффект. В отношении биоиндикации рекомендуют оценку кратковременного воздействия загрязненных почв на прорастание (загрязнение поверхности почвы и ее верхних горизонтов) и развитие растений (высаживание стандартизированных видов или основных эдификаторов фитоценозов в интересующие местообитания).

Загрязнения агрохимикатами. Загрязнение почвы агрохимикатами связано с применением средств защиты растений, удобрений и регуляторов роста. В

зависимости от их назначения эти вещества воздействуют на биоценозы по-разному.

Гербициды, фунгициды, инсектициды меняют пространственные и функциональные отношения в экосистемах. Поэтому важными вопросами являются определение стойкости гербицидов (диагностика в опытах с высшими растениями и микроорганизмами: предварительная экстракция, либо непосредственное подмешивание гербицидов к стандартизированным субстратам), определение изменений на популяционно-динамическом уровне в популяциях изучаемых организмов.

Для биотестирования отработано немало методов на различных культурах: белой горчице (*Sinapis alba* L.), озимой и яровой пшенице (*Triticum aestivum* L.), овсе (*Avena* L.), гречихе (*Fagopirum* L.), огурце (*Cucumis* L.), кресс-салате (*Lepidium sativum* L.), сое (*Glycine* L.), льне (*Linum* L.), еже сборной (*Dactylis glomerata* L.).

На горчице учитывают степень ингибирования первичного корешка проростка после обработки семян противодвудольным гербицидом. Определяют также увядание растений, торможение прироста листьев надземной массы проростков. Овес и рис используют как индикаторы почвенных противозлаковых гербицидов, так как это наиболее чувствительные виды среди злаковых культур. При этом основным тестом является ингибирование роста зародышевого корня и листа. Редис является традиционным биотестом при исследовании остатков пестицидов в почве и конечной продукции растениеводства, так как обладает наиболее высокой чувствительностью к фитотоксичным препаратам, что обусловлено высокой энергией прорастания его семян и скороспелостью культуры.

На огурце и гречихе тестируют гербициды – производные мочевины и фенилкарбамады. При этом у огурца учитывают рост первичного корня, у гречихи – утолщение стебля, деформацию зародышевых листьев, а также торможение роста. Кресс-салат используется как тест-объект для оценки загрязнения воздуха и почвы. При наличии токсичных веществ снижается процент всхожести и ингибируется рост зародышевых корешков. Однако этот тест является неспецифичным и не позволяет установить природу загрязнителя. Очевидно, это объясняется генетической неоднородностью культуры.

Действие пестицидов на злаках обнаруживается по их влиянию на морфогенез растений, проявляющийся в изменениях типах морфозов. У озимой пшеницы, при высокой пестицидной нагрузке (диален, лонтрел, тили, байлетон, метафос) наиболее распространенным и устойчивым типом морфоза является «мутовка», т.е. увеличение числа колосков на уступе колосового стержня. Колосовые морфозы и фазовый индекс могут быть успешно использованы в качестве диагностической тест-системы.

Загрязнение органическими и радиоактивными веществами. Загрязнение почвы этой группой веществ происходит, главным образом, при различных авариях. В качестве биоиндикаторов часто используются гидропонные культуры, которые в дальнейшем обрабатываются загрязнителями. Биоиндикация радиоактивных загрязнений затруднена, прежде всего, в связи с опасностью проведения

опытов. Но есть литературные данные, согласно которым в качестве аккумулятивных биоиндикаторов могут использоваться лишайники.

ЛЕКЦИЯ 6

БИОИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ.

1. Параметры водной среды.
2. Биотестирование качества вод.
3. Биоиндикационные методы.
 - 3.1. Альгоиндикация;
 - 3.2. Животные-биоиндикаторы качества вод.
4. Интегральная оценка качества природных вод.

Параметры водной среды. Вода является важнейшим возобновляемым природным ресурсом. В результате нарушения природного равновесия вода необратимо меняет свои качества, и в последнее время резко обострилась проблема достаточного количества биологически полноценной воды. Свойства и качество природных вод зависят от состава и концентрации содержащихся в ней веществ. Природная вода содержит многочисленные растворенные вещества – соли, кислоты, газы, продукты отходов промышленных предприятий и нерастворимые частицы минерального и органического происхождения. Водоемы, загрязненные органическими стоками, как и организмы, способные в них жить, называют *сапробными*. По степени загрязненности вод органическими веществами водоемы, или их зоны, классифицируют на:

- 1) *полисапробные* (содержат большое количество органических веществ, кислород отсутствует);
- 2) *мезосапробные* (в этой зоне нет неразложившихся белков, в воде растворены сероводород, диоксид углерода и кислород, происходит минерализация органических веществ). В этом классе сапробности выделяют две подзоны:
 - *α-мезосапробная* (вода умеренно загрязнена органическими веществами, есть аммиак и аминокислоты, кислорода мало);
 - *β-мезосапробная* (органических загрязнителей мало, кроме аммиака, есть продукты его окисления – азотная и азотистая кислоты, много кислорода);
- 3) *олигосапробные* (практически нет растворенных органических соединений, кислорода много, вода чистая).

Биотестирование качества вод. Для оценки качества природных вод пригодны и биоиндикационные методы, и приемы биотестирования. Суть токсикологического контроля качества вод заключается в относительно кратковременном наблюдении за какой-либо характеристикой тест-организмов, помещенных в исследуемую среду. Биотестирование с применением гидробионтов может быть использовано для оценки токсичности загрязняемых природных вод, контроля токсичности сточных вод, ускоренной оценки экстрактов, смывов и сред с санитарно-гигиеническими целями. В ходе лабораторных токсикологических тестов устанавливаются критерии качества вод, выраженные значениями ПДК, ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) и др. Для каждого

тест-организма устанавливается круг основных тест-параметров, контролируемых в обязательном порядке. При этом для надежного контроля токсичности загрязнителей должно быть использовано несколько тест-объектов.

Токсикологические исследования проводят на зеленых водорослях *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella vulgaris*, *C. Pyrenoidosa*, видах рода *Ankistrodesmus* и др. Токсичность испытываемых веществ определяют по визуальным показателям (изменение окраски культуры водорослей, лизис клеток), значениям pH культуры, численности клеток, выделению и поглощению кислорода, соотношению живых и мертвых клеток. Для более полной оценки токсичности веществ используют показатели биомассы клеток, содержание хлорофилла и каротиноидов и др. наиболее удобные тест-объекты из макрофитов – элодея (*Elodea Canadensis*) и рясковые (ряска малая (*Lemna minor L.*) и ряска тройчатая (*Lemna trisulcs L.*)). В острых опытах устанавливают концентрации веществ, вызывающие за 10 дней роста культуры гибель 50% особей. В хронических опытах при разведении исходной острой концентрации контролируют визуальные повреждения (изменение окраски, потеря тургора и др.), выживаемость и прирост основного побега, число боковых отростков и их длину, число и длину корней. Ряска малая (*Lemna minor L.*) и ряска тройчатая (*Lemna trisulcs L.*) чувствительны к загрязнению воды при содержании в ней до 10 мкг/мл ионов Ва, Сu, Mg, Fe, Со. На каждый загрязнитель у видов рясок проявляется специфическая реакция. На медь (0,1 – 0,25 мг/мл) листецы реагируют полным рассоединением из групп и изменением окраски с зеленой на голубую; реакция проявляется через 4 часа после воздействия. Реакция на цинк (0,025 мг/мл) заключается в изменении окраски листеца с насыщенно зеленой до бесцветной, где зелеными остаются только точки роста. Барий (0,1-0,25 мг/мл) вызывает полное рассоединение листецов, опадание корней и изменение окраски с зеленой на молочно-белую. Кобальт (0,25-0,0025 мг/мл) - полную приостановку роста и потерю окраски. Кроме этого, в качестве тест-функции используют изменение количества хлоропластов в эпистрофном положении как чувствительный показатель, свидетельствующий о степени загрязнения системы.

В качестве тестовых организмов могут выступать и простейшие, например, инфузории *Paramecium caudatum*. Отклик на токсиканты определяют по показателям выживаемости особей и функции их размножения, выражающейся в изменении скорости клеточного деления. ПДК для ракообразных устанавливают на примере представителей отряда *Cladocera* *Daphnia magna*, *D. longispina*, *D. carinata*, *Ceriodaphnia affinis*. В острых опытах степень воздействия той или иной концентрации вещества оценивают по времени гибели 50% популяции. В хронических опытах исследуют такие популяционные характеристики, как выживаемость, рост, плодовитость и качество потомства. Среди представителей бентоса удобными тест-объектами являются брюхоногие моллюски и личинки хирономид. При токсикологических испытаниях используют также представителей ихтиофауны - мальков и взрослых рыб из семейств лососевых (форель, пелядь), окуневых (судак, окунь), карповых (плотва, пескарь, верховка, голавль, голянь, лещ, красноперка, карп, карась). Степень отравления определяют по изменению следующих показателей: выживаемость рыб, прирост или снижение биомассы,

клиническая картина отравления, характер питания, характер и частота дыхания, внешний вид, состояние жаберного аппарата.

Интегрируя предельные концентрации для разных организмов, полученные в лабораторных токсикологических опытах, вычисляют используемые в природоохранных документах ПДК. Существуют нормативы, регламентирующие состав воды отдельно в водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового использования и в водоемах рыбохозяйственного назначения.

Тем не менее, нельзя согласиться с одним из основополагающих принципов концепции ПДК, указывающим на абсолютную универсальность полученных нормативов, пригодность их для любой природной зоны, любого времени года, любого местообитания. Каждая экосистема обладает эволюционно обусловленным уникальным комплексом связей между отдельными компонентами, специфическим адаптационным потенциалом к возможным опасным воздействиям, выработанной со временем токсикорезистентностью. На водные экосистемы помимо химического загрязнения оказывают влияние и многие другие антропогенные факторы нехимической природы, например, тепловое загрязнение, изменение гидрологического режима водоема. Состояние водных экосистем находится в прямой зависимости от состояния площади водосбора, уровня антропогенной освоенности бассейна, береговых и русловых деформаций и т.п. В результате ПДК часто оказываются завышенными или заниженными. Поэтому ПДК можно использовать как важные ориентиры при планировании деятельности, связанной с возможным загрязнением среды, а биотестирование может служить дополнением, но не альтернативой методам биоиндикации и экологического нормирования в природных экосистемах.

Биоиндикационные методы. Биоиндикация ориентирована на изучение сообществ организмов в природных экосистемах и позволяет оценивать их состояние по целому комплексу биотических показателей, на которые совместно влияют все компоненты соответствующего геоценоза.

Альгоиндикация. Водорослям принадлежит ведущая роль при биоиндикации изменения состояния водных экосистем, так как они быстрее других водных организмов реагируют на загрязнение, являются чувствительными индикаторами тяжелых металлов, органического загрязнения и др.

Для оценки используются водоросли трех экологических групп: фитопланктон, фитобентос и перифитон. Индикаторными показателями являются видовое разнообразие, обилие отдельных видов, содержание хлорофилла, валовая суточная продукция фитопланктона. Видовой состав перифитонных сообществ может служить индикатором экосистемной «целостности». Высокая представительность диатомей свидетельствует о высоком уровне целостности. В то же время увеличение доли нитчаток или цианобактерий – показатель его снижения. Видовой состав фитопланктона и численность видов могут служить индикаторами тяжелых металлов, нефтепродуктов и дисперсантов. Довольно чувствительным методом является изучение вариабельности динамики биомассы фитопланктона. Показано, что вариабельность, измеряемая как отношение минимальной биомассы к максимальной за год, возрастает пропорционально увеличению изменчивости температуры в водоеме.

Наибольшей популярностью пользуется метод, основанный на учете относительного обилия видов-индикаторов сапробности (индексы Сладчека, Ватанабе, Пантле и Букка). Индекс вычисляется по формуле:

$$S = \frac{\sum sh}{\sum h}, \text{ где}$$

s – индивидуальная сапробность каждого вида, h – численность вида или относительная частота встречаемости.

В полисапробной зоне водоема наблюдается обилие инфузорий и бактерий, видов водорослей немного: это хлорелла, политома и некоторые виды хламидомонад. При этом численность водорослей может быть высокой. В мезосапробной зоне видовое разнообразие водорослей большое. При этом в β -мезосапробной зоне количество видов водорослей больше, чем в α -мезосапробной, но их численность может быть ниже. Наличие α -мезосапробов говорит о существовании очагов загрязнения в относительно чистых водоемах (например, у сбросов очищенных вод городской канализации). Типичные α -мезосапробы - энтороморфа, монорафидиум, стигеоклониум тонкий, осциллятория короткая, осциллятория выдающаяся, нитциция игловидная, хламидомонас, циклотелла менегини, гониум некторальный, кластериум игольчатый и другие. Бета-мезосапробы – показатели умеренного, можно сказать, фонового загрязнения. В планктоне преобладают многие диатомеи, в составе бентоса и перифитона – кладофора, спирогира, зигнема, микроцистис.

В олигосапробной зоне водоросли разнообразны, но численность их невелика. Олигосапробы встречаются преимущественно в чистых родниках, в мочажинах на верховых болотах, в речных ручейках. Олигосапробные водоросли: микростериас, космариум, синура.

Животные-биоиндикаторы качества вод. Животные-гидробионты успешно используются в качестве индикаторов самых разнообразных показателей качества вод. Оценка качества воды по животному населению производится с помощью расчета разнообразных балльных индексов (индекс сапробности (см. выше), биотический и олигохетный).

Биотический индекс для зообентоса находится по методу Вудивисса, согласно которому по мере повышения уровня загрязнения вод происходит упрощение видовой структуры бентоценоза за счет выпадения индикаторных таксонов при достижении предела их толерантности на фоне снижения общего разнообразия организмов, объединенных в так называемые группы Вудивисса. Разработана специальная шкала, учитывающая присутствие показательных организмов и число групп Вудивисса в пробе, позволяющая найти биотический индекс.

Индекс увеличения представительности олигохет с ростом уровня загрязнения (олигохетный индекс) рассчитывается как отношение численности видов класса *Oligochaeta* к общей численности зообентоса. Для оценки состояния зообентоса применяют также индекс Пареле, вычисляемый как отношение семейства тулифицид к общей численности олигохет и индекс Балускиной:

$$K = \frac{\alpha_T + 0,5\alpha_{Ch}}{\alpha_o}, \text{ где}$$

α_T , α_{Ch} , α_o – вспомогательные величины соответственно для подсемейств *Tanurodinae*, *Chironominae* и *Orthoclaadiinae*.

Интегральная оценка качества природных вод. В последнее время разработана современная экспертная система оценок, основанная на методе экологических модификаций. Метод включает следующие градации оценки состояния экосистем: фоновое, антропогенного экологического напряжения, антропогенного экологического регресса и антропогенного метаболического регресса. При фоновом состоянии возможны перестройки биоценоза, не ведущие к усложнению или упрощению его структуры, т.е. не меняющие общего уровня организации входящих в него сообществ. Состояние экологического напряжения выражается в увеличении разнообразия биоценоза (увеличении общего числа видов, уменьшении энтропии, усложнении межвидовых взаимодействий, увеличении пространственно-временной гетерогенности, усложнении пищевой цепи). Состояние экологического регресса характеризуется уменьшением разнообразия и пространственно-временной гетерогенности, увеличением энтропии, упрощением межвидовых взаимодействий, трофических цепей. Состояние метаболического регресса соответствует снижению активности биоценоза по сумме всех процессов образования и разрушения органического вещества фитопланктона, перифитона, бактерий и консументов. Применение метода основано на определении изменений интенсивности общего метаболизма биоценоза (продукционные характеристики фитопланктона, отношение и деструкции продукции фитопланктона, характер вертикального распределения хлорофилла и др.).

Другим методом экспертной классификации водных экосистем является индекс экологического состояния, интегрирующий основные биотические индексы и параметры гидробионтов: численность и биомасса бентоса, число видов в сообществе, видовое разнообразие, биотический индекс Вудивисса, олигохетный индекс Пареле и гидробиологические параметры (Таблица 4,5).

Интегральный индекс (ИБС) рассчитывается по формуле:

$$ИБС = (\sum B_i) / N_d, \text{ где}$$

B_i – используемые биологические показатели, выраженные в относительных единицах; N_b – количество отобранных биологических показателей.

Таблица 4.

Классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим показателям.

Степень загрязненности воды	По фито-, зоопланктону, перифитону	По зообентосу		По бактериопланктону		
	Индекс сапробности по Пантле и Буку, баллы	Отношение общей численности олигохет к общей численности донных организмов, %	Биотический индекс по Вудивиссу, баллы	Общее количество бактерий, 10^6 кл/мл	Количество сапрофитных бактерий, 10^3 кл/мл	Отношение общего количества бактерий к количеству сапрофитных бактерий

Очень чистые	Менее 1,0	1-20	10	Менее 0,5	Менее 0,5	Более 10 ³
Чистые	1,0-1,5	21-35	7-9	0,5-1,0	0,5-5,0	Более 10 ³
Умеренно загрязненные	1,51-2,5	36-50	5-6	1,1-3,0	5,1-10,0	10 ² -10 ³
Загрязненные	2,51-3,5	51-65	4	3,1-5,0	10,1-50,0	Менее 10 ²
Грязные	3,51-4,0	66-85	2-3	5,1-10,0	50,1-100,0	Менее 10 ²
Очень грязные	Более 4,0	86-100 или макробентос отсутствует	0-1	Более 10,0	Более 100,0	Менее 10 ²

Таблица 5

Основные характеристики воды и биоты по классам качества воды

Класс качества воды	I	II	III	IV	V	
Индекс сапробности по Сладчеку	0,-0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	2,5-3,5	3,5-4
Зона самоочищения воды	ксено-сапробная	бета-олигосапробная	альфа-олигосапробная	бетамезосапробная	Альфа-мезосапробная	полисапробная
Индекс сапробности по Ватанабе	85-100	70-85	50-70	30-50	15-30	0-15
Индекс Шеннона, область изменения	0-4	1-4,5	0-5	0-5	1,5-4,5	0-4
Индекс Шеннона max	3-4	4-4,5	4,5-5	4,5-5	4-4,5	2-4
Индекс Шеннона min	0-1,5	1-2	0-2	0-2	1,5-2	0,15
Прозрачность по диску Секки (проточные водоемы)	3	0,3-0,7	0,5-0,7	0,3-0,5	0,1-0,3	0,05-0,1
Прозрачность по диску Секки (непроточные водоемы)	6	4	4	2	1	0,5
Хлорофилл «а», мкг/л (непроточные воды)	3	8	8	15	30	60
Валовая суточная продукция фитопланктона, г O ₂ /м ²	0-1,5	1.5-3	3-4,5	4,5-7,5	7,5-10,5	10,5-120
Биомасса фитопланктона, мг/л	0-0,1	0,1-0,5	0,5-1	1-5	5-50	50-100

На основе ИБС и интегрального индекса экологического состояния по химическим показателям (ИХС) вычисляется обобщенный индекс экологического состояния водотока (ИИЭС), с помощью которого выделяют три типа экологического состояния: зону экологического бедствия, зону экологического кризиса и зону относительного экологического благополучия.

БИОИНДИКАЦИЯ В ЛЕСНОМ И СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.

1. Биоиндикация антропогенно измененных природных комплексов местообитаний.
2. Биоиндикация массового появления вредителей.

Биоиндикация антропогенно измененных природных комплексов местообитаний. Растительные сообщества в силу конкуренции представляют собой сочетания видов, очень быстро и очень чутко реагирующие на изменения факторов окружающей среды. Любое такое изменение приводит к тому, что виды, особо чувствительные к нему, задерживают или ускоряют свое развитие. Нарушается конкурентное равновесие – меняется видовой состав. Если же действующие на сообщество факторы остаются неизменными в течение ряда лет и лишь незначительно колеблются вокруг средних значений, видовой состав фитоценоза также остается прежним. Участие видов с одинаковыми экологическими требованиями может лишь слегка отклоняться от среднего, характерного для данных условий произрастания, которые в результате поддаются количественной оценке для каждой группировки растений на основе доли входящих в нее отдельных *эколого-ценотических видовых групп*. Учеными для всех сосудистых растений Средней Европы рассчитаны экологические индексы в отношении света, температуры, континентальности, влажности, реакции почвы, содержания азота и засоления, определяемые по 9-ступенчатой шкале. Для каждого описания растительности Средней Европы можно определить средние индексы перечисленных факторов местообитаний.

Антропогенные изменения естественных факторов местообитаний относительно быстро проявляются в изменении состава растительных сообществ с точки зрения входящих в них эколого-ценотических групп, т.е. увеличения доли одних групп и снижения доли других (таблица 6). Например, мелиоративные мероприятия приводят либо к осушению, либо, в случае подъема грунтовых вод, к увлажнению местообитаний. Это проявляется как на полях, так и на лугах, пастбищах, в лесах или лесопосадках в появлении индикаторов либо сухости, либо влажности. При этом индикаторные виды не обязательно относятся к экологическим группам влаголюбивых или засухоустойчивых организмов, но вследствие конкуренции с другими видами они предпочитают эти местообитания.

В результате эрозионных процессов на поверхности почвы появляются места с маломощным грунтом, где на рост растений сильно влияет материнская порода. Это отражается в появлении видов-индикаторов извести или кислотности.

Для оценки состояния гумуса в лесах и лесопосадках важную роль играют растения-индикаторы грубого, модер- и мулльгумуса, а на полях – экологические группы растений, отдающих предпочтение хорошей технологической готовности почвы. По их появлению или исчезновению можно судить о результатах вмешательства человека в гумусовый баланс почвы. Выделение эколого-ценотических групп дает в распоряжение сельского и лесного хозяйства организмы-

индикаторы, которые в случае вмешательства человека в природные процессы относительно быстро и надежно свидетельствуют о биологическом воздействии.

Таблица 6

Растения индикаторы разных типов местообитаний

Параметр состояния	Виды-индикаторы.
1	2
Индикаторы временно пересыхающих почв	
Кислые и бедные почвы	<i>Cladonia sp.</i> , <i>Dicranum spurium</i> , <i>Politrichum uniperium</i> , <i>Politrichum piliferum</i>
Умеренно кислые почвы	Буквица лекарственная, колокольчик персиколистный, виды рода астрагал, ландыш майский.
Известковые почвы	Фиалка трехцветная, <i>Rhytidium rugosum</i> .
Индикаторы сырых почв	
Очень кислые почвы	Виды рода клюква, виды родов <i>Sphagnum</i> , <i>Polytrichum</i> .
Кислые	Лапчатка болотная, щитolistник обыкновенный, виды рода <i>Sphagnum</i>
Основные	Калужница болотная, зюзник европейский, некоторые виды шлемника.
Индикаторы переменного сухих, глинистых местообитаний	Вейник, осока низкая
Индикаторы очень кислых почв	
Почвы от сухих до умеренно влажных	Вереск обыкновенный, черника обыкновенная, брусника, <i>Dicranum scoparium</i> , <i>Pleurozium schreberi</i>
Почвы от умеренно влажных до влажных	<i>Ptilium crista-castrensis</i> , <i>Ptilidium ciliare</i>
1	2
Почвы от влажных до сырых	Лапчатка прямостоячая, багульник болотный, голубика, <i>Polytrichum commune</i> , <i>sphagnum acutifolium</i>
Индикаторы на удобряемых свежих лугах	
Индикаторы сухости	Шалфей, тимьян обыкновенный, чабрец, скабиоза голубиная, лядвенец рогатый, ожика равнинная, трясушка средняя, смолевка обыкновенная, подорожник средний, колокольчик круглолистный
Индикаторы обеднения почвы	Ясколка полевая, очиток едкий, ястребинка волосистая
Индикаторы кислотности	Щавель обыкновенный, гипохерис укореняющийся
Индикаторы нарушения дернины	Пырей ползучий, вейник наземный
Индикаторы влажности	Калужница болотная, осока заостренная
Индикаторы на удобряемых влажных лугах	
Индикаторы сырости	Калужница болотная, дербенник иволистный, осока просяная, подмаренник болотный, лютик жгучий, лютик ползучий
Индикаторы сухости	Подорожник средний, бедренец обыкновенный, овсяница овечья, истод обыкновенный, фиалка собачья, гвоздика травяная
Индикаторы на пастбищах	
Индикаторы местообитаний с поступлением азота и вытаптыванием	Лебеда раскидистая, горец птичий, подорожник большой, ромашка пахучая, мятлик однолетний
Индикаторы местообитаний, богатых азотом и	Клевер белый, мятлик обыкновенный, пырей ползучий, бодяк полевой, будра плющевидная, лапчатка ползучая, лапчатка гусиная,

фосфором	<i>лютик ползучий</i>
Индикаторы влажности	<i>Осока заячья, ситник развесистый, бодяк болотный, горицвет-кукушкин цвет</i>
Индикаторы на пахотных землях	
Индикаторы сильного подкисления	<i>Щавель обыкн., дивала однолетняя, баранец малый, клевер пашенный</i>
Индикаторы азота	<i>Крапива жгучая, желтушник левкойный, паслен черный, молочай огородный</i>
Индикаторы, предпочитающие карбонаты	<i>Петрушка собачья, овсюг</i>

Биоиндикация массового появления вредителей. Вредители в биоценозах никогда не появляются в разные годы в одном и том же количестве. Их численность может резко возрасть в силу действия внешних причин, и нельзя полагать, что они могут полностью исчезнуть в результате отрицательного воздействия окружающей среды и интенсивных мер борьбы с ними. Знание причин популяционной динамики вредителей и ее индикация имеют важное значение в деле защиты растений, так как создают основу для прогнозирования появления вредителей и размера ущерба.

Массовым размножением считается необычно высокий рост плотности популяции вредителей, т.е. *сверхразмножение*.

Вспышка массового размножения всех видов вредителей, несмотря на отдельные модификации, имеет общие черты (рис. 5). Этот процесс включает в себя сначала рост плотности популяции (*проградацию*) до максимального уровня (*кульминации*), затем спад обилия (*ретроградацию*) и, наконец, возвращение в исходное состояние (*латентную фазу*), когда в очаге массового размножения может произойти полный распад популяции вредителей. Даже во время латентной фазы плотность их популяции постоянно изменяется. Однако, общие колебания численности вследствие гораздо более низкого обилия особей при этом не столь заметны.

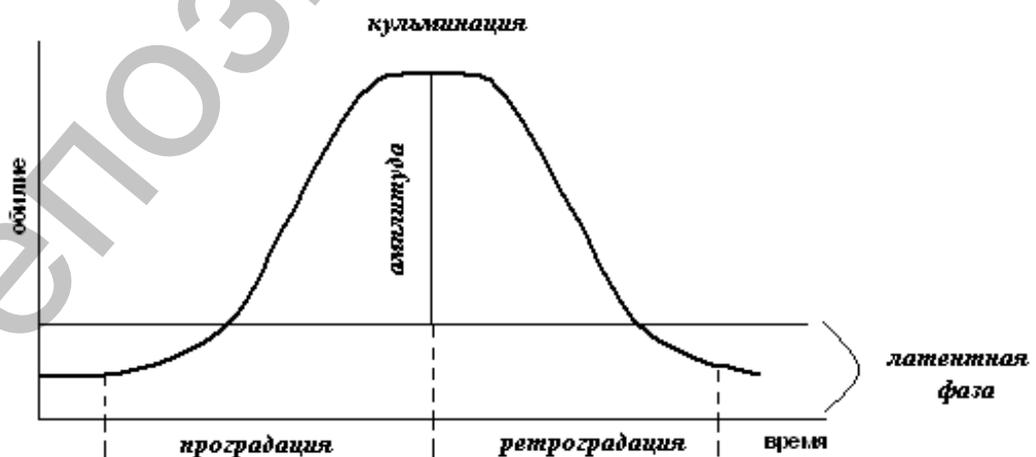


Рис. 5. Схема процесса массового размножения

В хронологическом отношении различают несколько типов массового размножения:

1) *Перманентный тип* – устойчивое состояние, которое характерно для таких видов, как яблонная плодожерка (*Laspeyresia pomonella*), капустная белянка (*Pieris brassicae*).

2) *Временный тип* – быстро затухающее состояние – свойствен златогузке (*Euproctis chrysorrhoea*), озимой совке (*Scotia segetum*), колорадскому жуку (*Leptinotarsa decemlineata*), полевке обыкновенной (*Microtus arvalis*).

3) *Латентный тип* – состояние, которое наблюдается крайне редко или вообще не характерны вспышки массового размножения. Подобный тип встречается у вредной черепашки (*Eurigaster spp.*), пьявицы (*Oulema spp.*), малого хлебного пилильщика (*Cephus pigmacus*).

Приведенные типы очень лабильны, положение вредителей в этой системе постоянно подвержено изменениям в зависимости от условий окружающей среды, тенденций развития растительной продукции, активности вредителей и их популяционных характеристик. Решающим для массового размножения является соотношение между плодовитостью и смертностью особей внутри популяции. Особенно склонны к вспышкам численности вредители, дающие многочисленное потомство, обладающие коротким онтогенетическим циклом и связанной с этим быстрой сменой поколений, а также виды с широкой экологической валентностью.

Для ограничения и регуляции численности популяций таких видов требуется высокое сопротивление среды, которым агроэкосистемы сами по себе не обладают, поэтому важной задачей комплексной защиты растений является прогнозирование массового размножения. Во многих случаях достаточно составить *негативный прогноз*, т.е. исключить возможность появления опасного вредителя или вспышки его численности. Основанием для такого прогнозирования является удачное сочетание ключевых факторов, управляющих популяцией данного вида. Специалистами осуществляются два контрольных определения обилия вида на нескольких произвольно выбранных полях. Эти пробы производятся как можно раньше (например, до момента цветения культур). Если обилие крайне низкое, то в этот ранний период можно исключить вспышку численности популяции. Сигналом для принятия мер по защите посевов может стать превышение пороговой величины обилия, специфичной для каждого вида.

Более основательный прогноз направления, характера и интенсивности массового размножения можно получить путем составления имитационных математических моделей динамики популяции вредителей. Моделируемая популяция вредителя подразделяется на блоки. Для каждого из них составляются математические уравнения, отражающие ход развития, изменения плодовитости и смертности, вредные воздействия, влияние факторов среды и т.п. Получается знаковая модель, описывающая общую динамику популяции. При введении фактических данных о вредителе можно получить надежную картину флуктуаций численности.

ТЕОРИЯ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ.

1. Предмет и понятие биоповреждений.
2. Причины возникновения и двойственная природа биоповреждений. Эколого-технологическая концепция.
3. Экологические аналоги биоповреждений и их использование в поисках средств защиты.
4. Основные закономерности в возникновении биоповреждений. Принцип мозаичности.
5. Эколого-географические и популяционно-биоценотические факторы в возникновении и развитии биоповреждающего процесса.
6. Участники и партнеры.

Предмет и понятие биоповреждений. Термин «биоповреждения» возник не так давно для обозначения отрицательного влияния организмов на функциональные и структурные характеристики материалов и изделий или технического сырья. Позднее этот термин использовали для характеристики нежелательных или желаемых изменений в свойствах материалов, вызванных деятельностью живых организмов.

Биоповреждения – ситуации, когда живые организмы своей деятельностью и присутствием вызывают изменения (нарушения) структурных и функциональных характеристик у объектов антропогенного происхождения или природных объектов, используемых в качестве сырья. Биоповреждения возникают в экологической среде, и, следовательно, тесно связаны и зависят от многих сопутствующих явлений. Поэтому

биоповреждение – биоценотическое, ландшафтно-зональное и биосферное явление, основанное на взаимодействии экологических и антропогенно-технологических факторов, вызванное заполнением (загрязнением) биосферы результатами человеческой деятельности.

Биоповреждающие воздействия высокодинамичны и развиваются во времени и пространстве в виде сложного процесса, включающего различные этапы, отрезки замедления и ускорения и т.д. Этот процесс называют *биоповреждающим*. Это не односторонне направленный процесс, он характеризуется активным взаимодействием организма и объекта.

Биоповреждающая ситуация возникает вследствие одновременного присутствия всех необходимых компонентов и факторов как предпосылок для возникновения и протекания биоповреждающего процесса. Важнейшие компоненты – живые организмы, которые могут стать источником биоповреждения. Они создают биоповреждающую ситуацию, но не запускают биоповреждающий процесс. *Источником биоповреждения* служит живой организм, атакующий материал, изделие, сооружение, природное сырье и вызывающий изменение его свойств в нежелательном для человека направлении. Такие организмы называют повреж-

дающими, или *агентами биоповреждения*, а сооружения, изделия или материалы ими повреждаемые – *объектами биоповреждения*.

В общем виде биоповреждение протекает по следующей схеме (рис. 6).

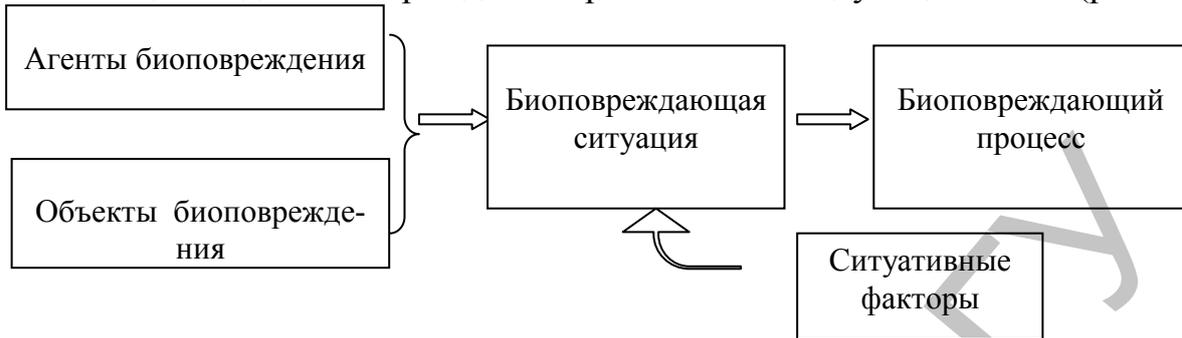


Рис. 6. Развитие биоповреждения

В понятие объектов также включается понятие *средства защиты* – биоциды, заложенные в них человеком или приданные объектам в момент биоповреждающей ситуации.

Таким образом, агент биоповреждения – экологическая категория, а объект и средства защиты – антропогенно – технологическая.

Причины возникновения и двойственная природа биоповреждений. Эколого-технологическая концепция. Существует 2 причины возникновения биоповреждений.

1. Экологическая причина. Биоповреждение всегда, так или иначе, связано с окружающей средой (прямо или косвенно). Окружающая среда является фоном, на котором протекают биоповреждающие процессы. Вне среды биоповреждения не возникают. Любые биоповреждения имеют в среде свои аналоги – экологические прототипы. Такие явления существовали в природе до появления человека. Например, прототипом биоповреждающего действия живых организмов на днища судов является биологическое явление обрастания организмами субстратов естественного происхождения. Процессы биоповреждения не только испытывают влияние со стороны окружающей среды, но и сами влияют на нее, изменяя все в ближайшем окружении. Во всех случаях вносимый в среду объект – это мощный экологический фактор, а атакующий агент вводит этот объект в биоценотические цепи, меняя его свойства и добавляя новые таким образом, чтобы он как можно органичнее вписался в среду и не составлял дисбаланса со средой.

2. Антропогенно-технологическая причина. Биоповреждающий процесс, как правило, не протекает стихийно. Человек фиксирует начало и конец биоповреждения, часто сдвигает начало процесса, используя защитные средства. Кроме того, человек может использовать биоповреждения для утилизации отработавших материалов и изделий.

Таким образом, биоповреждение – это одновременно и экологическое и антропогенно-технологическое явление. Это положение и составляет основу эколого-технологической концепции биоповреждений. Ее положения:

1. Биоповреждение возникает и существует в результате взаимоотношения двух начал: одного, связанного с экологическими, другого – с антропогенно-техническими факторами.

2. Человек и результаты его деятельности в явлении биоповреждения выступают как часть окружающей среды, а среда – как участник биоповреждающего процесса.

3. Человек в одних случаях регулирует процесс, в других – допускает его стихийное протекание, в третьих – лишь частично оказывает на него влияние.

4. Биоповреждение возникает на острие взаимоотношений человека с биосферой как конфликт. Заполнение биосферы объектами антропогенного происхождения вызывает ее загрязнение, и, как следствие, ответ в виде «самоочищения», т.е. биоповреждение.

Причины и условия протекания процесса биоповреждения:

- Состав повреждаемых объектов постоянно меняется, как и перечень повреждающих их видов. В природе всегда имеется резерв видов, готовых атаковать новые объекты. Но для реализации возможности появления биоповреждающего процесса нужно совпадение целого ряда условий. А значит в природе больше потенциальных объектов для атаки, чем реально существующих.

- Активность в проявлении биоповреждающих свойств зависит от ситуативных факторов в данный момент. Ранее активные агенты могут стать индифферентными и наоборот.

- Характер среды – важное условие проявления биоповреждающих свойств. Загрязнение человеком среды определяет динамизм экологических факторов и стимулирует биоповреждающую деятельность организмов.

Присутствие всех компонентов биоповреждения создает биоповреждающую ситуацию как предпосылку. Если взаимодействие компонентов начнет осуществляться, то будет положено начало биоповреждающему процессу. Т.е. во всех случаях биоповреждающий процесс начинается только в случае непосредственного контакта организма с объектом, контакт этот достигается целенаправленно (со стороны одного из компонентов или обоих вместе), под действием природных сил или случайно. В то же время сам факт восприятия организмом объекта биоповреждения еще не означает неперемного развития биоповреждающего процесса. Для этого агент биоповреждения должен быть заинтересован в объекте, как в знакомом, полезном ему ориентире, или, по крайней мере, проявить исследовательский интерес к незнакомому объекту. Напротив, нейтральная или репеллентная реакция агента не позволяют появиться возможности развития биоповреждения.

Экологические аналоги биоповреждений и их использование в поисках средств защиты. Принцип экологического подобия объекта и природных ориентиров указывают на то важное обстоятельство, что большинство создаваемых человеком материалов, изделий и сооружений становятся объектами биоповреждений чаще всего в том случае, если они экологически подобны (полностью, или частично сходны) и напоминают природные ориентиры. Если полезные свойства объекта для агента при контакте подтверждаются, то эти связи становятся прочными, устойчивыми и закрепляются в поведенческих реакциях.

Для большинства биоповреждений существуют свои *природные аналоги*, основанные на сходстве материала и изделия с природными, давно известными и используемыми различными организмами в своих жизненных целях. В отдельных случаях сходство ограничивается экологически несущественными параметрами, в других материала или изделия оказываются сходными по экологически важным характеристикам, и тогда они становятся объектами регулярного нападения и использования со стороны организмов. При этом при освоении этого объекта организм использует те же адаптивные приемы, что и в отношении его экологического прототипа, к которому организм уже адаптирован. Это позволяет значительно ускорить процесс освоения объекта и ускоряет развитие биоповреждения. В случае же, когда агенты повреждения сталкиваются с материалами и изделиями, не имеющими экологических аналогов и даже незнакомых, освоение их выходит за пределы адаптивной настройки организмов. Успех развития биоповреждения в этом случае будет зависеть от видовых характеристик организма.

Т.о., наиболее повреждаемыми объектами становятся материалы и изделия, имеющие в природе экологические прототипы, так как организмы к ним как бы «преадаптированы» с точки зрения их восприятия, освоения и использования в жизненно важных целях. По каждому из этих направлений можно строить защиту, блокируя восприятие и уничтожая сходные параметры и полезные свойства.

Существование прототипа – путь в поиске средств защиты. Сама природа часто подсказывает средства защиты от атакующего организма и можно быть уверенными, что прошедшие длительную эволюционную шлифовку средства защиты действуют эффективно и действенно. Конечно, подражание природе предполагает не буквальное копирование, а использование принципа выбора отдельных приемов и построения стратегии защиты от биоповреждений, которые используют в своих взаимоотношениях биоэкологические партнеры (рис. 7).

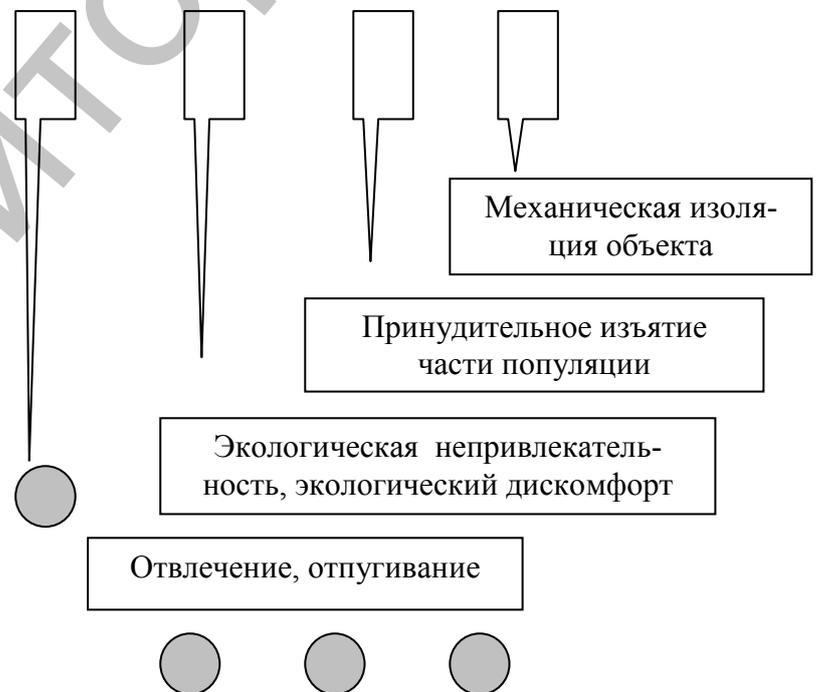


Рис.7. Основные направления защиты от биоповреждений.

Одним из наиболее перспективных путей в поиске и разработке новых методов защиты от биоповреждений является использование этологических средств и, в частности, средств отпугивания от объектов. В основе этологических средств защиты лежит имитация природного ориентира, которая подкрепляется действием экологиче-

ски важного фактора, содержащего жизненно важные для организма компоненты. Так, например, имитация криков бедствия птиц, предупреждающих об опасности, одновременно подкрепляется демонстрацией макета хищника и т.п. Полезным фактором, существенно повышающим эффективность отпугивающих средств, является одновременная демонстрация привлекательного для организма аттрактивного ориентира, имеющего для него жизненно важное значение.

Основные закономерности в возникновении биоповреждений. Принцип мозаичности. Характер взаимоотношений между основными компонентами биоповреждающего процесса может быть представлен следующим образом (рис. 8).

Факторы, влияющие на взаимоотношение основных компонентов, распадаются

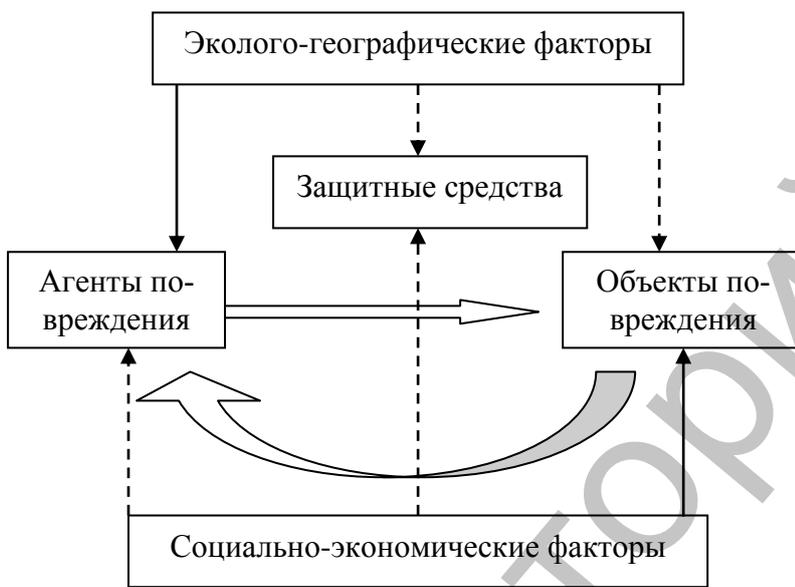


Рис. 8. Участники биоповреждающей ситуации и характер связей между ними

на две категории: 1) эколого-географические и популяционно-биоценотические факторы. Они влияют преимущественно на организмы – источники биоповреждений, в меньшей степени и частично на средства защиты и лишь косвенно и опосредованно – на объекты биоповреждающего процесса.

2) социально-экономические факторы. Действуют главным образом на объект, определяя при конструировании и изготовлении не только его полезность для человека и удобства эксплуатации, но и защищенность от биоповреждений. Эта категория факторов может влиять на организмы путем сокращения их численности, и даже элиминации. За каждым из звеньев этой схемы взаимодействий стоит множество видов животных, растений и микроорганизмов, повреждающих множество материалов, изделий, устройств и сооружений, которые в свою очередь защищаются множеством разнообразных средств. В результате образуется сложная мозаика взаимодействий и еще более сложная мозаика биоповреждающих процессов, непрерывно меняющаяся в силу пополнения биосферы новыми и новыми материалами и изделиями, вовлечения новых видов в круг биоповреждающих агентов. Это явление получило название принципа мозаичности в возникновении биоповреждений.

Принцип мозаичности проявляется уже на уровне высших систематических категорий животных, растений и микроорганизмов, классификационных подразделений объектов и средств защиты. Однако наиболее всестороннее и полное его проявление прослеживается на более низких уровнях. Так, агенты биоповреждения встречаются не во всех, а только в некоторых, мозаично рассе-

янных в системе класса отрядах, в отряде – не во всех семействах, в семействе – не во всех родах, в роде – биоповреждающими оказываются не все виды, а некоторые. Но даже если при этом попытаться связать биоповреждающие виды с повреждаемыми ими объектами и используемыми при этом средствами защиты, то число возможных комбинаций для возникновения биоповреждающего процесса достигает значительной величины. На практике же имеют дело со значительно меньшим - реальным числом сочетаний всех факторов и предпосылок возникновения биоповреждения. В этом заключается феномен принципа мозаичности.

Мозаичное проявление биоповреждающих свойств определяет направленность и общую стратегию защиты от биоповреждений и, что особенно важно, диктует необходимость системных подходов.

Эколого-географические и популяционно-биоценотические факторы в возникновении и развитии биоповреждающего процесса. Присутствие вида там, где есть объект, еще не означает начало биоповреждающего процесса, так как многие факторы могут препятствовать установлению контактов между ними. Таким ограничивающим фактором могут быть эколого-географические явления. Во-первых, потому, что факторы могут неодинаково проявляться по ареалу вида; во-вторых, для того чтобы агент и объект нашли друг друга, они должны быть достаточно многочисленны и равномерно распределены; в-третьих, организм должен принадлежать к биоповреждающей популяции, уже имеющей опыт таких контактов; в-четвертых, время осуществления контактов должно соответствовать в погодном и сезонном отношении биоповреждающей активности агента.

Поскольку все эти факторы в пределах обширного ареала вида существенно различаются, вероятность возникновения биоповреждений неодинакова в географически удаленных местностях. Вместе с тем влияние географического фактора проявляется и на основе различий в видовых комплексах. В возникновении и развитии биоповреждений большое значение имеет видовой состав местной фауны и флоры. В разных местностях одни и те же виды могут вести себя неодинаково по отношению к объекту и средствам защиты.

В определении роли эколого-географического фактора необходимо учитывать и связанные с ним различия в хозяйственной деятельности и жизни человека в условиях различных природных зон, его численности и отношении к природе.

Популяционно-биоценотические факторы являются одними из непосредственных механизмов биоповреждающего воздействия окружающей среды.

Популяция является минимальной единицей биоповреждающего воздействия. Через популяцию и биоценоз виды реально участвуют в осуществлении биоповреждающего процесса. Именно биоценоз независимо от того, естественным или искусственным путем он сложился, осуществляет непосредственный контакт созданного человеком и вынесенного в окружающую среду материала и изделия с биосферой. Если популяция «вводит» созданный человеком материал и изделие в биоценоз, то сам биоценоз включает их в сложные биосферные отношения, замыкая цепь *материал (изделие) — популяция — биоценоз — биосфера*.

Вовлечение материала (изделия) в эти отношения влияет на развитие и направленность биоповреждающего процесса, его силу. Биоценотические связи — один из самых существенных факторов, которые могут ускорить или затормозить, даже бло-

кировать возникновение биоповреждения, изменить его характер и направленность, продолжительность и, конечно, повлиять на его последствия.

Благодаря своим связям с популяцией биоповреждающего вида остальные члены биоценоза также вольно или невольно вовлекаются в биоповреждающий процесс и становятся косвенными, а иногда и прямыми его участниками. В известном смысле весь биоценоз становится своеобразным макроисточником биоповреждения. Эти обстоятельства приходится учитывать при разработке стратегии защиты от биоповреждений и выборе конкретных защитных мероприятий.

Комплекс вопросов, которые решаются в настоящее время учеными и практиками.

1. Изучение систематики, биогеографии и экологии организмов, вызывающих биоповреждения. Изучение их адаптивных свойств и возможностей, обеспечивающих приспособляемость на разных стадиях жизненного цикла, освоение новых биотопов (в том числе созданных человеком), расселение в другие регионы.

2. Изучение биоповреждающей (и биоразрушающей) деятельности организмов в зависимости от ландшафтно-зональных условий и микроклимата, технологических режимов получения сырья, изготовления, хранения и эксплуатации материалов, изделий, устройств и сооружений.

3. Испытание биостойкости материалов, изделий, устройств и сооружений с использованием существующих способов защиты, в том числе и профилактического действия, в различных природных и антропогенных средах.

4. Выявление экологических аналогов и создание на их основе новых эффективных средств защиты от биоповреждающей деятельности организмов (животных), включая отпугивание, отвлечение или привлечение в сочетании с ловушками.

5. Разработка безопасных для полезных организмов, человека и окружающей среды, экологически оправданных методов регуляции численности (или снижения продуктивности) биоповреждающих организмов и их сообществ.

6. Изучение возможностей организмов разрушать отходы производства и продукты загрязнения окружающей



Рис. 9. Основные партнеры, участвующие в защите от биоповреждений.

среды, разработка методов биологического разрушения с использованием биоповреждающих средств.

Участники и партнеры. В решении вопросов биоповреждений заинтересован ряд смежных наук и сфер практической деятельности человека. Общая схема взаимоотношений партнеров изображена на рисунке 9. Все они делятся на две категории. К первой категории относятся фундаментальные науки, имеющие дело с источниками биоповреждений: систематика, зоогеография, морфология, физиология и, конечно, экология биоповреждающих групп. Ко второй — прикладные науки и сферы человеческой деятельности. В результате их взаимодействия проблема получает важные сведения о видовой принадлежности, численности, распространении и образе жизни микроорганизмов, растений и животных, вызывающих биоповреждения. Популяционная экология, помощь которой становится все более ощутимой, решает эти вопросы применительно к отдельным популяциям.

Материаловедение изучает результаты биоповреждающего действия и степень влияния на характеристики объекта. Совместно с химиками, с одной стороны, биологами — с другой, разрабатываются средства защиты, с помощью которых нарушается, блокируется взаимодействие между организмом и объектом, направляется в безопасную для человека или даже полезную для него сторону (биоразрушение отходов и отбросов).

Экология оценивает результаты этого взаимодействия в широком биоценоотическом, ландшафтно-зональном и даже биосферном масштабе, перспективы этого взаимодействия, возможность управлять им в интересах человека.

В решении проблемы биоповреждений каждый из партнеров занимает свое особое место, привнося свои методы и подходы и получая все необходимое и нужное.

ЛЕКЦИЯ 9.

БАКТЕРИИ И ГРИБЫ - ИСТОЧНИКИ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ

1. История развития представлений о микробиологических повреждениях.
2. Бактерии – агенты биоповреждений.
3. Грибы – агенты биоповреждений.

История развития представлений о микробиологических повреждениях. Биоповреждения материалов микроорганизмами известны очень давно. Упоминания о них встречаются у Плиния и Гомера.

Издавна применялись различные средства защиты от биоповреждения материалов. Например, при сооружении висячих садов Семирамиды предусматривались меры против сырости; для предотвращения повреждений древесины использовали жидкую смолу, листы свинца, асфальт.

Из этих примеров видно, что некоторые элементы сегодняшней научно обоснованной защиты от биоповреждений существовали уже в те далекие времена. Однако переломный момент наступил после того, как была установлена роль микроорганизмов в процессах разрушения материалов. В XIX в. было начато изучение повреждений древесины.

Древесина, повреждаемая грибами, - наиболее изученный материал. В 30-х годах нашего столетия активизировались работы по изучению микробиологического повреждения бумаги, включая книги и документы. Большой вклад в решение этой проблемы внесли советские ученые В. Л. Омелянский, Л. А. Белякова, З. А. Загуляева, Ю. П. Нюкша и др.

Роль грибов в поражении других промышленных материалов в основном начали изучать со времени окончания второй мировой войны. Более ранний период представлен только отдельными немногочисленными работами, не раскрывающими специфики микробного повреждения. Имеются сведения, что в годы второй мировой войны в тропических регионах погибло большое количество военного снаряжения различных стран. Например, в Новой Гвинее микроорганизмами было приведено в полную негодность все имущество австралийской армии (брзанты, тенты, обувь, одежда, резиновые изделия, электрооборудование, радиостанции и пр.).

В умеренном климате грибы вызывают повреждения промышленных материалов во время их изготовления, когда производство сопряжено с высокой температурой и влажностью, при нарушении условий хранения и эксплуатации, транспортировке. В тропическом и субтропическом климате развитие грибов происходит более интенсивно, а, следовательно, ущерб, причиняемый грибами, значительно больше.

Сейчас известно, что из всех исследованных микроорганизмов - грибы приносят наибольший вред материалам. Они повреждают все природные, многие синтетические материалы и даже стальные и железобетонные конструкции. Не избежали разрушающего действия микромицетов и памятники культуры и искусства. Например, всем известны повреждения, вызванные грибами на фреске-Леонардо да Винчи «Тайная вечеря».

Разрушения материалов грибами зависят от их состава. В первую очередь повреждаются материалы, содержащие питательные вещества для грибов. Это ткани из натуральных волокон, древесные наполнители, белковые клеи, углеводороды. Используя указанные материалы в качестве источников углерода и энергии, грибы приводят их в негодность. Кроме того, установлено, что порче подвергаются также материалы, не содержащие никаких питательных веществ, например металлические изделия, оптические приборы. Наглядным примером может служить разрастание мицелия по поверхности оптического стекла. Даже небольшое прорастание грибных спор приводит к тому, что оптические приборы не могут быть использованы по назначению.

После удаления грибного налета на стекле остаются следы, напоминающие мицелий, — «рисунок травления». Это следствие разрушения поверхности стекла продуктами метаболизма биодеструкторов, главным образом органическими кислотами.

В подобных случаях одной из причин повреждения являются загрязнения, попадающие на поверхность материала. Так, например, источником питания грибов, разрушающих мрамор Миланского собора, служат экскременты голубей. В тропических странах грибному повреждению сопутствует наличие большого количества пыли, содержащей отмершие остатки тропической растительности. Причиной повреждения материалов, не содержащих питательные вещества, может быть контакт с зараженным материалом. Так, повреждение биноклей иногда происходит от поврежденных кожаных футляров. Подобная ситуация возникает в изделиях, изготовленных из

разнообразных металлических и неметаллических материалов, соприкасающихся друг с другом.

Бактерии – агенты биоповреждений. У бактерий клетки прокариотического типа, отсутствует оформленное ядро, ядерная ДНК не отделена от цитоплазмы, мембранные структуры не замкнуты, не образуют вторичных полостей в клетке. Рибосомы — 70S -типа.

Отдельные группы бактерий отличаются по используемым ими источникам энергии и углерода:

- Фототрофы (бактерии, которые в качестве источника энергии используют свет);
- Хемотрофы (источником энергии служат окислительно-восстановительные реакции);
- Литотрофы (организмы, у которых донорами электронов в энергетическом процессе служат неорганические вещества);
- Органотрофы (организмы, использующие в качестве источника электронов органические вещества);
- Автотрофы (единственный источник углерода для построения веществ тела — углекислота);
- Гетеротрофы (источники углерода — готовые органические соединения).

Широкие возможности бактерий как агентов биоповреждения связаны со способностью их отдельных систематических групп использовать все перечисленные источники энергии, доноры электронов, углерода.

При биоразрушениях промышленных материалов, очень часто имеющих неорганическую природу, наиболее важна особенность многих бактерий существовать без использования органических веществ из окружающей среды. Большую роль играет также способность ряда видов бактерий сохранять жизнеспособность при экстремальных условиях среды: высоких температур (до 80°C, а иногда и выше) и давления, сильной кислотности или щелочности, достаточно интенсивном облучении, больших концентрациях солей и т. д. Следовательно, наличие таких условий в каком-либо производстве, технологической операции не может быть поводом для успокоенности по вопросу борьбы с биокоррозией. Так, для хемолитотрофных и гетеротрофных бактерий верхний температурный предел роста достигает нередко 90°C и несколько выше. Например, у активных возбудителей биокоррозии металлов максимальная температура роста составляет 60°C, у одного из видов сульфатредуцирующих возбудителей биокоррозии - 70°C. Некоторые бактерии, окисляющие среду, способны к росту при температуре около 90°C. Термостабильность такого рода бактерий объясняют высокой термостойкостью их белков, прежде всего ферментов. Липиды их мембран характеризуются повышенным содержанием насыщенных и разветвленных жирных кислот с большим числом атомов углерода. Таким липидам свойственна высокая температура плавления, что также придает термостойкость самим биомембранам.

Известны бактерии, не прекращающие рост и размножение при pH 1 или при pH 10. Удивительно высока стойкость бактерий и к повышенному давлению. Выделены виды, способные расти при давлении 750 атм, для некоторых оптимальное давление лежит в границах 100- 300 атм. Установлено, что у таких бактерий при повыше-

нии давления от 1 до 300—500 атм. увеличивается скорость некоторых ферментативных реакций, меняется направленность ряда биохимических процессов. Сульфатредуцирующие возбудители биокоррозии, например, были выделены из нефтяных скважин на глубине более 3500 м, где давление превышает 400 атм, при этом температура колеблется от 60 до 105°C.

Столь же велика может быть стойкость ряда видов бактерий к высокому содержанию солей в окружающей среде. Некоторые, например, способны к росту в насыщенном растворе MgCl (около 32%).

Разрушение бактериями твердых материалов в известной мере связано с хорошо выраженной у них способностью адсорбироваться на поверхности твердых тел, частиц. Общеизвестна, например, способность бактерий прикрепляться к поверхности стекла. Она отчетливо наблюдается при погружении стекол в культуральную жидкость или почву, воду. Прикрепление бактерий к стеклу происходит в два этапа. При кратковременном контакте стекла и бактерий осуществляется первый этап, когда прикрепление еще недостаточно прочное, адсорбированные бактерии легко смываются с поверхности. Второй этап адсорбции состоит в более прочном прикреплении бактерий к стеклу, что происходит с помощью капсульного вещества или другими способами. В ряде случаев после прикрепления начинается разрушение стекла бактериями. С помощью электронной микроскопии удалось показать, что некоторые слизиобразующие бактерии растворяют стекло в месте прикрепления клетки и под каждой из них образуются углубления.

Активной деструкции бактериями разнообразных материалов способствует также относительно небольшая специфичность некоторых бактериальных экзоферментов. Так, щелочные протеиназы помимо гидролиза белков способны катализировать гидролиз амидов, эфиров аминокислот и их производных, эфиры низших жирных кислот, даже некоторые триглицерины и т. п.

Литотрофные бактерии — возбудители биоповреждений. Из литотрофных бактерий наиболее активными агентами биоповреждений являются сульфатредуцирующие, тионовые, нитрифицирующие и железобактерии. Коррозия металлов, разрушения бетона, камня, кирпича и других материалов неорганической природы, вызываемые ими, достигают колоссальных размеров.

Сульфатредуцирующие (десульфатирующие) бактерии — основные возбудители анаэробной коррозии стали, железа и алюминия. Сульфатредуцирующие бактерии приносят большой ущерб многим отраслям промышленности, но особенно нефтедобывающей и газовой. Таким путем активно корродируют стальные хранилища нефти, топливное оборудование турбореактивных самолетов, трубопроводы и градирни обратного водоснабжения. Хотя сульфатредуцирующие бактерии и облигатные анаэробы, но они не погибают от воздуха, чем объясняется их широкое распространение в природе. Они обнаруживаются в почве, пресной и морской воде, геологических отложениях серы и нефти.

Ряд почвенных бактерий участвует в деструкции вулканизированного натурального каучука. Интенсивность деструкции зависит от концентрации сажи в нем. Подвержены бактериальному повреждению и синтетические органические материалы. Бактерии используют синтетические волокна в качестве источника питания и энергии. Термообработанные волокна более стойки к микробиологическому воздей-

ствию, чем свежесформованные. Способность бактерий разрушать разнообразные органические соединения связана с присутствием у многих из них плазмид — внехромосомных элементов наследственности. Если основной генетический материал бактериальной клетки — хромосома — содержит информацию для выживания клетки в любых условиях окружающей среды, то плазмиды несут гены, отражающие особенности этой среды, в частности присутствие в ней необычных органических соединений. В этих случаях гены плазмид кодируют синтез ферментов, способных разрушать то или иное органическое вещество. Особенно характерны плазмиды деградации для псевдомонад.

Заслуживает внимания участие органотрофов в коррозии металлов, биодеструкции камня, бетона. Роль органотрофных бактерий при этом заключается в основном в продуцировании агрессивных метаболитов: органических кислот, сероводорода, аммиака, CO_2 , H_2O_2 и т. д. Так, коррозия стали на свеклосахарном производстве происходит при участии молочно-кислых бактерий.

Грибы – агенты биоповреждений. Грибы представляют большую и своеобразную группу одноклеточных и многоклеточных организмов. Общее число видов, описанных к настоящему времени, оценивается разными авторами от 100000 до 250000. Они широко распространены в природе во всех районах земного шара. Грибы в изобилии встречаются на различных растительных субстратах, реже на субстратах животного происхождения, и принимают активное участие в разложении органических остатков и в почвообразовательном процессе.

Способность грибов участвовать в развитии биоповреждений связана с их специфическими биологическими особенностями:

- 1) грибы очень широко распространены по всему земному шару;
- 2) высокая энергия размножения, мелкие споры, способность спор к адгезии;
- 3) метаболические особенности, которые заключаются в очень богатом ферментативном аппарате;
- 4) способность образовывать токсические продукты, что повышает их конкурентоспособность за освоение субстрата;
- 5) способность грибов расти в биологически экстремальных условиях: споры грибов стойки к высушиванию (известны случаи, когда они выдерживали высушивание в течение 20 лет и более), значительная часть грибных спор переносит низкие температуры без потери биохимической активности;
- 6) способность расти на твердых сухих субстратах, за счет атмосферного увлажнения;
- 7) гетерогенность вида, т. е. наличие внутри вида штаммов, различающихся по морфологии, физиологическим, экологическим и другим признакам. Это свойство грибов имеет особое значение в связи с непрерывным созданием новых материалов и возникновением новых искусственно создаваемых биотопов.

Описанные морфологические, физиологические и генетические особенности грибов-биодеструкторов, безусловно, не исчерпывают всего многообразия их свойств, при помощи которых они приспособились к столь широкому диапазону окружающих условий. Однако они дают представление о том, почему грибы играют доминирующую роль в процессах биодеструкции природных и искусственно созданных материалов.

В отличие от бактерий грибы относят к эукариотным организмам. По наиболее распространенной классификации в царство включают следующие классы: хитридиомицеты, гифохитриомицеты, оомицеты, зигомицеты, аскомицеты, базидиомицеты, дейтеромицеты, или несовершенные грибы. В процессах биоповреждения материалов участвуют преимущественно представители зигомицетов, аскомицетов, базидиомицетов, оомицетов, дейтеромицетов.

Класс зигомицеты насчитывает более 500 видов. Зигомицеты хорошо растут на субстратах, богатых органическими веществами. У них имеются высокоактивные ферменты. Некоторые виды известны как сильные кислотообразователи. Есть виды, энергично расщепляющие пектиновые вещества. На поврежденных материалах зигомицеты встречаются не часто. Как правило, они растут на деревянных изделиях, картоне, бумаге, тканях. Известны отдельные случаи повреждения ими пластмасс и фресковой живописи.

Класс аскомицеты, или сумчатые грибы — самый большой, включающий около 30 000 видов. Аскомицеты очень распространены в природе. Некоторые виды встречаются в морях и пресных водоемах на погруженной в воду древесине. Другие — вызывают плесневение разнообразных материалов и изделий, а также пищевых продуктов в условиях хранения и эксплуатации. Они повреждают главным образом целлюлозосодержащие материалы и нефтепродукты, но встречаются и на других субстратах.

Класс базидиомицеты объединяет около 30 тыс. видов наиболее высокоорганизованных грибов. Среди базидиомицетов известно свыше 10 видов, участвующих в повреждении деловой древесины. Они встречаются на мостах, заборах, столбах, в оранжереях, парниках, погребах и других деревянных постройках. Активное разрушение древесины вызывают трутовиковые грибы.

В зависимости от комплекса ферментов, выделяемых базидиомицетами, различают целлюлозоразрушающие и лигнинразрушающие грибы. Благодаря неодинаковому воздействию на древесину, эти грибы вызывают различные типы гнили. Грибы, разрушающие целлюлозу и способствующие освобождению лигнина, — возбудители бурой деструктивной гнили. Под воздействием этих грибов древесина становится хрупкой, крошащейся на мелкие куски темного цвета. Лигнинразрушающие грибы вызывают белую гниль, в результате чего древесина становится мягкой, волокнистой, расслаивается по годичным кольцам. Некоторые базидиомицеты способны вызывать пеструю гниль путем воздействия на целлюлозный и лигниновый комплекс древесины.

Класс дейтеромицеты, или несовершенные грибы, — один из крупнейших классов грибов, включающий 30% всех известных видов. Дейтеромицеты — одна из самых переменчивых в эволюционном отношении групп грибов, что является причиной заселения и повреждения разнообразных материалов, причем часто в экстремальных условиях обитания. Развиваясь при низких уровнях влажности и минимуме питательных веществ, они вызывают разрушение целлюлозосодержащих изделий, резины, пластмасс, ускоряют процессы коррозии металлов, встречаются на оптических приборах, изделиях из кожи, произведениях живописи. Объясняется это гетерокариотичностью мицелия, что обеспечивает адаптацию дейтеромицетов к окружающим условиям.

Разрушения микроорганизмами обычно происходят под действием не одной какой-либо группы, а комплексом, включающим и бактерии, и грибы. Одна группа микроорганизмов своей деятельностью подготавливает субстрат для другой. При этом возникают новые связи между отдельными микроорганизмами, постоянно формируются взаимосвязанные ассоциации, обеспечивающие выживание и адаптацию каждого вида в отдельности. Этот процесс очень сложный и обусловлен множеством факторов, среди них важнейшее значение имеет субстрат, на котором происходит формирование таких новых функционально взаимосвязанных единиц, как микробная ассоциация или биоценоз. При этом экологические условия играют важнейшую роль в их формировании. При различных экологических условиях на одних и тех же материалах формируются различные группы микроорганизмов. Например, при испытании материалов на открытой площадке в условиях естественной относительной влажности и температуры воздуха, при прямом действии солнечной радиации и атмосферных осадков через 8 месяцев от начала опыта на испытываемых материалах доминировали мицелиальные грибы и бактерии, через 15 месяцев их сменяли дрожжи.

Таким образом, при разработке мер борьбы с микробиологическими повреждениями следует всегда учитывать возможность образования на поражаемом материале ассоциаций, включающих бактерии и грибы и существенно различающихся в разных экологических условиях.

ЛЕКЦИЯ 10.

НАСЕКОМЫЕ-ВРЕДИТЕЛИ ИЗДЕЛИЙ И МАТЕРИАЛОВ.

1. Связи насекомых с материалами.
2. Насекомые - кожееды.
3. Насекомые - ксилофаги.
4. Стойкость материалов к повреждению насекомыми.

Связи насекомых с материалами. Один из самых богатых видами класс - насекомые - включает сравнительно немногих вредителей материалов. На территории бывшего СССР зарегистрировано лишь несколько более 200 видов таких насекомых, относящихся к восьми отрядам.

Опасными для материалов являются представители 19 семейств жуков, причем четвертая часть всех вредителей отнесена к первостепенным. Среди 14 семейств чешуекрылых лишь 2 имеют достаточно много вредящих видов, но пищевые повреждения характерны только для настоящих молей. Первостепенные вредители имеются среди них и выемчатых молей. Остальные семейства чешуекрылых включают единичных случайных вредителей материалов.

Пищевые повреждения ограничиваются материалами растительного и животного происхождения, причем вредители растительных материалов более разнообразны, а материалам животного происхождения сильно вредят лишь кератофаги из отряда Coleoptera. Синтетические материалы и изделия могут повреждаться при случайных контактах щетинохвостками, термитами, личинками жуков и гусеницами бабочек.

В большинстве случаев пищевые повреждения материалам наносят личинки, обитающие внутри или на поверхности материала. В силу этого между вредителями и материалами могут возникать топические, трофические и фабрические связи. Топическая связь характерна для изделий, имеющих удобные для поселения насекомых полости и отверстия, в таких случаях возможно внутреннее загрязнение изделия, причем длительность такой связи определяются особенностями биологии насекомого и микроклиматом в материале или изделии. Если насекомые, развивающиеся в полостях материала, используют его частицы для строительной деятельности, как, например, некоторые гусеницы молей при сооружении чехлика, то наряду с топической возникает фабрическая связь, в результате чего материал может быть в некоторой степени поврежден.

Насекомые - кожееды. В синантропных условиях наибольшее значение имеют жуки-кожееды и моли-кератофаги.

Жуки-кожееды (*Coleoptera*) представляют собой сравнительно небольшую, но очень важную в экономическом отношении группу жуков. Значительная часть входящих в нее видов относится к категории опасных вредителей материалов животного и растительного происхождения, шелководства и музейных коллекций. В список кожеедов, вредящих на территории СНГ, включено 42 вида.

Большинство кожеедов имеет однолетнюю генерацию. Кожееды населяют все географические зоны, кроме тундры, но наибольшей численности и видового разнообразия достигают в районах с сухим и жарким климатом — в пустынях и полупустынях.

Они развиваются практически во всех местах, где имеются скопления веществ животного происхождения. Многие виды - некробионты. Их развитие протекает на открыто лежащих трупах птиц, рептилий или млекопитающих. Другие представители этого рода обитают в гнездах птиц. Часть видов относится к ботробионтам. Некоторые из них обитают в норах птиц и хищных млекопитающих, другие приспособились к существованию в норах грызунов.

Очень многие представители, так или иначе, связаны с насекомыми и отчасти с пауками. Значительная группа видов входит в число симбионтов различных перепончатокрылых. Некоторые из них развиваются в гнездах шмелей, другие обитают в норах и гнездах пчел и ос, третьи являются специализированными мирмекофилами. Часть видов приспособилась к существованию в гнездах пауков и оотеках богомолов. Кроме того, среди кожеедов есть виды, питающиеся трупами насекомых в дуплах, под корой деревьев, в песке, трещинах обрывов и скал.

В личиночной стадии все кожееды питаются сухими или подсыхающими субстратами, богатыми белками животного (как исключение - растительного) происхождения. Некробионты развиваются за счет тканей трупов позвоночных и беспозвоночных животных. Нидиколы из этого же рода питаются трупами птенцов и остатками приносимой в гнездо пищи. Другие нидиколы являются высоко специализированными кератофагами. Их пища состоит почти исключительно из кератинсодержащих веществ - шерсти, перьев и ороговевшего эпидермиса кожи. Кожееды, живущие в гнездах перепончатокрылых и пауков, а также все дендробионты питаются сухими трупами насекомых и некоторых других членистоногих животных.

В имагинальной стадии многие кожееды питаются теми же веществами, на которых развиваются их личинки, другие принадлежат к группе антофагов, третьи являются афагами. Две последние группы связаны рядом переходов, так как несколько видов могут рассматриваться как факультативные афаги.

Вредные виды могут быть разделены на следующие группы: 1) виды, случайно попадающие в запасах; 2) факультативные синантропы, вредящие: а) в имагинальной стадии; б) в личиночной стадии; в) в имагинальной и личиночной стадиях; 3) облигатные синантропы: а) не питающиеся в природе; б) питающиеся в природе.

Переходу кожеедов в синантропные условия благоприятствуют следующие экологические особенности: высокая численность вида в природе; непосредственная связь местообитаний с постройками; высокая экологическая пластичность (особенно в выборе местообитаний и пищевого субстрата); афагия имаго; отсутствие диапаузы.

Высокая устойчивость кожеедов к действию неблагоприятных факторов среды, сравнительно высокая плодовитость жуков в сочетании с низкой смертностью личинок, служат причиной того, что их численность на складах увеличивается с очень большой скоростью. Все эти обстоятельства необходимо учитывать при планировании борьбы с вредными видами кожеедов.

Многие виды являются вредителями всевозможных продуктов и материалов животного и растительного происхождения. Особенно часто они повреждают кожи и кожевенное сырье, меха, перо, шерсть и шерстяные изделия, мясо и мясные продукты, сыр, сухое молоко, сушеную и копченую рыбу, клей, музейные экспонаты, зоологические и энтомологические коллекции, гербарии, переплеты книг, а также копру, зерно и некоторые зерновые продукты. Размножаясь в тех или иных материалах, насекомые выгрызают в них многочисленные ходы и отверстия, загрязняют их шкурками и экскрементами, быстро приводя их в негодность. Кроме того, личинки многих видов очень часто повреждают материалы и предметы, которыми они не питаются, а используют как субстрат для построения куколочкой камеры. Перед окукливанием личинки покидают те вещества, в которых протекало их развитие, и вгрызаются в любые находящиеся поблизости предметы. Особенно часто от этого страдают стены зданий, в которых хранятся или перерабатываются продукты животного происхождения (мясокомбинаты, колбасные фабрики, склады и т. п.), и транспорт, использующийся для их перевозки. Кожееды повреждают асбест, картон, хлопок, хлопчатобумажные и синтетические ткани, лен, пластмассы, табачные изделия, телефонные кабели и т. п. В шелководческих предприятиях они уничтожают грену и сильно повреждают коконы тутового шелкопряда, прогрызая в них отверстия и делая их непригодными для размотки.

Меры борьбы с кожеедами чрезвычайно многообразны, применение их зависит от биологических особенностей видов-вредителей:

1) Хранение пищевых продуктов и некоторых материалов (меха, ткани) при низких температурах (ниже 12°) полностью предохраняет их от повреждения кожеедами (особенно тропическими видами). Высокие температуры могут применяться при дезинсекции (в специальных камерах) тех предметов и материалов, которые не портятся при нагревании их до 80° в течение 1—2 ч (ткани, гербарии и т. п.).

2) Применение репеллентов имеет существенные ограничения в случае использования их в жилых помещениях, в шелководческих хозяйствах. Ограниченное при-

менение некоторых репеллентов (камфора, камфен, креозот) возможно только для защиты зоологических коллекций и гербариев при наличии в помещении герметических шкафов и совершенной вентиляционной системы.

3) К числу достаточно эффективных защитных мер относят пропитку материалов стойкими и не токсичными для человека веществами. Некоторые из этих веществ обладают репеллентными свойствами (например, тетраметрин, поверхностно-активные препараты), другие являются более или менее сильными инсектицидами.

4) Применение контактных инсектицидов. Многие из них существенно снижают численность вредителей, но, как правило, не приводят к их 100%-ной гибели.

5) Фумигация хранилищ или материалов приводит к полному уничтожению всех стадий развития любых видов кожеедов.

Моли-кератофаги. В качестве вредителей зарегистрировано около 30 видов молей. Они повреждают мех, шерсть, запасы сырья, фетровые и войлочные прокладки в приборах, кожаные переплеты старинных книг, тепло- и звукоизоляцию из войлока, зоологические и этнографические коллекции, одежду. Распространены моли повсеместно, в разных местах меняется лишь набор их видов.

Наиболее опасным и постоянным вредителем, отличающимся способностью к массовому круглогодичному размножению и имеющим большое экономическое значение, является платяная моль. Платяная моль стала облигатным обитателем жилья человека. Она - космополит и проникает за человеком даже в места, крайне неблагоприятные для жизни в открытой природе, и, как правило, встречается лишь в постройках человека, где при непрерывном развитии дает в зависимости от температуры 2-7 поколений в год.

У других видов бабочки в весенне-летнее время могут вылетать в открытую природу и давать одно поколение в гнездах птиц вблизи жилья, а осенью бабочки вновь мигрируют в помещение. И, наконец, ряд видов постоянно обитает в гнездах птиц, норах грызунов. Из природных очагов моли легко переходят на различные пригодные для их питания материалы в жилых и хозяйственных помещениях. Вредная деятельность молей в отапливаемых помещениях может продолжаться круглый год, в неотапливаемых — при температуре выше 15°. В СНГ зарегистрировано 32 вида молей-нидиолов, обнаруженных в гнездах 46 видов птиц, из них 25 видов — вредители различных материалов.

Среди насекомых, повреждающих меховые и шерстяные изделия, в некоторых случаях на долю молей приходится более половины потерь. Борьба с молями, как и другими вредителями, требует комплексного применения профилактических и истребительных мероприятий:

- 1) Систематическое поддержание чистоты, проветривание и просушивание помещений, а также поддержание в них низкой температуры;
- 2) Применение противомолевых препаратов;
- 3) Фумигация зараженных изделий, а иногда и целых строений.

Насекомые — ксилофаги. В природе с древесиной связаны представители 20 отрядов насекомых. Среди них только личинки жуков и двукрылых распределяются более чем по 60 семействам каждого из этих отрядов. Однако далеко не все ксилобионты являются ксилофагами, а последние, в свою очередь, делятся на комплексы, приуроченные к питанию древесиной, находящейся на определенных стадиях разру-

шения. В деревянных конструкциях и изделиях создаются условия, неблагоприятные для большинства видов ксилофагов, в частности жуков, и только немногие из них могут потреблять очень бедную водой пищу. В древесине, не контактирующей с почвой и имеющей постоянную влажность ниже предела гигроскопичности, могут развиваться только несколько групп жуков: некоторые виды усачей, точильщиков, древогрызов и капошонников.

Среди усачей есть виды, которые составляют как бы промежуточное звено между типичными обитателями лесов и синантропами, приспособившимися к жизни в древесине построек и мебели. Кроме того, некоторые жуки заселяют как стоящие деревья, так и свежие бревна. Они могут заселять и деревянные конструкции, при условии постоянного или периодического их увлажнения. Личинки могут попадать в дома с зараженным материалом и там заканчивать свое развитие. Настоящие суходревесные личинки настолько хорошо приспособлены к дефициту влаги, что длительное увлажнение древесины для них уже становится неблагоприятным. Из этой группы наиболее опасны точильщики.

Жуки-точильщики. В нашей стране известно около 20 видов точильщиков, вредящих постройкам, мебели, музейным экспонатам и другим изделиям из древесины. Они поражают только выдержанную древесину и не вредны для других материалов, но их деятельность очень опасна для старинных икон, мебели и музейных экспонатов. В отапливаемых помещениях наибольший вред причиняет мебельный точильщик, являющийся настоящим синантропом и гилофагом. В наших широтах этот точильщик не встречается и без «содействия» человека существовать не может, а в домах встречается почти повсеместно в европейской части бывшего СССР, Закавказье, Казахстане и Западной Сибири.

Термиты - мелкие или средней величины насекомые, обычно избегающие света и живущие семьями в гнездах, устроенных в земле, древесине или построенных из особого картоноподобного материала. Как и у других общественных насекомых, население гнезда неоднородно. Но в отличие от общественных перепончатокрылых полиморфизм термитов развился на основе неполного превращения и проявляется не только у вполне развитых имагинальных форм, но и у неполовозрелых особей. Поэтому касты термитов обычно более разнообразны и выражены резче, чем, например, у муравьев. В процессе развития все термиты проходят несколько стадий, каждая из которых включает 1 или несколько возрастов.

Борьба с термитами заключается, прежде всего, в применении комплекса конструктивных решений при постройке зданий и сооружений. Периодические осмотры зданий, своевременный ремонт, содержание в чистоте подвалов и окружающей территории способствуют длительному сохранению построек. Борьбу с термитами в зараженных ими домах следует приурочить к капитальному ремонту. В этом случае решают те же задачи, что и при строительстве нового дома, и применяют практически те же приемы. Поскольку изолированные от расположенного в почве гнезда термиты-жнецы в деревянных частях здания размножаться не могут, усиления их вреда не происходит.

Стойкость материалов к повреждению насекомыми. На фоне обширного спектра вредителей материалов — от микроорганизмов до млекопитающих — насекомые выглядят достаточно компактной группой, обладающей рядом специфических

особенностей и общих свойств. Это позволяет рассмотреть в общем виде характерные элементы взаимодействия их с материалами, из которых, в конечном счете, складывается та или иная степень стойкости материалов к повреждению. Основной вопрос, с которым сталкиваются конструкторы, проектировщики, материаловеды и другие технические специалисты, – будет ли данный материал или изделие повреждаться насекомыми? Не всегда можно дать на него однозначный ответ, поскольку стойкость определяется целым комплексом факторов.

Часто стойкость материалов, как и растений, является относительной. По отношению к конкретному виду или группе насекомых можно говорить об абсолютной или полной стойкости материалов.

Стойкость какого-либо материала определяется взаимодействием его свойств (органолептических, антибиотических и конструкционных), абиотических факторов среды и поведения насекомых. Свойства материалов и изделий – важный фактор в развитии биоповреждения. Органолептические свойства материала воздействуют на зрительные, химические и тактильные рецепторы насекомого. Через такое воздействие материалы могут привлекать или отталкивать насекомых. Аттрактивность (привлекательность) означает совокупность признаков и свойств материала, которым насекомые оказывают предпочтение при поиске пищи, места яйцекладки, укрытия или нескольких целей одновременно.

Аттрактивность объекта складывается из комплексного воздействия на насекомых визуальных, химических и тактильных стимулов. Они могут действовать одновременно или последовательно по мере приближения насекомого к объекту.

Зрительные ориентиры могут определять направленный поиск, но часто дополняются химическими раздражителями и, прежде всего, запахом, который воспринимается хеморецепторами насекомых. Последние делят на *ольфакторные* (воспринимающие запах) и *контактные* (воспринимающие «вкус»).

Важное место занимают реакции на механические раздражения, зависящие от физического строения материала и характера его поверхности. Наличие щелей, углублений и других укрытий может привлекать насекомых. Шероховатая поверхность создает удобства для их передвижения. Наоборот, гладкая скользкая поверхность не дает возможности зацепиться, особенно на вертикальных и «обратных» плоскостях. Важна также температура поверхности: на холодные предметы насекомые не садятся, а теплыми привлекаются.

В общем виде отыскание насекомым субстрата, который мог бы служить ему убежищем, пищей или местом для откладки яиц, включает цепь реакций на различные раздражители, набор которых зависит от вида насекомого, экологической обстановки и субстрата.

Имеется два основных типа стойкости материалов, обусловленной комплексом их органолептических свойств: 1) стойкий материал в значительной мере лишен одного или нескольких привлекающих свойств; 2) стойкий материал обладает отталкивающими свойствами, которые могут заменять привлекающие раздражители, успешно конкурировать с ними или маскировать их.

В первом случае удаление некоторых веществ может быть произведено в процессе обработки сырья, но обычно после этого аттрактивность материала не падает до нуля в силу комплексного восприятия объекта. Наличие отталкивающих особенностей

придает материалу более высокую стойкость. Антибиотические свойства представляются в настоящее время наиболее ценной формой устойчивости. Они способны предупреждать, подавлять или уничтожать проявления жизни насекомых. Степень антибиотического воздействия стойкого материала на насекомое может быть различной. Часто гибель насекомых на стойких материалах происходит очень быстро, в течение нескольких часов или суток. Это первый аспект антибиотического действия - токсичность материала. Вторым аспектом антибиотических свойств — инсектистатическое действие материала. Оно проявляется в виде недостатка в материале некоторых или многих питательных веществ— витаминов, белков и т. п. Например, на чистой отмытой шерсти гусеницы моли развиваются значительно хуже, чем на загрязненной. На некоторых материалах определенный вредитель может жить только в течение короткого времени и не размножается. В других случаях наблюдается увеличение срока личиночного развития, повышение смертности во время линек, уменьшение размеров и сокращение сроков жизни имаго, снижение плодовитости и, как итог, снижение численности вредителя на материале.

Антиметаболиты и другие вещества, которые в соответствующих концентрациях влияют на жизненно важные функции и процессы в организме насекомых, подавляют их рост и размножение, называются инсектистатиками.

Конструкционные особенности изделий могут играть важную роль в стойкости пищевых материалов. Такая стойкость связана с неспособностью насекомых добраться до пищи, например, в правильно построенных домах, в различных конструкциях, где пищевой для насекомых материал изолирован непроницаемым для них твердым лакокрасочным покрытием.

Стойкость как явление зависит от многих абиотических и биотических факторов среды, которые оказывают влияние на численность насекомых, состояние материала и размер вреда, причиняемого каждой отдельной особью; существенно и состояние самого насекомого.

Среди абиотических факторов наибольшее значение имеют температура и влажность, иногда - свет и электромагнитное состояние атмосферы.

Температура, прежде всего, влияет на распространение тех или иных видов и групп насекомых. Так, северная граница ареала термитов примерно совпадает с годовой изотермой +10°. Следовательно, во всех более холодных районах вопрос о стойкости материалов к этим насекомым отпадает в связи с их отсутствием. С температурой тесно связана также активность насекомых. Каждый вид имеет температурные границы и оптимум активности. Если температура окружающей среды выходит за рамки границ активности, то насекомые впадают в тепловое или холодное оцепенение и не могут повреждать материалы. Температура может влиять и на свойства материалов, и на срок действия защитных средств.

Вторым важным фактором существования и активности насекомых является относительная влажность воздуха и влажность субстрата (почвы, материала). Чрезмерная влажность и появление капельной воды препятствуют дыханию большинства насекомых. Еще сильнее сказывается низкая влажность, которая ведет к иссушению организма насекомого и его уходу из сухой зоны или гибели.

Освещенность обычно определяет ритм активности насекомых, пик которой приурочен к определенному времени суток. Однако многие скрытоживущие насеко-

мые могут питаться круглосуточно, располагаясь внутри материала (многие ксилофаги, кератофаги).

Из биотических факторов, прежде всего, следует учитывать наличие другого источника пищи, расположенного в непосредственной близости от интересующего нас материала. В его отсутствие насекомые лишены выбора и вынуждены поедать даже не очень подходящий для них субстрат.

Этологические механизмы вида также определяют его роль в биоповреждении. Большое влияние на стойкость оказывает «агрессивность» насекомого. При этом различной активностью могут обладать не только разные виды насекомых, но и различные расы одного вида.

Из сказанного ясно, что стойкость материалов — явление достаточно сложное. Ее исследование позволяет установить некоторые критерии, общие для всех насекомых. Вместе с тем в конкретных климатических и экологических условиях должны быть учтены особенности биологии конкретных видов.

ЛЕКЦИЯ 11.

ПТИЦЫ И МЛЕКОПИТАЮЩИЕ – ИСТОЧНИКИ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ.

1. Птицы как агенты биоповреждений. Систематический статус биоповреждающих групп.
2. Повреждаемые птицами объекты.
3. Средства защиты от биоповреждений, вызываемых птицами.
4. Млекопитающие как агенты биоповреждений.
5. Повреждаемые млекопитающими объекты. Средства защиты от биоповреждений.

Характеризуя высших позвоночных животных с точки зрения их биоповреждающей деятельности, нужно учитывать их высокий эволюционный статус, большое значение в биоценологических процессах, особое место в биосфере. В то же время необходимо подчеркнуть, что основную роль в качестве источников биоповреждений выполняют представители классов птиц и млекопитающих, а среди них — отдельные представители отрядов воробьиных, чаек и грызунов. Главные биоповреждающие виды практически всегда являются массовыми, синантропными, космополитически распространенными, прогрессирующими в своей численности. Точно так же характерными особенностями, объединяющими их, является то, что они, как правило, не используют повреждаемые ими объекты в биологических целях и главными средствами защиты от многих из них являются воздействующие на поведение этологические средства.

Птицы как агенты биоповреждений. Систематический статус биоповреждающих групп. Общее число птиц, населяющих земной шар, насчитывает около 100 млрд. особей. Они встречаются везде, за исключением внутренних частей Антарктиды, населяют высочайшие горные системы мира на высотах, превышающих 7 тыс. над уровнем моря, пустыни и степи, леса, морские побережья и океаны.

В процессе эволюции птицы освоили различные местообитания и в настоящее время встречаются в различных типах ландшафта. Некоторые виды, такие, как сипуха

и скопа, морской зук, деревенская ласточка, распространены по земному шару чрезвычайно широко, встречаясь на всех или почти всех материках, ареал других видов охватывает континенты или их части. Отдельные виды по разным причинам, в том числе связанным с деятельностью человека, резко расширяют свой ареал, как, например, кольчатая горлица, канареечный вьюрок, майна, в то же время ареалы других видов резко сокращаются, а численность падает. Если численность зяблика превышает 200 млн. особей, кайр - около 60 млн., то калифорнийских кондоров - всего 60 особей, американских журавлей - 50, белоспинных альбатросов - 30.

Птицы обладают рядом биологических особенностей, определяющих их роль в создании биоповреждающих ситуаций и дающих им значительные преимущества перед другими классами животных:

1) способность мигрировать на различные расстояния, создавать массовые концентрации в непосредственной близости от хозяйственно важных объектов. Поскольку эти явления не всегда носят периодический и сезонный характер, то создаваемые птицами биоповреждающие ситуации не всегда предсказуемы;

2) высокоразвитые ориентационные способности, возможность обучаться на новые ориентиры и экстраполировать их перемещения в пространстве;

3) синантропизм птиц, обеспечивающий тесные связи с человеком и результатами его деятельности, позволяющий активно реагировать на новые объекты и материалы антропогенного происхождения, использовать их в своих экологических целях;

4) совершенная ориентация, сигнализация и общение. Определяя свое местоположение в пространстве, птицы используют в качестве опорных ориентиров солнце и звезды, магнитные поля, барические градиенты, поляризованный свет, инфразвуковое излучение, ландшафтное окружение, партнеров по виду и биоценозу (опосредованная ориентация);

5) групповое поведение, коллективный, стайный образ жизни, дающие им дополнительные преимущества в защите от врагов, поисках и добывании пищи. В скоплениях птиц благодаря обучению и передаче опыта создаются благоприятные условия для лучшей ориентации в пространстве (эффект групповой ориентации), непрерывного пополнения группового опыта и групповой памяти, его биологически целесообразной реализации за счет обучения молодых особей.

В сложную мозаику распределения птиц все более активно вмешивается человек, меняя и преобразуя лик планеты, создавая значительные территории новых для птиц биотопов. В новых экологических условиях создаются новые сообщества и в некоторых из них вовлекаются созданные человеком устройства и сооружения в качестве объекта биоповреждающего действия.

Перечисленные биологические особенности неодинаково выражены в различных группах. Из 170 семейств представители чайковых, голубей, врановых, скворцовых и ткачиковых наиболее часто фигурируют среди источников биоповреждающего действия, в то же время в каждом из этих семейств не все, а лишь немногие виды. Все они характеризуются способностью создавать огромные концентрации на огромной площади, терпимым отношением к человеку и результатам его деятельности (большинство — облигатные синантропы), групповым образом жизни.

Среди 8800 населяющих земной шар видов птиц примерно 1%, т. е. около 100 видов, относятся к биоповреждающим, наносящим вред сырью, материалам, технике

и сооружениям. Одни виды регулярно сталкиваются с самолетами, другие, поселяясь на опорах линий электропередач, вызывают аварии энергосети, третьи загрязняют пометом памятники и крыши, способствуя усиленной коррозии металла. К биоповреждающим видам у нас относятся озерная, сизая и серебристая чайки, сизые голуби, скворцы, грачи и серые вороны, представляющие отряды ржанкообразных, голубеобразных и воробьинообразных.

Отряд ржанкообразные насчитывает 289 видов. Широко распространены по земному шару.

Семейство *чайковые* включает основные биоповреждающие виды. Большинство ведут мигрирующий или кочевой образ жизни. Крупные виды питаются рыбой, падалью, грызунами, мелкие — насекомыми и другими беспозвоночными, мальками. В питании все большее значение приобретают пищевые отбросы, подбираемые на свалках и помойках. Многие виды охотно контактируют с человеком, поселяясь на окраинах городов и в городах. Численность таких видов всюду непрерывно растет. Наносят значительный ущерб, сталкиваясь с самолетами, выедая корм из клеток на зверофермах, загрязняя крыши жилых и промышленных сооружений.

Отряд голубеобразных насчитывает 310 видов, широко распространенных в тропиках и умеренном поясе. Основной биоповреждающий вид - сизый голубь - представитель семейства голубиных, включающего 285 видов. Сизый голубь обитает как облигатный синантроп в городах и населенных пунктах, питаясь на помойках и свалках, а также используя подкормочные площадки, устраиваемые населением в жилых кварталах. Наносят существенный ущерб городскому хозяйству, памятникам и сооружениям, загрязняя пометом и вызывая ускоренную коррозию металлических поверхностей.

Отряд воробьинообразных относится к числу самых многочисленных, объединяя больше половины всех ныне живущих видов птиц. 70 семейств этого отряда представлены мелкими и средней величины птицами, обитающими всюду, кроме Антарктики. Основные биоповреждающие виды относятся к семействам вороновых и скворцовых.

Серая ворона и грач, наносящие значительный ущерб техническим устройствам, сооружениям и энергетическим установкам, - представители семейства врановых. Семейство объединяет 100 видов, широко распространенных всюду по земному шару. Всеядны, в последнее время все чаще используют пищевые отбросы, собираемые на свалках и мусорных кучах. Охотно контактируют с человеком, многие виды колониальны и ведут стайный образ жизни вне периода размножения. Обладают высокоразвитыми способностями к сигнализации и звукоподражанию, сложным формам поведения и аналитико-синтетической деятельности.

Обыкновенный скворец, наносящий значительный ущерб техническим устройствам, сырью и городскому хозяйству, представляет многочисленное (110 видов) семейство скворцовых. Большинство видов ведут колониальный образ жизни (стайный вне периода размножения). Питаются насекомыми, моллюсками, червями, семенами, ягодами, плодами, кормятся в скверах и парках, используют пищевые отбросы. В садах и виноградниках уничтожают значительную часть урожая. Охотно контактируют с человеком, поселяются в городах, где гнездятся в зданиях и искусственных гнездовьях, часть популяций становится оседлой. Численность некоторых видов непре-

рывно растет и защита от био-повреждающей деятельности скворцов становится важной задачей.

Помимо чаек, врановых и голубей в биоповреждающих ситуациях участвуют дневные хищники, голенастые, пластинчатоклювые, стрижи и дятлы, однако их участие не столь значительно и в большинстве случаев носит нерегулярный характер, поэтому их не относят к категории облигатных и массовых «биоповрежденцев», требующих специальных мер борьбы и защиты.

Повреждаемые птицами объекты. Перечень материалов, технических устройств, архитектурных и промышленных сооружений, памятников, наконец, сырьевых ресурсов в стадии добычи, хранения, транспортировки и переработки повреждаемых птицами огромен, поэтому целесообразно остановиться на главных, наиболее важных.

Повреждение пушно-мехового сырья. Птицы являются косвенными источниками биоповреждений пушно-меховых изделий и снижения их качества, поскольку съедают на зверофермах значительную часть корма, предназначенного зверькам. Этот вред наносят главным образом серые вороны, трудно поддающиеся в этих условиях отпугиванию и тем более уничтожению. Насильственное изъятие части ворон путем отлова и отстрела сопровождается быстрым пополнением за счет городских популяций. Действенных мер защиты от птиц в условиях звероферм пока еще не существует. Одним из наиболее перспективных в этом отношении методов должны стать дрессированные хищники.

Повреждение энергетических установок. В последнее время грачи, аисты и другие птицы перешли к гнездованию на опорах линий электропередач, устраивая свои гнезда на металлических конструкциях. Используя при этом для строительства гнезд наряду с обычным материалом обрезки проволоки, в изобилии валявшиеся под опорой, грачи вызывают аварийные отключения, лишая энергопитания заводы, фермы, больницы и т. д. Устраивая тяжелые гнезда на железнодорожных станциях, аисты начали создавать помехи эксплуатации транспорта. Наряду с гнездостроительной деятельностью птицы стали создавать существенные помехи энергосети благодаря использованию опор в качестве мест отдыха. Источником аварии в этом случае служит жидкий помет, струя которого становилась проводником и вызывала замыкание, отключающее ток.

Повреждение памятников культуры, архитектурных и промышленных сооружений. Птицы и результат их жизнедеятельности часто становятся причинами плачевного состояния памятников, представляющих огромную культурную ценность. Скульптуры и здания густо обсажены сизыми голубями, их помет, покрывающий поверхность скульптурных и архитектурных сооружений вызывает сильную коррозию материала, из которого сделан памятник. Искусствоведы и специалисты затрачивают большие усилия на то, чтобы предохранить каменные постройки и скульптуры, металлические памятники и крыши зданий от птиц и все же до сих пор эта задача остается актуальной.

Повреждение транспортных средств. В начале века были зарегистрированы первые случаи столкновений самолетов с птицами, лишь иногда сопровождающиеся серьезными авариями, к настоящему времени число таких столкновений перевалило за 4000, причем каждое десятое из них сопровождалось тяжелыми последствиями. В

швейцарских ВВС, например, на каждые 10 тыс. ч. полета приходится 9,7 столкновений с птицами (90% столкновений происходит на взлете и посадке главным образом по вине чаек (30%), ласточек и стрижей (20%), хищных птиц (15-20%). Из-за возросшей скорости самолетов соответственно увеличилась опасность столкновений и тяжесть их последствий. Птицам стало труднее избегать столкновений. Сила удара тела птицы о самолет, летящий со скоростью 2000 км/ч, стала достигать 30 000 кг.

Изучая последствия таких столкновений, конструкторы укрепляют соответствующие узлы, увеличивают их птицестойкость. Авиационные метеорологи с помощью радиолокаторов прослеживают перемещение массовых скоплений птиц, особенно в тех точках, где они пересекаются с трассами авиалиний. Во время массовых миграций птиц воздушные коридоры, заполненные птицами, закрываются для движения воздушных лайнеров. Во время сезонных миграций и кочевочных перемещений молодняка в конце лета концентрация птиц на аэродромах особенно возрастает, увеличивая опасность столкновения самолетов с птицами, главным образом молодыми и неопытными, недавно покинувшими свои гнезда, не знающими местных условий. Встречая в районе аэродрома экологически благоприятные условия, определенные виды птиц вовлекаются в аэродромный биоценоз, становясь его активными и наиболее массовыми участниками. При этом не все обитающие на аэродроме или посещающие его территорию во время кочевки и миграций виды опасны для самолетов, а лишь вполне определенные представители аэродромной фауны, в то же время значительное число видов относится к категории случайных, столкновения которых с самолетами трудно прогнозировать и еще труднее предотвратить.

Изучая статистику столкновений, орнитологи выявляют ее зависимость от времени суток, высоты и характера полета, скорости и т. д.. По данным некоторых ученых большинство столкновений (28%) произошло в августе и сентябре, в светлое время суток (67%), на высотах до 100 м (46%), при скорости полета самолета 101—300 км/ч (71%), сталкивались во время посадки (40%). Поэтому значительное место в практических мероприятиях по защите самолетов от птиц занимает прогнозирование орнитологической обстановки зависимости от сезона, времени суток, метеословий и т. д. (рис. 10).

Изучая аэродромную фауну и сопоставляя ее со статистикой столкновений в районе аэродрома, орнитологи заботятся о ликвидации привлекающих птиц экологических факторов, направленном формировании аэродромной фауны, уменьшения численности видов, наиболее часто сталкивающихся с самолетами. При этом широко используются средства отпугивания птиц, основанные на пиротехнических и акустических устройствах, имитирующих тревожные крики птиц, сопровождающиеся звуками ружейных выстрелов и пиротехническими эффектами.

Значительное место в повреждении птицами самолетов занимает порча их на открытой стоянке и во время ремонта под крышами ангаров. Серые вороны засовывают остатки пищи в хвостовое оперение самолетов, расклеивают брезентовую обшивку вертолетов, воробьи, трясогузки и большие синицы устраивают гнезда в отверстиях тяги элеронов. Базируясь на временных аэродромах, самолеты и вертолеты сельскохозяйственной авиации повреждаются птицами, устраивающими в них свои гнезда и нарушающими обшивку. Общий материальный ущерб от биопо-

вреждений транспорта, вызываемых птицами, очень значителен, прежде всего, из-за высокой стоимости авиационной техники.

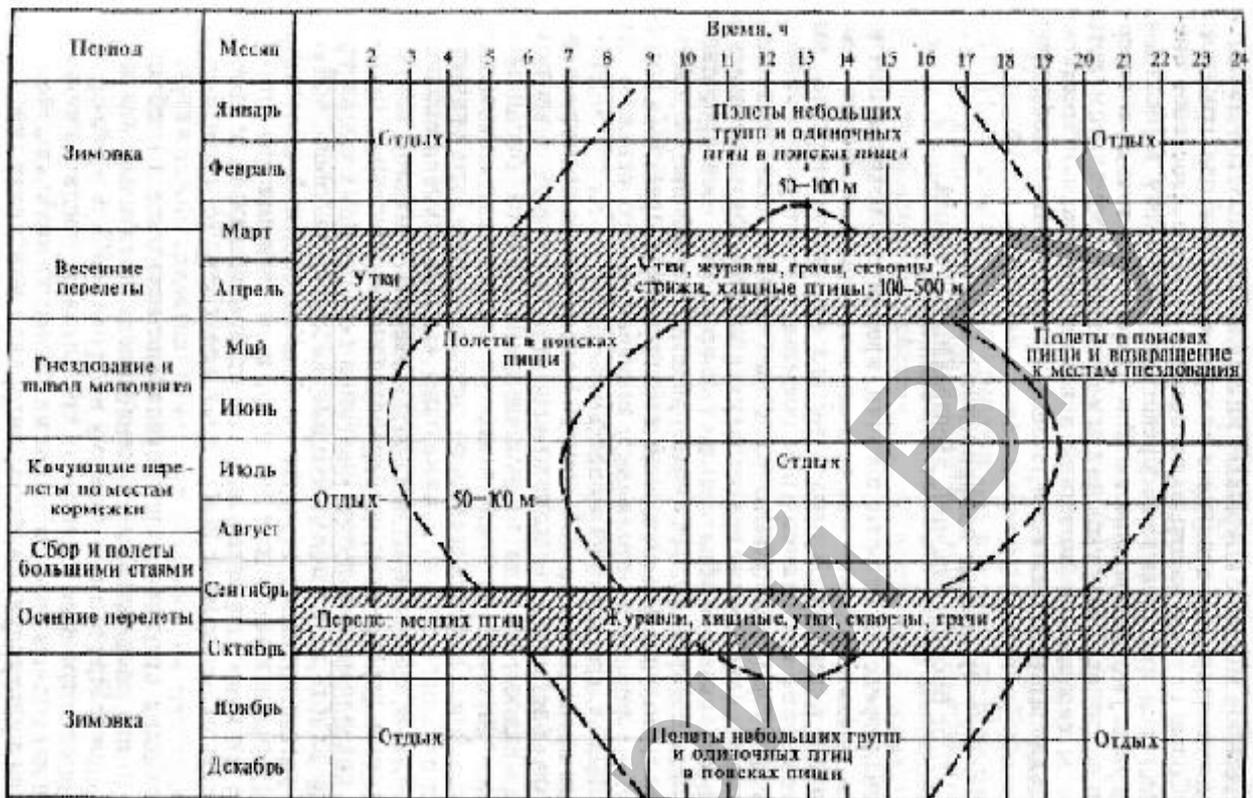


Рис. 10. Зависимость активности птиц от сезона.

Средства защиты от биоповреждений, вызываемых птицами. При создании средств защиты от биоповреждений, вызываемых птицами, работу ведут в трех основных направлениях:

- 1) создание средств, вызывающих гибель организмов (биоцидные средства).
- 2) создание средств, ухудшающих физиологическое состояние организма — обратимо и только в зоне непосредственной близости с объектом.
- 3) применение средств (этологических), способных влиять на поведение организма, вызывая реакцию активного избегания.

Применение этологических средств имеет ряд преимуществ, так как животному не грозит гибель и это обстоятельство имеет огромное значение в тех случаях, когда биоповреждения вызываются видами, имеющими большую научную, хозяйственную или культурную ценность, затрудняя или делая невозможным использование в качестве средства защиты их прямое уничтожение. Кроме того, по сравнению с другими средствами защиты от биоповреждений они более дешевы, экономичны, эффективны, надежны. Средства, наиболее часто используемые в настоящее время в целях защиты от биоповреждений деятельности птиц, делят на акустические, оптические, химические, механические (защитно-изолирующие) и экологические средства, а также комбинированные средства, основанные на совместном использовании нескольких из них одновременно.

Наиболее распространенными и популярными акустическими средствами являются магнитофонные трансляции сигналов бедствия и других тревожных и предупреждающих сигналов, с меньшей эффективностью применяют низкочастотные шу-

мы и чистые тоны высокой интенсивности, вызывающие неприятные ощущения (сенсорный дискомфорт) у человека и животных.

Применяемые в настоящее время оптические средства делятся на три категории. Первая включает натуральный раздражитель — человека, являющегося биоценоотическим партнером птиц, опасным для них и хорошо знакомым объектом (дрессированные соколы и ястребы, собаки). Ко второй категории оптических средств относятся имитанты биоценоотических партнеров, репеллентных для птиц (например, объемные макеты соколов, управляемых по радио). Третья категория отпугивающих средств основана на использовании раздражителей, вызывающих неприятные ощущения в зрительной системе и тем самым создающих сенсорный дискомфорт (например, стеклянные или зеркальные шары, которые вращаются на подвеске и в солнечный день отражают лучи в виде многочисленных ярких вспышек, раздражают сетчатку глаза и пугают птиц, сканирующий луч лазера и т.п.).

Химические средства применяются в тех случаях, когда возникает необходимость вызвать у одной из птиц дискомфортное поведение в виде судорог, рвоты и т. д., демонстрация которого на всех остальных, наблюдающих со стороны особей, должна оказать сильное репеллентное действие (например, действие препарата альфа-хлоралозы, чаще всего используемого как снотворное средство; авитрол-100 и авитрол-200, избирательно действующие на птиц и малотоксичные для млекопитающих и др.).

Среди механических (защитно-изолирующих) средств наиболее известными являются липкие ленты и покрытия, металлические и пластиковые ерши, мелкоячеистые навесные сети и ряд других.

Экологические средства основаны на использовании жизненно важных факторов, в частности мест для устройства гнезда, укрытий, пищи и т. д. Поскольку птиц привлекают именно такие факторы, то задача заключается в том, чтобы сделать эти объекты непривлекательными для птиц. Для этой цели в зоне отчуждения вокруг аэродрома и особенно поблизости от взлетно-посадочной полосы осушают водоемы, вырубают кустарники, распахивают луга и засаживают их картофелем. В некоторых странах вокруг взлетно-посадочной полосы сажают мелкий ельник, которого избегают птицы. В аэродромных постройках засетчивают окна и чердачные отверстия, привлекающие сизых голубей и галок, поблизости от аэродрома ликвидируют свалки, собирающие десятки тысяч чаек, ворон и других птиц. Взлетная полоса, на которую выползают дождевые черви и разные насекомые, привлекающие птиц, обрабатывается инсектицидами.

Комбинированные средства предусматривают использование раздражителей разных модальностей, сочетание которых дает максимальный репеллентный эффект. Основу комплексного средства защиты составляет, например, сигнальное средство, подкрепленное действием экологически значимого для вида элемента. В практике освоены и широко используются акустико-оптические средства, сконструированные из «сигналов-бедствия» птиц и подкрепляющего действия стреляющего ружья. Создание комбинированных репеллентов — одно из наиболее перспективных направлений в решении проблемы защиты от биоповреждений с помощью этологических средств.

Этологические средства защиты от биоповреждений имеют общее значение и с соответствующими уточнениями и коррективами могут быть использованы против биоповреждающих представителей других групп животных.

Млекопитающие как агенты биоповреждений. Млекопитающие распространены повсеместно, заселяют все среды, включая почву, водоемы и приземные слои атмосферы. Играют основную роль почти во всех биоценозах. Вся группа имеет очень важное значение для человека. Среди млекопитающих имеются сельскохозяйственные животные, промысловые виды, хранители болезней человека и домашних животных, вредители сельского и лесного хозяйства, материалов и сооружений. Наибольший вред различным объектам и сооружениям причиняют грызуны. Помимо грызунов повреждения материалам наносят зайцы и парнокопытные.

Грызуны - самый многочисленный отряд млекопитающих, в каждом семействе которого можно обнаружить агентов биоповреждения. Сурки и суслики (сем. беличьи) наносят значительный вред зерновым культурам. Представители семейства мышиные (полевки, крысы, мыши, лемминги) обладают широким спектром биоповреждающих воздействий. Слепыши местами вредят сельскому хозяйству, виды семейства тушканчики наносят вред посадкам бахчевых и технических культур.

Отряд Зайцеобразных отличается от грызунов строением костного неба и наличием двух пар верхних резцов. У зайцеобразных нет клыков, и на их месте имеется промежуток – диастема. В отряде два семейства (около 60 видов): семейство пищуховые и семейство зайцы. Основные биоповреждающие виды – зайцы и кролики, наносящие вред лесному и сельскому хозяйству.

Повреждаемые млекопитающими объекты. Среди живых организмов, повреждающих материалы, грызуны занимают особое положение, так как повреждения, которые они причиняют, имеют непищевой характер и обусловлены проявлением свойственной им грызущей деятельности. Среди грызунов нет специализированных вредителей материалов. Практически все они потенциально опасны в этом отношении.

Влияние хозяйственной деятельности человека на расселение синантропных видов, заселение новых биотопов грызунами в связи с изменением условий существования, увеличение их «контактов» с человеком и его производственным окружением постоянно усиливаются. В частности, изменение условий существования приводит к тому, что местные виды грызунов заселяют сооружения человека, становясь условными или частичными синантропами. Строительство каналов и развитие орошаемого земледелия способствует проникновению в засушливые районы влаголюбивых видов: обыкновенной и водяной полевок, полевой мыши, ондатры, серой крысы. В настоящее время происходит заметное увеличение ареала последней, чему способствуют также строительство животноводческих комплексов, перевалочных баз и т. п. Грызуны повреждают продукты питания, портят на складах ткани, меха, обувь, пластмассу, мебель и др. Отмечены повреждения крысами свинцовых водопроводных труб, изделий из алюминия. В жилых помещениях и других постройках грызуны используют для устройства гнезд бумагу, тряпки, пенопласт, изоляционные материалы, резину и т. п. Значительный ущерб наносят, повреждая кабели и провода, что приводит к авариям, нарушению связи, движению поездов, пожарам и человеческим жертвам. Помимо уничтожения они загрязняют отходами жизнедеятельности сырье, материалы и изде-

лия. Повреждение крысами строительных материалов, в частности панелей с металлическими (или иными) облицовками и утеплителем из пенополиуретанов, приводит к потере последними теплозащитных свойств.

Нередки повреждения, связанные с роющей деятельностью животных. Поселяясь по берегам каналов за облицовочными плитами, в плотинах и дамбах, грызуны роют норы в насыпях, часто прокладывая ходы ниже уровня воды. Это способствует усилению фильтрации и может вызвать разрушение насыпей, прорыв плотин и даже наводнения. Серьезный вред ирригационным сооружениям в Западной Европе причиняет ондатра.

В некоторых случаях ущерб от повреждений может быть косвенным. Например, повреждения крысами герметичной пленочной упаковки на приборах, хранящихся на складе, приводит к порче последних. Нарушение упаковки пищевых продуктов, помимо их уничтожения, ведет к загрязнению и порче. Заселяя животноводческие помещения, крысы прогрызают множество отверстий в стенах и полу. Находящийся в этих помещениях скот ломает ноги, проваливаясь в дыры. Этот косвенный ущерб не всегда можно оценить только в рублях.

В естественных условиях повреждение материалов может быть вызвано различными причинами (рис. 11).

Серьезные последствия от повреждения грызунами различных объектов и сооружений сделали необходимым проведение экспериментальных исследований по определению стойкости различных материалов к повреждению грызунами. Наиболее



Рис. 11. Формы проявления грызущей деятельности

риала, который нужно испытать, используется как барьер, преграждающий грызунам доступ к корму. Чтобы добраться до источника пищи, зверьки вынуждены разрушать искусственный барьер. Для получения более точных результатов каждый материал следует испытывать трижды. Твердые материалы на испытаниях следует обязательно чередовать с материалами, которые грызуны легко повреждают, иначе они перестанут грызть преграду, поскольку у них вырабатывается пассивно-оборонительная реакция.

Результаты опытов оценивают в баллах: 0 — материал не поврежден; 1 — незначительные царапины зубами на поверхности пластины, 2 — повреждена поверхность; 3 — значительные повреждения пластины, но она не прогрызена; 4 — пластина прогрызена. Проведение испытаний по единой методике позволяет выявить материалы, не устойчивые к повреждению грызунами, определить степень их повреждения и получить сравнимые результаты как по отдельным материалам, так и по группам материалов. Метод «принуждения» используют многие исследователи.

Испытания показали, что грызуны повреждают многие материалы: древесину, бумагу и картон; нетканые материалы, ткани из натуральных, искусственных и синтетических волокон. Наличие на тканях пропитки или покрытий не препятствовало повреждению. Легко повреждаются нитки, веревки, канаты, изготовленные на основе различных волокон. Кожи натуральная и искусственная, синтетические пленки и трубки, асбестовые материалы, резины и газонаполненные пластмассы также оказались неустойчивыми. В группе однородных литых и прессовочных материалов нестойкими оказались все испытанные материалы, за исключением оргстекла оранжевого, которое мелкие грызуны повреждали слабо.

Средства защиты от биоповреждений, вызываемых млекопитающими. Методы непосредственной защиты материалов от повреждений пока еще не разработаны в достаточной степени, так как повреждающая деятельность грызунов разнообразна. Существующие же способы борьбы направлены на общее снижение их численности и уменьшение масштабов вреда, что тем самым уменьшает возможность повреждения материалов и сооружений

Основная задача борьбы с грызунами — снижение численности или полное истребление вредителей на определенных объектах, в сооружениях, населенных пунктах и т. п. Для этого проводят две категории мероприятий:

1) проведение общих профилактических мер, обеспечивающих стойкость объектов к грызунам. Цель этих мер - лишить грызунов убежищ, корма, затруднить доступ на объекты или в помещения извне. В городах и других населенных пунктах этому способствует проведение санитарно-профилактических мероприятий, улучшение санитарного состояния населенных пунктов и пр. Эти изменения среды обитания затрудняют заселение грызунами объектов и постоянное пребывание в них. Для уменьшения вредности грызунов в сельском хозяйстве большое значение имеют соблюдение правил агротехники, своевременная уборка урожая, хорошее состояние зернохранилищ и овощехранилищ, т. е. все, что вызывает резкое ухудшение условий обитания и кормности угодий для грызунов. Для своевременной организации борьбы с вредными грызунами разработаны методы учета и составления прогноза их численности, которые позволяют определить предполагаемую численность и возможный вред сельскохозяйственным культурам в течение ближайшего сезона или года.

2) истребительные работы - путем использования химических, механических и биологических способов борьбы. Чтобы правильно организовать борьбу, важно знать закономерности пространственного распределения и динамики численности видов-вредителей. Важным условием при этом становится картографирование «поселений» грызунов и выделение «стаций переживания». На этой основе возможна профилактическая борьба с вредителями, которая позволит поддерживать их численность на минимальном уровне.

Химический метод борьбы с грызунами в настоящее время является ведущим и наиболее эффективным. Яды, применяющиеся для борьбы с грызунами, по характеру своего действия делятся на препараты острого и кумулятивного действия. Из ядов острого действия наиболее широко используют фторсодержащие соединения (фтороацетат натрия, фторацетамид, монофторин и др.) и фосфорорганические соединения (фосфид цинка, глифтор). Яды кумулятивного действия — антикоагулянты — созданы на основе кумарина (варфарин, зоокумарин) и индадиона (ратиндан, фенто-лацин и др.). Д

Во многих странах серьезное внимание уделяют поискам репеллентов- веществ, которые могли бы отпугивать грызунов от защищаемого предмета. Поиск репеллентов - задача сложная. Вещества, предлагаемые в качестве репеллентов, должны отвечать следующим требованиям: не быть токсичными, при введении в материалы не терять своих отпугивающих свойств, не изменять свойств самого материала и не изменяться под действием факторов внешней среды. Механизм действия репеллентов изучен еще недостаточно. Это затрудняет поиск новых веществ и требует комплексного подхода и совместной работы химиков, технологов и биологов.

В последнее время широко рекламируют во многих зарубежных странах способы защиты сооружений физическими методами с помощью звуков ВЧ и ультразвука. Однако исследования показали, что после непродолжительного положительного эффекта у грызунов наступает привыкание и отпугивающее действие пропадает.

Для достижения наилучшего эффекта все мероприятия должны проводиться систематически. Успех борьбы зависит от выбора наиболее пригодных в данных условиях средств борьбы и правильного определения мест обработки.

ЛЕКЦИЯ 12.

ПОВРЕЖДАЮЩИЕ БИОЦЕНОЗЫ В ВОДНОЙ СРЕДЕ.

1. Обрастание.
2. Основные обрастатели.
3. Механизм обрастания.
4. Экология и распределение обрастателей

Обрастание. Обрастание — это сообщество животных и растений, обитающих на твердом субстрате. Обычно в нем преобладают прикрепленные организмы, а подвижные обитают среди них, используя их в качестве пищи и убежища. Обрастание антропогенных субстратов практически не отличается от обрастания природных.

Обрастание встречается во всех водах, как морских, так и пресноводных, и на любых глубинах, где есть твердый субстрат. Однако состав воды, скорость ее движения, освещенность, загрязнение и другие факторы влияют на видовой состав обрастания. Перифитонные организмы морей, солоноватых и пресных вод в большинстве случаев различные. Количество пищи оказывает влияние в первую очередь на обилие обрастания и меньше на его состав.

Обрастание приносит большой вред человеку тем, что оно может значительно (до 50%) снижать скорость хода судов, усиливает коррозию металла и бетона в воде, уменьшает просвет водопроводов, подающих воду на предприятия.

Обрастание свай причалов и эстакад может на 10—20 см увеличивать диаметр их, что вызывает необходимость расширять их объем и тратить огромное количество лишнего металла и бетона. Поселяясь на минах, буях и других плавучих объектах, обрастатели могут увеличивать их массу до такой степени, что они опускаются на глубину и их действие прекращается. Точные приборы, помещаемые в воду на длительное время, также обрастают, что влияет на работу. Обрастание неводов и сетей, стоящих в воде недели или даже дни, утяжеляет их и может притопить.

Морское обрастание делится на прибрежное, глубоководное и океаническое. Прибрежное состоит из большого количества видов и имеет, как правило, большую биомассу, исчисляемую, в среднем, килограммами на 1 м^2 , а иногда десятками, до $100\text{—}150 \text{ кг/м}^2$. В нем преобладают двустворчатые моллюски (митилиды, устрицы и др.), усоногие раков, мшанки, полихеты, гидроиды и др.

Глубоководное обрастание отличается от первого небольшим числом видов и малой биомассой, порядка десятков и сотен г/м^2 . Однако это на порядок и более выше, чем встречается на мягких субстратах.

Океаническое обрастание встречается во всех океанах, кроме районов, покрытых льдом, и большинства внутренних морей. Состав обрастателей ограничен. Здесь преобладают усоногие раки, которые составляют более 90% всего океанического обрастания; несколько видов мшанок, водорослей, крабов и полихет. Биомасса невелика, около $100\text{—}200 \text{ г/м}^2$, но возникает это обрастание чрезвычайно быстро.

На границе соленой и пресной вод существует солоновато-водное обрастание. Оно имеет большое значение в обрастании судов. В солоноватых водах число видов - обрастателей невелико. Это представители двустворчатых моллюсков, гидроиды, усоногие раки, мшанки и др. Биомасса может быть очень велика, так как реки несут много пищи для этих фильтрато-ров. Эти обрастатели на судах переносятся в другие водоемы и являются в настоящее время самыми широко распространенными видами.

Пресноводное обрастание обычно меньше морского и по числу видов, и по биомассе, но в некоторых случаях, когда оно представлено, например, дрейссенами, может оказывать значительное воздействие. Кроме дрейссен в пресноводном обрастании встречаются мшанки, простейшие, губки, водоросли, грибы и подвижные формы — олигохеты, личинки хирономид и ручейников. Биомасса обрастания, состоящего из дрейссен, может достигать нескольких кг/м^2 , в остальных случаях порядка десятков — сотен г/м^2 .

Основные обрастатели — сидячие организмы, второстепенные — подвижные. В разных условиях преобладают различные виды и группы их. Обрастатели встречаются практически во всех типах животных и ряде типов водорослей. Число видов макроперифитона, обнаруженных на антропогенном субстрате, в настоящее время составляет более 3000, а на природном — более 20000, хотя, как уже говорилось выше, потенциально все вторые могут оказаться в числе первых. Особенно опасны обрастатели-эврибионты, которые распространены очень широко, дают большую биомассу и, как правило, стойки к защите от обрастания.

Основные обрастатели. Наиболее часто в обрастании встречаются следующие группы организмов.

Бактерии встречаются всюду в обрастании. Они первыми появляются на чистой поверхности, помещенной в воду. Особенно большую роль играет бактериальная пленка вместе с низшими водорослями в начале развития обрастания. Для оседания личинок некоторых макрообрастателей необходимо присутствие первичной пленки, для других это безразлично. Слизистая первичная пленка, состоящая из бактерий и водорослей, может накапливать яды, иногда она содержит яда в 103 больше, чем морская вода. Микроорганизмы могут использовать в пищу масляную основу лакокрасочных покрытий, разрушать покрытия своими метаболитами, способствовать выделению токсинов из основы благодаря изменению активности воды пристеночного слоя, экранировать токсины покрытий от макрообрастателей.

Грибы обитают не только в наземной, но и водной среде, как в пресных водах, так и в морях и океанах. Среди них имеются виды, участвующие в обрастании, а есть виды и группы видов, препятствующие развитию обрастания, комменсалы и паразиты таких обрастателей, как усоногие раки, устрицы, мидии, губки и другие организмы. Среди них встречаются паразиты водорослей и водных растений (зоостера). Некоторые виды грибов разрушают дерево сами, а кроме того, служат пищей некоторым древооточцам (лимнории).

Таким образом, хотя грибы никогда не являются руководящими формами в обрастании, они играют определенную, довольно многообразную роль в нем, как и в других пресноводных и морских биоценозах.

Водоросли всегда встречаются в обрастаниях как морских, так и пресноводных, если имеется достаточная степень освещенности. От количества света зависит присутствие и обилие разных групп водорослей. Обычно водоросли распределяются довольно четко очерченными поясами на любых твердых предметах. Обилие их негативно сказывается на обрастании животными, которые в тех же районах и на той же глубине преобладают в затененных местах.

Губки редко играют руководящую роль в обрастании антропогенных субстратов в морях и океанах, за исключением некоторых старых причалов и молвов. В пресных же водах они являются одними из основных обрастателей, часто встречающихся на сваях, буйках, в водоводах.

Кишечнополостные очень часто встречаются в обрастании, но биомасса их редко бывает велика и поэтому к руководящим эта группа относится редко, если исключить обрастание рифообразующими кораллами. Гидроиды растут быстро и могут появляться через несколько дней или недель после начала заселения субстрата. В это время биомасса гидроидов может превышать биомассу других организмов. Они преобладают в морском обрастании в холодных и умеренных водах, часто встречаются на днищах судов и в водоводах. В тропиках гидроиды реже участвуют в обрастании. Коралловые полипы очень чувствительны к загрязнению и в гаванях и на судах они практически не встречаются. Поэтому их нельзя отнести к обрастанию, приносящему вред человеку.

Полихеты играют значительную роль в морском обрастании, особенно сидячие. Известковые домики сидячих полихет плотно прирастают к субстрату,

иногда друг к другу и они могут удерживаться даже при быстром токе воды. Часто обитают они и в морских водоводах, на сваях, буях и других гидротехнических сооружениях. Однако полихеты редко являются руководящими формами.

Бродячие полихеты, так же, как и другие подвижные черви-олигохеты, турбеллярии, нематоды, встречаются среди прикрепленных обрастателей, но играют небольшую роль по сравнению с ними.

Мшанки часто встречаются в качестве обрастателей, как в пресных, так и в морских водах (рис. 12). В пресных водах это представители немногих родов,

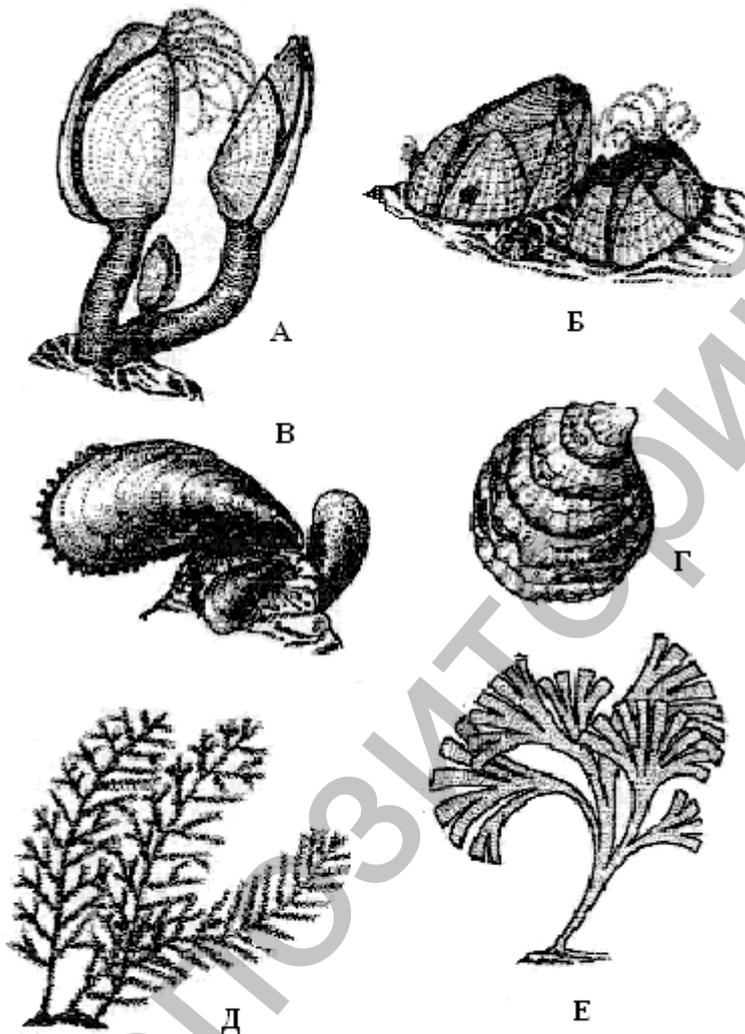


Рис. 12 Представители морского обрастания
А - усоногие раки рода *Lepas*, Б - усоногие раки рода *Balanus*,
В - устрица, Г - мидия, Д - гидроида, Е - мшанка

образующие мягкие подушечки или кустики. В морях это в основном известковые мшанки, инкрустирующие тонкой известковой коркой или веточками чистые поверхности и нарастая на других обрастателях. Мшанки редко дают большую биомассу, но среди морского обрастания это одни из наиболее часто встречающихся групп. Число видов, известных сейчас из антропогенного обрастания, более 300. Мшанки часто встречаются как на судах, так и внутри водоводов.

Моллюски почти всегда встречаются как в морском, так и в пресноводном обрастании, но это, прежде всего, двустворчатые моллюски. В этой группе обрастателями являются те виды, которые могут плотно прикрепляться к субстрату биссусом, такие, например, как мидии, или прирастать к нему, как устрицы.

Обрастание двустворчатыми моллюсками развивается позже развития быстрорастущих обрастателей (водорослей, гидроидов, мшанок, усоногих раков).

Обычно только в многолетнем обрастании преобладают эти организмы. Но тогда образуется мощное обрастание толщиной до 10 см и даже больше, которое может давать биомассу нередко до 100 кг/м².

Моллюски, прикрепляющиеся биссусом, не выдерживают очень сильного тока воды и обитают в основном в кормовой части судов. Прирастающие моллюски (некоторые устрицы) предпочитают места с быстрым током воды в природе и могут обитать и в носовой части корпуса. Но, как правило, устрицы сильнее, чем мидии, чувствительны к загрязнению и поэтому реже встречаются в обрастании судов.

Ракообразные почти всегда встречаются в морском обрастании. Одной из основных групп в обрастании являются усоногие раки (*Cirripedia*). Они появляются в обрастании через одну - две недели и уступают, но не всегда, первенствующее положение моллюскам обычно не раньше чем через 1-2 года. Особенно большое значение усоногие раки имеют в обрастании судов, так как не смываются током воды, и те виды, которые встречаются в обрастаниях, как правило, эврибионты. Они длительное время переносят загрязнение, опреснение и другие неблагоприятные факторы.

Насекомые встречаются в обрастании только в пресных водах и в очень ограниченном количестве в солоноватых. Это личинки хирономид, эфемерид, симилид и ручейников. Количество экземпляров этих насекомых может быть велико, но основу обрастания чаще всего составляют водоросли, хотя на затопленных деревьях с корой отношение биомассы хирономид к общей биомассе эпифуаны может достигать до 99%.

Иглокожие встречаются только в морях и океанах на стационарных установках в густом обрастании. В основном это морские звезды, редко представители других классов этого типа. Иглокожие регулируют численность основных обрастателей и в этом качестве даже могут быть полезны. Так, морские звезды выедают двустворчатых моллюсков, морские ежи - водоросли.

Оболочники часто встречаются в полносоленых водах в обрастании стационарных объектов, реже в обрастании судов в морях и океанах. Одиночные асцидии играют небольшую роль в обрастании, но колониальные нередко могут покрывать значительные площади на судах, буйях, сваях и различных подводных сооружениях.

Механизм обрастания. Несмотря на то, что состав обрастания варьирует в зависимости от условий среды, развитие его подчиняется определенным законам. Вначале всегда образуется первичная пленка, состоящая из бактерий и низших водорослей.

Развитие первичной пленки происходит в 2 этапа: сначала поселяются бактерии при малом количестве диатомовых водорослей, затем формируется пленка из диатомовых водорослей. Количество бактерий зависит от количества живых и мертвых диатомей планктона, продуктами разложения и метаболитами которых они питаются, а также от величины растворенного органического вещества (РОВ) окружающей воды.

Опыты показали, что большинство обрастателей (балаанусы, спирорбицы и др.) предпочитают оседать на поверхность, покрытую пленкой. Отношения организмов внутри сообществ обрастания чрезвычайно сложные. Даже в Азовском море в сообществе, состоящем из 6 видов обрастателей, было установлено около 40 топических и трофических связей. В Черном море для балаанусов

были выявлены прямые зависимости от мидий, мшанок, гетеротрофных бактерий перифитона, мертвых диатомовых и взвеси растворенного органического вещества, трансформированного перифитоном, живых диатомовых в планктоне, аллохтонных углеводов, HCO_3 и CO_2 и обратные зависимости от гетеротрофных бактерий и карбонатов взвеси. Для гидроидов - прямые зависимости от мертвых диатомовых планктона и рН воды, температуры воды и CO_2 и обратные зависимости от растворенного органического вещества и CO_2 воды. Неоднократно отмечалось как облегчение оседания последующих обрастателей первыми, так и подавление первых последними. Например, мидия подавляется другими обрастателями, гидроиды подавляют баянусов, губки - баянусов, асцидий,

мшанок. Было выявлено также, что на жестких грунтах колониальные виды побеждают одиночных в борьбе за место.

Кроме конкуренции между видами большое значение имеет хищничество. Многие подвижные организмы обрастания поедают сидячих и вызывают изменение развития сообщества.

Одними из наиболее опасных для обрастателей организмов являются голожаберные моллюски, которые встречаются во многих прибрежных океанических обрастаниях. Иглокожие - морские ежи и звезды, а также крабы нередко вызывают значительное опустошение среди прибрежного обрастания. При этом в защищенных от прибоя местах хищников и растительноядных организмов бывает значительно больше, и состав обрастания может существенно меняться. И в открытом океане, и в прибрежных районах всегда можно видеть стаи рыб и отдельных рыбешек, выедающих обрастание. Больше всего они используют подвижные виды, но некоторые питаются и сидячими формами, например мелкими мидиями. Они не только значительно уменьшают численность обрастаний, но нередко меняют и процесс сукцессии.

По мере старения сообщества количество видов уменьшается. Индексом стадии развития и зрелости сообщества может служить отношение К/В (дыхание/биомасса). Однако скорость изменения индекса снижается в ходе сукцессии и через 8 месяцев больше не отражает степени развития обрастания.

Первые фазы развития сообщества обрастания контролируются абиотическими факторами, а последние фазы - биотическими. И все же достижение климаксного состояния редко возможно. Чаще всего шторма, деятельность человека, хищники и другие факторы полностью или частично разрушают обрастание, и заселение начинается с начальной или промежуточной фазы.

Борьба за доминирование в обрастании может быть успешной только тогда, если вид обладает постоянным высоким темпом пополнения, способностью заселять ранее занятый субстрат и быть многолетним, а также обладать способностью предотвращать последующие вторжения и чрезмерный рост эпибионтов. Смена одних групп организмов другими в сообществах происходит, и в конце развития образуются характерные для климакса сообщества, не обязательно состоящие из определенных видов, но обязательно обладающие характерными свойствами - многолетним развитием, олигомиксностью и способностью отражать нашествия остальных обрастателей. Такими свойствами обладают мидии,

устрицы, некоторые асцидии и губки. По-видимому, к ним можно отнести также рифообразующие шестилучевые кораллы.

Для всех обрастателей, в том числе и усоногих раков, большое значение имеет эксплуатационный фактор. Судно, много ходящее, имеет другой состав и количество обрастания, чем судно, большую часть времени проводящее на стоянке.

Экология и распределение обрастателей. Преобладание разных видов обрастателей в биоценозе зависит от следующих основных причин: 1) экологических условий; 2) продолжительности нахождения субстрата в воде; 3) свойств субстрата; 4) эксплуатационного фактора.

Экологические условия для основных обрастателей не являются ключевыми факторами, так как большинство обрастателей — эврибионты. Они легко переносят значительные изменения температуры, солености, загрязнения и встречаются почти в любых условиях в морях и океанах. От продолжительности нахождения в воде субстрата зависит сукцессия обрастания. Грубая приближенная схема сукцессии выглядит следующим образом:

I фаза - первичная пленка (бактерии + диатомовые водоросли + простейшие), длительность от нескольких дней до 2-3 недель;

II фаза - быстро растущие, чаще колониальные обрастатели (усоногие, гидроида, мшанки, актинии, полихеты);

III фаза - медленно растущие беспозвоночные (мидии, устрицы, асцидии).

По распределению обрастателей в морской среде грубо можно выделить три области, отличающиеся не только по фауне и флоре, но и по биомассе и скорости развития обрастания.

1. Холодноводная область, куда входят районы Арктики и Антарктики, которые в отношении обрастания могут быть охарактеризованы как наиболее бедные, число видов сравнительно невелико. Практического значения обрастания этих районов почти не имеют.

2. Умеренная область с бореальным и нотальным районами значительно богаче по числу видов животных и растений, встречающихся в обрастаниях. Руководящие формы обрастания - мидии, гидроида, мшанки, асцидии. Сезон оседания и роста организмов длится 6—10 месяцев. Биомасса обрастания велика - в некоторых случаях она превышает 100 кг/м^2 за несколько лет развития. Суда, ходящие в эти районы, всегда нуждаются в защите. Морские водоводы необходимо защищать большую часть года.

3. Тепловодная область с тропическими и субтропическими районами характеризуется огромным числом видов обрастателей и высоким темпом их роста. Оседание личинок продолжается в течение всего года. Руководящие формы - устрицы, асцидии, трубчатые черви, мшанки. Наиболее характерны для этих вод кораллы, но они не встречаются в опресненных и загрязненных местах, т. е. там, где обрастание является наибольшей помехой для деятельности человека. Биомасса обрастания может быть исключительно большой, особенно там, где преобладают кораллы. Но довольно часто биомасса обрастания оказывается даже меньшей, чем в бореальных и нотальных районах. В целом же тропическая об-

ласть наиболее опасна в отношении обрастания, поэтому суда, заходящие сюда, нуждаются в усиленной защите.

Разумеется, в каждой из этих областей существует много более мелких подразделений, связанных как с условиями существования, так и с видовым составом обрастателей. Но последнее имеет все меньшее и меньшее значение, так как руководящие формы обрастания распространяются все шире в Мировом океане. Особенно своеобразны в настоящее время обрастания Индийского океана, а также западного побережья Южной Америки.

Океаническое обрастание распространено несколько иначе. Оно более равномерное, состоит из немногих видов, связано, прежде всего, с поверхностными течениями. Кроме того, значительное влияние на него оказывают температура и соленость воды. Оно полностью отсутствует там, где поверхность воды большую часть года покрыта льдом. Чем холоднее вода, тем реже встречается океаническое обрастание и особи, как правило, мельче. В опресненных водах оно обычно не встречается. Океаническое обрастание достигает своего расцвета в тропических и субтропических полносоленых водах.

В целом распространение океанического обрастания совпадает с грубой схемой распространения прибрежного обрастания. Отличие только в том, что одно встречается у берегов, другое - в открытых водах. Кроме того, вся Арктика и наиболее холодная часть Антарктики свободны от океанического обрастания.

Литература.

Основная

1. Актуальные вопросы биоповреждений. Под. ред. Бочарова Б.В. М., 1983.
2. Алексеев С.В., Беккер А.М. Изучаем экологию экспериментально. Практикум по экологической оценке состояния окружающей среды. Санкт-Петербург, 1993.
3. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. Под. ред. Р. Шуберта.-М.: «Мир», 1988.
4. Биологические методы оценки природной среды - М.: Наука, 1978.
5. Герасименко А.А. Защита материалов от биоповреждений. М., 1984.
6. Ильичев В.Д., Бочаров Б.В., Анисимов А.А. и др. Биоповреждения. М.: Высшая школа, 1987.
7. Конюшко В.С., Лешко А.А., Чубаро С.В. Биологические индикаторы как объект внеклассной работы в школе. Витебск, 1998.
8. Крапивный А.П., Радкевич В.А., Тихонова Н.И. Краткий зоологический словарь, 2-е издание, Минск: «Вышэйшая школа», 1990
9. Лысенко Н.Л. Биоиндикация и биотестирование водоемов // Биология в школе, 1996, №5.
10. Методика оценки экологического состояния водоемов по организмам зообентоса. Сост. Ганьшина Л.А., Горидченко Т.П. – М., 1994.
11. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Л.: Гидрометеиздат, 1983.
12. Тарарина Л.Ф. Экологический практикум для студентов и школьников (Биоиндикация загрязнений среды). – М.: «Аргус», 1997.
13. Школьный экологический мониторинг. Под. ред. Т.Я. Ашихминой. - М.: АГАР, 2000.

Дополнительная

1. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды: обзор существующих подходов// Успехи современной биологии, 2002, том 122, №2, с. 115-135.
2. Гусев В.И. Определитель повреждений плодовых деревьев и кустарников.-М.: Агропромиздат, 1990.
3. Мэннинг У.Дж., Федер У.А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений – Л.: Гидрометеиздат, 1985.
4. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). – Л.: Гидрометеиздат, 1977.
5. Сергейчик С.А, Сидорович Е.А., Сергейчик А.А. Методы фитоконтроля загрязнения природной среды. – Мн., 1991.
6. Хейсин Е.М. Краткий определитель пресноводной фауны.- М.: Учпедгиз, 1962.