

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Т.А. Евстифеева, Л.Г. Фабарисова

БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Рекомендовано Ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлениям подготовки 280700.62 Техносферная безопасность и 022000.62 Экология и природопользование

Оренбург
2012

УДК 574 (076.8)
ББК 20.1 (я 73)

Е 26

Рецензент - кандидат биологических наук, доцент кафедры химии и методологии преподавания химии ФГБОУ ВПО И. В. Карнаухова

Евстифеева, Т. А.

Е 26 Биологический мониторинг: учебное пособие / Т. А. Евстифеева, Л.Г. Фабарисова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 119 с.
ISBN

В учебном пособии рассмотрены основные понятия биологического мониторинга, методы биоиндикационных исследований, особенности поведения загрязняющих веществ в окружающей среде их поступления в живые организмы и накопления в них.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 280700 «Техносферная безопасность» и 022000 «Экология и природопользование» при изучении дисциплины «Биологический мониторинг»

УДК 574 (076.5)
ББК 20.1 (я 73)

ISBN

© Евстифеева Т.А.,
Фабарисова Л.Г., 2012
© ОГУ, 2012

Содержание

1 Понятие биологического мониторинга. История развития науки.....	5
2 Понятие биоиндикатора. Виды индикаторов.....	8
3 Индикаторные и аккумулирующие растения. Понятие антропоотолерантности.....	12
4 Диагностика стрессовых состояний живых организмов. Эффекты острого и хронического воздействия.....	14
5 Стандартизация индикаторных и аккумулирующих растений. Контроль в биоиндикации.....	17
6 Типы анализа растительного и животного материала. Общие основы методов.....	20
7 Антропогенные стрессоры, их воздействие на организм и другие биосистемы.....	23
7.1 Понятие «стресс» и «стрессоры».....	23
7.2 Стрессоры окружающей среды.....	24
8 Особенности поведения загрязняющих веществ в окружающей среде.....	27
8.1 Выведение загрязняющих веществ из атмосферы.....	27
8.2 Накопление загрязняющих веществ в пищевых цепях.....	31
9 Изменение состава и свойств почвы в результате антропогенного влияния.....	33
10 Отношение растений к реакции почвенной среды. Биоиндикация реакции почвенного раствора.....	36
11 Биоиндикация засоления почв.....	40
12 Биоиндикация на различных уровнях организации живого.....	45
12.1 Субклеточный и клеточный уровни организации.....	45
12.2 Организменный уровень биоиндикации.....	46
12.3 Популяционно видовой уровень.....	51
13 Биоиндикация антропогенных механических влияний.....	52
13.1 Биоиндикация рекреационной нагрузки.....	52
13.2 Биоиндикация пастбищной дигрессии растительного покрова.....	53
14 Реакция экосистем на промышленные загрязнения.....	56
15 Особенности хода техногенной сукцессии экосистем.....	58
16 Оценка экологической обстановки территории.....	60
17 Примеры антропогенного землепользования и его воздействие на распределение растений.....	70
18 Биоиндикация загрязнения окружающей среды сельскохозяйственным производством.....	74
18.1 Проблема применений удобрений.....	74
18.2 Средства химической защиты растений. Биоиндикация пестицидного загрязнения.....	75
19 Биоиндикация загрязнения окружающей среды отдельными загрязняющими веществами.....	83

19.1 Состав кислотного дождя и воздействие его компонентов на биоту.....	83
19.2 Соединения серы.....	87
19.3 Окислы азота.....	91
19.4 Озон.....	92
19.5 Фтор и его соединения.....	94
19.6 Тяжелые металлы.....	98
20 Биоиндикация загрязнения окружающей среды нефтью, нефтепродуктами и продуктами газа.....	107
21 Действие смеси загрязняющих веществ.....	111
22 Биоиндикация радиоактивного загрязнения.....	113
Список использованных источников.....	117

1 Понятие биологического мониторинга. История развития науки

Под экологическим мониторингом следует понимать регулярно выполняемые по заданной программе наблюдения за состоянием природных сред, природных ресурсов, здоровья населения, позволяющие выявить происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности.

Наблюдение и исследование состояния природных сред можно производить различными способами, в том числе с помощью живых организмов, по реакции которых можно, в большинстве случаев, определить характер и степень загрязнения той или иной среды. Исследование состояния воздушной, почвенной и водной сред с помощью живых организмов называется **биологическим мониторингом** или **биотестированием (биоиндикацией)**.

Учение о растительных индикаторах находится в тесной взаимосвязи с развитием ряда смежных наук, особенно с экологией почв и географией растений. Впервые экологическую характеристику условий произрастания растений дали античные авторы. Подобные сведения можно встретить в сочинениях Феофраста (327-287 гг. до н. э.), Катона (234-149 гг. до н. э.), Плиния Старшего (79-23 гг. до н. э.). Значение растительных указателей почв подчеркивал Колумелла (I век н. э.). Он писал, что «рачительному хозяину подобает по листве деревьев, по травам или по уже поспевшим плодам иметь возможность здраво судить о свойствах почвы и знать, что может хорошо на ней расти». Уяснение взаимосвязей «почва – растение», наверное, самое первое утилитарное понятие сути индикации, усвоенное первыми земледельцами. По мере развития наук, расширения кругозора, разработки методов исследований характер взаимосвязей принял облик научно обоснованных закономерностей, законов. С ростом цивилизации и, особенно, интенсификацией сельскохозяйственного производства роль биоиндикативирования резко возросла.

Изучение экологии и географии растений в XVII — XVIII вв. приносит новые научные сведения об экологической приуроченности растительности

(Трагус, Кордус в Германии, Ломоносов в России, европейские путешественники в разных странах).

Основоположником учения о растительных индикаторах почв можно считать Ф.И. Рупрехта (1866), который в своем геоботаническом исследовании писал, что «свойство растительного слоя зависит от рода его покрова».

Дальнейшее развитие учения о растительных индикаторах было подготовлено крупными географическими исследованиями конца XIX века. Разработанные В.В. Докучаевым принципы «естественно-исторической эволюции почв» (1898) явились теоретической и практической основой широкого развития учения об индикаторных свойствах растительности.

Наиболее фундаментальным и выдающимся трудом явилась работа Ф. Клементса (Clements, 1920), положенная в основу учения о растительных индикаторах как одного из направлений ботанической географии. Более современные сводки по растительным индикаторам почв дают труды Л.Г. Раменского (1938, 1956), Г. Элленберга (Ellenberg, 1950, 1952), А.А Крюденера (Kruedener, 1951), И.В. Ларина (1953). Вопросы общей систематизации в теории растительных индикаторов рассматриваются в работах Ткалича С.М. (1952), Викторова С.В. (1953), Виноградова Б.В. (1957), Петрова В.С.(1960).

В начале нового тысячелетия, когда естественная природная обстановка трансформируется в новом витке эволюции - антропогенезе, что сопровождается изменением эколого-геохимического состояния почв и биохимического - растений, проблема индикации, оценки сопряженного изменения этих объектов природной среды особенно актуальна.

Метод фитоиндикации может быть применим на всех стадиях мониторинга окружающей среды (таблица 1).

Таблица 1 - Система наземного мониторинга окружающей среды (И.П. Герасимов, с изменениями)

Ступени мониторинга	Объекты мониторинга	Характеризуемые показатели
1	2	3

1	2	3
Локальный	Приземный слой воздуха	ПДК токсических веществ
	Поверхностные и грунтовые воды, промышленные и бытовые стоки и различные выбросы	Физические и биологические раздражители (шумы, аллергены)
	Почвы	ПДК токсических веществ
	Радиоактивное излучение	Предельная степень радиоизлучения
Региональный	Исчезающие виды растений и животных	Популяционное состояние видов
	Природные экосистемы	Их структура и нарушения
	Агроэкосистемы	Устойчивость сельскохозяйственных культур
	Лесные экосистемы	Продуктивность насаждений
Глобальный	Атмосфера	Радиационный баланс, тепловой перегрев, состав и запыление
	Гидросфера	Загрязнение рек и водоёмов, водные бассейны, круговорот воды на континентах
	Растительные и почвенные покровы	Глобальные характеристики состояния почв, растительного покрова и животных. Глобальные круговороты, баланс CO ₂ , O ₂ и др. веществ.

2 Понятие биоиндикатора. Виды индикаторов

Индикатор (лат. Indico — указываю, определяю) — указатель. По Н.Ф. Реймерсу, биоиндикатор - это:

1) группа особей одного вида организмов или сообщество, по наличию или состоянию которых, а также поведению судят о биоэкологических изменениях в среде, в том числе о присутствии и концентрации загрязнителей;

2) вид или сообщество, присутствие которых указывает на геохимические особенности среды, обусловленные наличием полезных ископаемых.

Таким образом, индикатор условий внешней среды - термин, относящийся, главным образом, к живым организмам-биоиндикаторам или индикаторным сообществам как показателям общего состояния окружающей среды, включающим физические, химические, биологические и иные факторы, их интенсивность, соотношение между собой, скорость и степень изменения.

Прямыми индикаторами называются такие, присутствие которых непосредственно определяется наличием данного объекта индикации и зависит от него.

Косвенные индикаторы не имеют прямой связи с объектом индикации, но приурочены к какому-либо промежуточному условию, которое сопряжено с объектом индикации.

К индикаторным признакам относятся: флористические (различия в видовом составе); физиолого - биохимические (характеристики химического состава, обмена веществ, их аномалии, особенности состава пигментов, определяющих цвет растений); эколого - физиологические, в частности, отношение к воде, засолению почв, характеру субстрата и т.д. (выявление ксерофитов, мезофитов, галофитов, петрофитов и др.); морфологические (размеры, особенности внешнего и внутреннего строения растений, в частности, ветвления, искривлений и других отклонений, ширина годичных колец и др.); эколого-морфологические

(особенности жизненных форм); онтогенетические признаки (особенности фенологии, длительность развития); ассоциированность видов; структура сообществ (особенности сложения ярусов, микрогруппировок, микро-фитоценозов); взаимоотношения и динамика сообществ в пространстве и во времени (эколого-динамические, эколого-генетические ряды, сукцессии) и др.

По сравнению с физико-химическими, биоиндикационные методы имеют некоторые преимущества, а именно: они не требуют дорогостоящих и капризных аппаратов, результаты могут быть получены без вмешательства в жизненные процессы организмов, выявляются интегральные оценки, мало зависящие от мгновенных значений, можно одновременно охарактеризовать большие территории, составляя, например, биоиндикационные карты степени загрязненности среды. Биоиндикационные методы изучения антропогенного влияния на окружающую среду являются вспомогательными (но достаточно точными и дешевыми), они не заменяют точные физико-геохимические исследования среды. Лишь дружный и целенаправленный «союз» и комплексность определений вещественно-элементарного характера сред и биоиндикационных методов мониторинга может дать результаты, всесторонне характеризующие состояние и динамику изменений экосреды.

Наиболее изучены в настоящее время реакции на загрязнение перечисленных сред различными веществами и их смесями со стороны растений. Фитоиндикационные наблюдения тесно связаны с определенными экологическими условиями, с их помощью возможно качественно и даже количественно оценивать характер изменений во внешней среде (по присутствию и состоянию этих растений).

Использование популяций, отдельных видов, групп видов и растительных сообществ в целях индикации экологических условий – предмет изучения индикационной геоботаники, одного из первых направлений, получивших широкое развитие в биоиндикации.

Для обнаружения специфических загрязнений воздушного бассейна и для слежения за динамикой этого загрязнения возможно применение чувствительных видов растений и других организмов. К их числу относятся низшие растения, лишайники, грибы, многие высшие растения. Толерантные или индикаторные виды, а также их сообщества используются для характеристики почвенных условий, определения концентрации тяжелых металлов.

В качестве биотесторов, кроме растений, достаточно часто используются бактерии (особенно кишечная палочка), водоросли (в частности, хлорелла), низшие грибы, инфузории, низшие ракообразные, беззубки, личинки хирономид, рыб, земноводных и т. д.

Микробиология. Микроорганизмы быстро обнаруживают загрязнения как воды, так и почвы. Существуют микроорганизмы, особо чувствительные к некоторым веществам, другие принимают участие в распаде загрязнителей.

Зоология. Изучение отдельных видов, а также целых сообществ животных может стать источником сведений, касающихся накопления химических веществ в их теле. Индикаторные виды могут быть использованы для определения уровня токсичности в продуктах питания людей.

Клеточная биология и генетика. Превосходными биоиндикаторами являются клеточные и субклеточные (включая хромосомы) компоненты организма, адаптированные к определенным условиям. Уже имеются и еще будут выявлены многочисленные тест-системы *in vivo* и *in vitro* для кратковременного и долгосрочного слежения за изменениями природной среды.

Сравнительная физиология. Функциональные приспособления животных к изменениям в окружающей среде могут быть исследованы на экологическом, биохимическом, физиологическом и морфологическом уровнях и могут указывать на присутствие в ней загрязняющих веществ.

Гидробиология. Фауна и особенности распределения видов, чувствительных к качеству воды, могут указывать на состояние водного бассейна.

Круг объектов индикации в последние годы все больше расширяется. К ним относятся: индикация климата; геологического строения горных пород; тектони-

ческих движений; геоморфологических процессов; полезных ископаемых; грунтовых вод; типа, богатства, кислотности, засоления, увлажнения, механического состава и динамики почв; состояния и динамики растительности; пастбищной дигрессии; местообитаний животных; загрязнения воды, воздуха, почвы газообразными неорганическими соединениями, тяжелыми металлами, радионуклидами, пестицидами, нефтепродуктами; мутагенных факторов; эрозионных процессов; состояния экосистем; ландшафтов; сельскохозяйственных земель; появления вредителей и болезней и др.

При активном мониторинге пытаются обнаружить прежде всего антропогенные стрессовые воздействия на тест – организмах, находящихся в стандартизированных условиях. При этом рекомендуется подвергать действию изучаемых факторов одновременно несколько видов растений или других организмов, различающихся по устойчивости к стрессорам, устанавливать особенности воздействия стрессоров в зависимости от их дозы.

Наибольшую ценность представляют биоиндикаторы, присутствующие на объекте индикации в большом количестве с высокой достоверностью, отличающиеся однородными свойствами, не требующие больших затрат для их выявления и получения достаточно точных и воспроизводимых результатов, имеющие диапазоны погрешностей по сравнению с другими методами не более 20 %. Преимущества живых индикаторов состоят в том, что они суммируют все биологически важные данные об окружающей среде, отражают ее состояние в целом, устраняют трудную задачу применения дорогостоящих и трудоемких физических и химических методов для измерения биологических параметров, вскрывают скорость происходящих в природной среде изменений; указывают пути и места скопления в экологических системах различного рода загрязнений, позволяют судить о степени вредности тех или иных веществ для живой природы и человека, дают возможность контролировать действие многих синтезируемых человеком соединений; помогают нормировать допустимую нагрузку на экосистемы.

3 Индикаторные и аккумулирующие растения. Понятие антропопотолерантности

Индикаторные растения - растения, дающие визуально определяемые признаки поражения теми или иными загрязняющими веществами и их смесями. Определенные виды и расы высших сосудистых растений реагируют на газообразные и твердые вещества, причем на такие концентрации этих веществ в атмосфере, которые не вызывают реакции человека и животных, и эти реакции можно прогнозировать. Многие растения могут служить индикаторами присутствия тех или иных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, реакции же других могут быть связаны с влиянием определенных концентраций специфических загрязняющих атмосферу веществ (таблица 2).

Таблица 2 - Загрязняющие вещества и чувствительные к ним растения-индикаторы (по Н. А. Воронкову, 1999)

Загрязняющие вещества	Индикаторные растения
Общие загрязнения	Лишайники, мхи
Тяжелые металлы	Слива, фасоль обыкновенная
Диоксид серы	Ель, люцерна
Фтористый водород	Береза бородавчатая, земляника
Аммиак	Подсолнечник, конский каштан
Сероводород	Шпинат, горох
Фотохимический смог	Крапива, табак
Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)	Соя, недотрога обыкновенная

Аккумулирующие растения – растения, способные накапливать загрязняющие вещества в своих тканях в количествах, достаточных для физико - химического определения уровня загрязнения сопредельных сред.

Проявляется экологический принцип химического соответствия и средообразующей роли живого. Избирательная средообразующая способность по-

глощения элементов растениями определила аккумуляцию в почвах биофильных элементов (азот, фосфор, калий) из рассеянного состояния и отторжение элементов, не свойственных их биолого-физиологическим процессам. Биофильность элементов ранжируется их способностью к биологическому поглощению или отторжению растением. При избытке элементов, не свойственных физиологическим отправлениям живого, создаются стрессовые ситуации, контролируемые мониторингом и регистрируемые индикационно по изменениям морфологии живых организмов или изменениям видового состава биоценоза.

Антропотолерантность отдельных видов растений и растительных сообществ – это устойчивость их к воздействию антропогенных факторов.

Экспериментально установлено, например, что растения ряда видов усваивают через листья SO_2 и, включая его в свой обмен, способствуют очистке воздуха без заметного ущерба для себя. Другие растения слабо загрязняются ввиду особенностей своего строения и также обладают толерантностью.

Выявлена достоверная устойчивость лип и конского каштана к воздействию автомобильных газов, к SO_2 устойчивы клен красный, береза бородавчатая, сосна черная, акация белая, сирень обыкновенная, свекла, огурцы.

Однолетние растения поражаются в меньшей степени, чем многолетние; широколиственные растения больше, чем хвойные.

Хлорелла обыкновенная выдерживает влияние фосфатов, нитратов и мочевины в очень высоких концентрациях.

4 Диагностика стрессовых состояний живых организмов.

Эффекты острого и хронического воздействия

Диагностика – процесс определения природы и особенностей проявления болезненного состояния.

Правильная диагностика включает много связанных элементов, самый главный из которых- симптомы.

Симптом – заметное изменение в ожидаемом внешнем виде, структуре или функции организма, предполагающее, что с ним что-либо не в порядке.

Причина болезни может быть связана с действием какого-либо организма и в таком случае называется биотической, если она связана с физическим стрессом, то является абиотической.

Реакция большинства растений на различные стрессы в основном одинакова. Первым показателем нарушения нормальной жизнедеятельности растений является потеря зеленого пигмента листа - хлорофилла. Зеленый лист постепенно выцветает, лист желтеет. В связи с ослаблением функций тканей, начинается отмирание, выражающееся в появлении фрагментов коричневого цвета. Появление коричневых или желтых пятен или точек на листе - также достоверная первоначальная реакция на стресс.

Эффекты воздействия загрязнения различных сред на растения, условно можно разделить на:

- эффекты острого воздействия высоких уровней загрязняющих веществ за короткий промежуток времени;
- эффекты хронического воздействия низких уровней этих веществ за продолжительный период.

Примером эффектов острого воздействия являются отчётливо наблюдаемый хлороз или некроз тканей листьев, опадение листьев, плодов, лепестков цветков, свёртывание листьев, искривление стеблей.

К эффектам хронического воздействия относятся замедление или прекращение нормального роста, хлороз и некроз верхушек листьев, медленное увядание растений или отдельных его органов.

Иногда проявление хронического или острого воздействия может быть специфическими для отдельных загрязняющих веществ или их смесей.

Довольно много видов растений можно использовать в качестве индикаторов или накопителей загрязнения воздуха из-за их способности давать визуально заметные реакции (таблица 3).

Поскольку растения в целом обладают высокой чувствительностью к воздействию некоторых загрязняющих веществ, их можно использовать в качестве индикаторов для выявления загрязнений и определения его уровня.

Если растения способны накапливать загрязняющие вещества без изменения их химического состава за счёт метаболических процессов и если эти аккумулярованные вещества могут быть легко идентифицированы в образцах растений, такие виды растений можно использовать как накопители загрязнения.

Если аккумулярование веществ растениями рассматривается как проявление воздействия загрязнения, то использование растений чрезвычайно удобно для определения уровня и состава загрязнения а также мониторинга эффекта воздействия загрязняющих веществ.

Таблица 3 - Реакция отдельных растений на воздействие загрязняющих веществ

Растение	Загрязняющее вещество	Проявляющиеся симптомы
Гладиолус	Фтористый водород	Некроз верхушки и краев листьев
Табак, шпинат	Озон	Некротические пятна на верхней части листа
Крапива жгучая	Пероксиацетилнитрат	Пятна некроза круглой формы в нижней части листа.

Для такого мониторинга чрезвычайно важно соблюдение следующих условий:

1. Воздействия должны приводить к заметной реакции растения на загрязнение среды.

2. Эффекты воздействия должны хорошо восприниматься при использовании растений генетически подобных популяций, что гарантирует представительность результатов.

3. Эффекты воздействия должны характеризоваться специфическими симптомами, свойственными воздействию определённых загрязняющих веществ.

4. Растения должны быть чувствительны даже к чрезвычайно низким уровням загрязняющих веществ.

5. Растения должны хорошо расти, быть устойчивыми к заболеваниям и воздействию насекомых.

При выборе растений полезно, чтобы эффект воздействия на индикаторные или аккумулирующие растения являлся представительным для других видов растений, имеющих схожее значение

5 Стандартизация индикаторных и аккумулирующих растений. Контроль в биоиндикации

Стандартизация аккумулирующих и индикаторных видов растений является чрезвычайно важным этапом, позволяющим уменьшить влияние побочных эффектов на результаты исследования воздействия загрязнений на растения. Так как эффекты зависят не только от уровня загрязняющих веществ и продолжительности воздействия, но и от вида растения, стадии его развития и физиологического состояния, от условий окружающей среды, основное значение имеет соблюдение правил выбора растений. В идеальном варианте растительный материал должен быть генетически однородным (клоны). На практике выбирают растения с оптимальными условиями роста, близкими во всех исследуемых районах.

Если при мониторинге испытываются растения, произрастающие в разных районах с различным состоянием почвы, результаты исследований можно признать только с большими поправками.

При сравнении уровня загрязнения сред в различных районах не следует исключать из расследования различия климатических условий, уровень которых измеряется на местах и учитывается при сравнении результатов наблюдений. Влияние патогенных микроорганизмов, паразитов на растения должно быть минимизировано или исключено за счет специальной обработки, если это невозможно, влияние этих факторов должно быть точно оценено. В случае выбора определенного вида растений условия, при которых проводятся наблюдения, должны соответствовать цели исследования. Если известен тип вещества, первым этапом получения адекватных результатов должен быть выбор растения, обладающего особой чувствительностью к этому веществу. Если состав загрязнения не известен, последовательно используют различные виды расте-

ний, обладающих специфической чувствительностью к одному из предполагаемых загрязнителей.

Для оценки возможного влияния биотических или абиотических факторов, таких, как вирусы, бактерии, грибы, насекомые, морозы на состояние растений следует проводить параллельные опыты на одном из подвидов индикаторного вида растений, который обладает высокой толерантностью к воздействию загрязняющих веществ.

Контроль – определенный вид функциональной зависимости, отклонение от которой рассматривается как нарушение, например, появление на листьях растений некротических пятен, большой интервал формы и размера – всегда показатель изменения среды, поскольку в норме их быть не должно.

Отклонения характеристик биоиндикатора в нарушенной среде необходимо сравнить с нормой или контролем. В зависимости от ситуации используют разные подходы:

1. Сравнение с характеристиками объекта, находящегося вне зоны воздействия (например, чтобы выявить изменения растительности сообществ при промышленном загрязнении, их сравнивают с сообществами, расположенными вне зоны воздействия этих промышленных предприятий).

2. Сравнение с результатами эксперимента. В лабораторных опытах часть тест - организмов контактирует с загрязненной почвой, водой или воздухом, другая же часть (контроль) контактирует с чистыми субстратами.

Для тестирования воздуха, например, применяют специальные камеры с тест - растениями: через опытные камеры пропускают загрязненный воздух, а через контрольные – отфильтрованный с помощью активированного угля.

3. Сравнение с характеристиками объектов в прошлом, до воздействия человека (так называемые исторические стандарты). Некоторые типы экосистем, например, европейские степи, утратили свой первоначальный облик. В таких случаях о степени их разрушения можно судить по подробным научным описаниям, прошлых лет.

4. Выявление функциональных зависимостей от фактора, отклонение которого рассматривается как нарушение.

В исходных сообществах наблюдается множество видов с невысокой численностью и незначительное количество массовых видов, в нарушенных сообществах видов мало, но все они отличаются высокой численностью.

Ситуация усложняется, когда нормой является не одно конкретное состояние биоиндикатора, а целый набор. К таким показателям относятся:

- численность популяций;
- разнообразие сообществ;
- видовой состав сообществ.

Эти характеристики меняются по сезонам и годам, могут различаться в разных местообитаниях, из чего следует, что, чтобы установить норму для таких показателей, нужно располагать данными об их сезонной и многолетней динамике, их изменении по местообразованиям. Так, численность мелких почвенных членистоногих на одном и том же участке ненарушенного леса может меняться в течение года в 10 – 20 раз, а разнообразие сообществ – в 2 - 3 раза.

6 Типы анализа растительного и животного материала.

Общие основы методов

К основным типам анализа растительного и животного материала:

- 1) визуальный (морфологический);
- 2) гистологический;
- 3) химический .

Морфологический анализ. Морфология растений как фундаментальная ботаническая дисциплина абсолютно необходима для решения разнообразных практических задач: медицинских, лесохозяйственных, природоохранных и многих других. Морфологические признаки составляют основу классификации растений, так как без знания структуры невозможно изучать жизненные процессы, происходящие в растениях. Изучение структурных особенностей растений необходимо для развития других ботанических дисциплин. Решение как частных ботанических, так и общебиологических проблем, в том числе экологических, возможно благодаря специфическим методам, используемым в морфологии растений:

1. Сравнительно-морфологический (описательный) - изучение топографических закономерностей в строении растений.

2. Онтогенетический - изучение закономерностей морфогенеза в процессе индивидуального развития растения (онтогенеза) от зиготы до смерти. При этом важное значение имеет анализ всех проявлений морфогенеза: особенностей роста, морфологической и анатомической дифференциации тела растения, возникающих в процессе его развития, полярности, симметрии, корреляции.

3. Эволюционная морфология (изучение морфогенетических изменений в процессе эволюции) основана на синтезе данных онтогенетической морфологии и сравнительной морфологии ныне живущих и вымерших растений. Задача эволюционной морфологии — изучение общих закономерностей преобразования структуры растений в процессе эволюции, без знания которых невозможно решение вопросов, связанных с филогенией растений, отражающей не только родственные отношения между разными таксонами, но и основные направления их эволюции. Сходство морфологических признаков может быть следствием родства, либо параллельного развития нескольких групп растений от каких-то общих предков, либо следствием конвергенции — появлением сходных особенностей строения под влиянием одинаковых условий существования.

4. Функциональная морфология (изучение взаимодействия структуры и функции). Соединение морфологического и физиологического методов исследования дает представление о растении как целостной структурно-функциональной и динамичной системе, которая приспособлена к жизни в определенной экологической обстановке и реагирует на любые изменения внешних условий.

Гистологический анализ. Гистопатология – микроскопическое исследование и изучение больных тканей.

Загрязняющие вещества поражают определенные ткани, клетки и органы. Иногда специфические микроскопические повреждения достаточно четко варьируют в зависимости от вещества. В таком случае гистопатология может помочь поставить диагноз. Так как эта процедура трудоемкая, она применяется только тогда, когда другие методы не дают результата. Гистологический анализ используется для диагностики чаще у хвойных, чем у широколиственных деревьев.

Химический анализ. Когда изучены все предпосылки диагностики и их взаимосвязи, а причина возникшего состояния не установлена, хотя прогнозируется действие загрязняющих веществ – проводится химический анализ.

Обычно берут листья растений, так как они поглощают наибольшее количество загрязняющих веществ. Можно использовать для анализа стебли, корни, семена растений.

Анализ проводится в химической лаборатории, отбор образцов требует особой тщательности. В зависимости от серьезности проблемы образцы отбираются через интервал 0,5 – 1 километр, начиная от источника и отходя на несколько километров, чтобы выйти из пораженной местности.

В точке отбора следует брать полную пробу листьев одного возраста, одного или двух наиболее представительных видов со следами повреждений. Условия роста образцов должны быть как можно более однородными.

Не все вещества аккумулируются растениями и не всегда накапливаются в концентрациях, в достаточной степени превышающих фоновый уровень, т.е. уровень, достаточный для анализа.

Использование дистанционных методов. В качестве дистанционных методов можно использовать аэрофотосъемку с инфракрасной и другой специальной техникой для выявления областей, растительность которых находится в стрессовом состоянии. В случае заболевания растения дышат более интенсивно, у них повышается температура, это обнаруживается на теплочувствительной инфракрасной пленке.

Когда часть растения гибнет, дыхание снижается, что тоже фиксируется инфракрасной пленкой. Сказанное выше относится и к изображениям, полученным с помощью спутников.

Крупномасштабные съемки оказывают помощь в обнаружении районов стресса, но поставить диагноз с их помощью нельзя, для этого требуются наземные исследования.

7 Антропогенные стрессоры, их воздействие на организм и другие биосистемы

7.1 Понятия «стресс» и «стрессоры»

Понятие «стресс» используется во многих областях науки, причем трактуется по-разному. В качестве научного термина это понятие было введено в медицину в 1936 г. биологом и врачом Гансом Селье. Он определял стресс как состояние критической нагрузки, которая проявляется в виде комплекса реакций, слагающегося из самых разнообразных изменений внутри биологических систем. Вскоре этот термин стал использоваться и в других областях науки и в обиходе, где им стали обозначать состояние неспецифического психического напряжения.

Со времени появления этого термина прошло около 80 лет, однако до настоящего времени нет общепринятого определения понятия и классификации его видов. Чаще всего стресс понимают как «состояние напряжения организма, которое проявляется в совокупности физиологических реакций организма в ответ на воздействие различных неблагоприятных или исключительно благоприятных факторов». При таком подходе выделяют:

а) эустресс – характеризуется физиологически адаптивными реакциями, когда в критической ситуации живому существу необходимо приспособиться к изменившимся условиям среды;

б) дистресс – патогенные процессы, возникающие при постоянных высоких нагрузках или усилиях, которые организм не в состоянии регулировать. У животных, например, он может возникать при постоянном беспокойстве человеком, в результате скопления большого числа особей. В какой мере тот или иной фактор определяет развитие эустресса или дистресса, зависит от многих причин, как экзогенных так и эндогенных. В конечном итоге норма реакции каждого организма определяется его генофондом. При возникновении стресса

у организмов большую роль играет и фактор времени, связанный как с развитием в онтогенезе чувствительности к стрессу, так и с продолжительностью воздействия фактора на протяжении различных периодов жизни. При другом подходе стресс понимают как напряженное состояние экосистемы, испытывающей повреждающее воздействие необычных природных и антропогенных факторов, которое проявляется в изменении энергетических процессов, круговорота биогенных веществ, структуре сообщества.

В биологии принимают оба этих подхода и под стрессом понимают также реакцию различных биологических систем на воздействие экстремальных факторов среды (или стрессоров), которые в зависимости от силы, интенсивности, продолжительности воздействия могут оказывать довольно значительное влияние на состояние экосистем.

7.2 Стрессоры окружающей среды

В естественных условиях организмы часто подвергаются воздействию различных стрессоров. Обычно стрессоры делят на следующие группы:

1. Химические – включают различные химические соединения, которые действуют как в избытке, так и при недостатке.
2. Физические – температура, влага, излучение.
3. Энергетические – ветер, давление, шум.
4. Механические – скашивание, перевыпас.

К ритмически повторяющемуся воздействию экстремального количества этих факторов (холода, жары и т. д.) организмы приспособляются различно:

- а) путем периодического изменения активности, что делает их более устойчивыми к влиянию стрессоров;

б) уклонением от воздействия экстремальных факторов среды с помощью специфических приспособлений. Например, глубоко укореняющиеся растения оказываются нечувствительными к поверхностному пересыханию почвы;

в) некоторые растения ставят на пути стрессоров физические или химические барьеры.

Среди вызываемых стрессорами нагрузок на биологические системы различают обратимые (упругие) и необратимые (пластические) нагрузки. Так, низкая температура может вызвать такие обратимые нагрузки, как затверждение жиров, денатурацию белков, замедление метаболических процессов. В то же время низкая температура может привести к таким необратимым изменениям, как непроницаемость клеточных мембран.

При длительном действии экстремальных условий среды ряд биологических систем может адаптироваться к ним. При этом наблюдается следующая закономерность – за исходным устойчивым состоянием в ответ на воздействие стрессора обычно следует избыточная реакция, которая затем сменяется некоторым стабилизирующим состоянием, на смену которому наступает новое устойчивое адаптированное состояние (рисунок 1).

Опасность антропогенных стрессоров состоит в том, что биологические системы недостаточно адаптированы к ним, что обусловлено, прежде всего, тем, что антропогенные стрессоры создаются с такой скоростью, что биосистемы не успевают активизировать свои адаптивные процессы. Многие антропогенные факторы потому и становятся опасными для живого, что они существенно отличаются по интенсивности и продолжительности воздействия от той, обычно существующей в природе нормы, к которой биосистемы адаптированы. В итоге антропогенные стрессоры оказывают заметное влияние на диапазон толерантности экосистем, что приводит к их деградации. Так, промышленные и технические сооружения вызывают подогрев воздуха и воды, их загрязнение вредными веществами, уплотнение

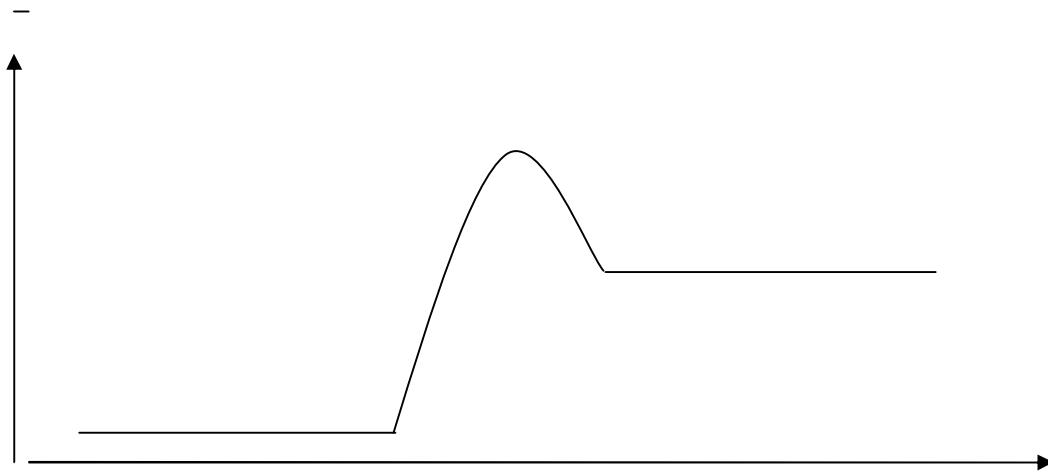


Рисунок 1 - Адаптация биологических систем к воздействию стрессоров

почвы и т.д., что приводит к сокращению ареалов типичных видов, уничтожению целых комплексов естественной растительности и распространению рудеральных растений.

8 Особенности поведения загрязняющих веществ в окружающей среде

8.1 Выведение загрязняющих веществ из атмосферы и проникновение в растения

Большая часть загрязняющих веществ от источников загрязнения попадает сначала в атмосферу и уже из нее в почвенную и водную среду.

Различают три способа выведения загрязняющих веществ из атмосферы:

1. Облачное вымывание.
2. Подоблачное вымывание.
3. Сухое выпадение на подстилающую поверхность.

Поскольку многие загрязняющие вещества либо сорбированы на твердых частицах, либо растворены в каплях влаги, процесс выпадения осадков – важная стадия выведения загрязняющих веществ из атмосферы.

Загрязняющие вещества могут растворяться в облачных каплях в процессе образования облаков. Эта стадия выведения загрязнения из воздуха называется облачным вымыванием.

При этом количество загрязняющих веществ, попадающих в жидкую фазу за счет диффузии пропорционально их уровню внутри облака.

Так как облака находятся на относительно большом расстоянии от поверхности земли, облачное вымывание эффективно при метеорологических условиях, способствующих активному вертикальному перемещению воздушных масс в нижнем слое атмосферы, включением их в облачную массу. Из этого следует, что облачное вымывание наиболее эффективно при дальнем переносе загрязняющих веществ.

После абсорбции загрязняющих веществ облачными каплями, эти вещества могут вступать в химические реакции, подобные реакции двуокиси серы и аммиака, приводящей к образованию сульфата аммония или другие реакции.

Облачные капли являются начальной стадией образования более крупных капель осадков. Обычные капли, не превратившиеся в дождевые, могут испаряться и таким образом выделять из своего объема загрязняющие вещества в атмосферный воздух. Загрязняющие вещества затем вновь растворяются в облачных каплях и цикл выведения загрязнений из атмосферы повторяется, приводя, в конечном итоге, к выпадения дождевых капель на землю.

Вторым типом выведения загрязняющих веществ из атмосферы является процесс подоблачного вымывания, при котором дождевые капли, пролетая, захватывают загрязняющие вещества и переносят их на подстилающую поверхность.

Этот процесс недостаточно эффективен вследствие низкой плотности дождевых капель в воздушной массе и незначительного времени контакта капель и загрязняющих соединений, однако в районах с высоким уровнем загрязнения и значительным количеством осадков подоблачное вымывание может играть важную роль.

В отсутствии мокрых осадков загрязняющие вещества могут также попадать на подстилающую поверхность и растительность. Такой процесс выведения загрязнений из атмосферы называется сухим выпадением. Для относительно крупных частиц диаметром более 20 мкм осаждение на поверхность описывается законом Стокса, который устанавливает соотношение между скоростью осаждения, силой тяжести и аэродинамическим сопротивлением. Этот закон хорошо описывает особенности процессов гравитационного осаждения, которые наблюдаются в зонах с высокой запыленностью воздуха, например в районах горных разработок полезных ископаемых.

За счет процессов сухого осаждения за несколько дней из атмосферы выводится около 50 % загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу тепловой электростанцией, работающей на угле.

В настоящее время существует обоснованное мнение о необходимости уменьшения высоты труб электростанций и других источников эмиссии двуокиси серы в атмосферу, поскольку выведение загрязняющих веществ высокими трубами уменьшает вероятность сухого осаждения и разрушения двуокиси серы на подстилающей поверхности и приводит к увеличению роли процессов выведения SO_2 с жидкими осадками, т.е. увеличивается количество кислотных осадков.

Однако сухое осаждение не ограничивается только гравитационным осаждением крупных частиц. Существует еще несколько видов процессов осаждения, приводящих к выпадению из атмосферы микродисперсных частиц и газов. В этом случае эффективность осаждения определяется коэффициентом, который представляет собой отношение потока загрязняющих соединений к земной поверхности к уровню этого соединения в пограничном слое атмосферы непосредственно над подстилающей поверхностью. Скорость осаждения зависит от химических свойств вещества. Более высокую скорость осаждения имеют газообразные соединения, обладающие большой реакционной способностью.

В процессах сухого осаждения участвуют как газы, так и аэрозольные частицы. Их сухое осаждение осуществляется также вследствие того, что в непосредственной близости к поверхности находится тонкий слой неподвижного воздуха толщиной от 10 до 10 мкм. Проникающие в него частицы или газы, по причине броуновского движения, входят в непосредственный контакт с частицами почвы или растительности. Вследствие такого взаимодействия (химической реакции или физической сорбции) загрязняющие вещества выводятся из пограничного слоя воздуха.

При наличии растительности выведение веществ из пограничного слоя осуществляется не только на поверхность почвы, но и в устьица растений. Растворимые газы такие, например, как SO_2 обладают лучшими характеристиками осаждения по сравнению с газами, которые менее растворимы.

На влажной поверхности, например, на влажной листве, водной поверхности, скорость сухого осаждения растворимых соединений выше, чем на песчаных или сухих почвах.

В атмосфере содержится множество твердых частиц, постоянно осаждающихся на поверхности растений. Часть их сдувается или смывается, а часть проникает в лист через устьица или поврежденные клетки эпидермиса.

Размер этих маленьких многомолекулярных частиц исчисляется микронами и дифференцируется по величине частиц. Определить размеры частиц, как правило, трудно, поскольку они взаимодействуют друг с другом, с водой и газами, присутствующими в воздухе. Сами по себе эти частицы зачастую инертны, однако при соединении с другими веществами могут становиться фитотоксичными, HF и SO₂ представляют собой растворимые в воде газы, которые могут образовывать водяные оболочки (пленки) вокруг частиц. В результате растворения SO₂ образуются кислые частицы, вызывающие ожог листьев растений.

В ряде работ показано воздействие взвешенных в воздухе частиц на растения в естественных условиях. Частицы могут оседать на листьях, снижая уровень светопоглощения и соответственно фотосинтез, засорять устьица и повышать чувствительность растений к SO₂; они также могут негативно влиять на опыление цветков, размер и состояние листьев, состав лесных насаждений путем воздействия на pH почвы. Роль твердых частиц в воздействии загрязнения воздуха на растительность нуждается в дальнейшей разработке.

В атмосфере большинство тяжелых металлов встречается в виде твердых частиц, адсорбированных на других частицах, или в виде солей. Из атмосферы они оседают на растения или земную поверхность (почву). Существуют споры о том, поглощаются ли тяжелые металлы листьями растений или же они поглощаются корнями и откладываются в них или переносятся вверх к листьям, плодам и т. д.

8.2 Накопление загрязняющих веществ в пищевых цепях

Живые организмы активно участвуют в распространении многих загрязнений, кроме того, большинство из них способно накапливать загрязнители в своих тканях, что увеличивает токсикологическую опасность, например:

1. Бурые водоросли используются для добычи йода, встречающегося в минеральном мире лишь в виде следов.

2. В крови кальмаров зафиксирован повышенный уровень ванадия, а поджелудочная железа двухстворчатого моллюска морского гребешка содержит большое количество кадмия.

3. Речной фитопланктон содержит в 1000 раз больше радиоактивного фосфора, чем вода.

4. Морковь накапливает многие пестициды.

5. Дождевые черви и другие малощетинковые кольчецы могут накапливать в своем организме пестициды, в уровни во много десятков раз превышающих содержание их в гумусе, служащем для червей пищей.

6. Среди морских беспозвоночных, обладающих способностью к аккумуляции выделяются, например, устрицы, которые накапливают в своем организме инсектициды в уровнях превышающих содержание их в воде в 70000 раз.

Все живые существа (в разной степени) обладают способностью накапливать в своем организме любые вещества, биологически слабо или совсем не разрушающиеся. Таким образом, постепенно происходит заражение всей пищевой цепи экосистемы, начало которому положили зеленые растения (продуценты), «выкачивающие» загрязняющие вещества, рассеянные в биотопе. Накопление токсичных веществ в живых организмах увеличивается на каждом последующем трофическом уровне. Во всех случаях хищники, находящиеся в самом

конце пищевой цепи, оказываются обладателями наиболее высокого уровня заражения.

Организмы, аккумулирующие токсичные вещества, служат пищей другим животным, которые затем накопят эти вещества в своих тканях. Во всех случаях хищники, находящиеся в самом конце пищевой цепи оказываются обладателями наиболее высокого уровня заражения. Например, накопление инсектицида диэldrина в организме морских растений и животных происходит по следующей схеме:

I	II	III	IV	V
Фитопланктон	→ зоопланктон	→ ракообразные	→ рыбы (хищные)	→ бакланы

Диэldrин, содержащийся в едва различимых концентрациях в морской воде, достигает максимального уровня на пятом трофическом уровне. В печени бакланов, питающихся исключительно рыбой, содержание диэldrина в 1600 раз выше, чем в фитопланктоне.

В Японии около 30 лет назад произошла массовая гибель людей из-за отравления ртутью. Она накопилась в тканях рыб, которой питались пострадавшие рыбаки. В ходе анализа было выявлено, что содержание ртути в тканях рыб в 500 тысяч раз выше, чем в воде залива.

Радиоактивные вещества, в основном ^{90}Sr и ^{137}Cs хорошо накапливаются в лишайниках, а затем передается по пищевой цепи:

Лишайник (*Cladonia*) → северный олень → человек.

В этом случае уровень радиоактивных веществ в теле человека оказывается в 55 раз выше, чем фоновая.

9 Изменение состава и свойств почвы в результате антропогенного влияния

Растения могут извлекать из почвы минеральные вещества только в виде ионов растворимых солей. Эти ионы быстро бы вымывались из почвы, если бы не имели прочную связь со стабильными почвенными частицами. Глина и гумус почвы вступают в тесные взаимоотношения, образуя так называемый глинисто-гумусовый комплекс. Структурные единицы этого комплекса - мицеллы играют большую роль в поступлении минеральных ионов в экосистему почвы и оттоке ионов из нее.

Глинисто-гумусовая мицелла имеет на своей поверхности многочисленные отрицательно заряженные участки, притягивающие к себе положительно заряженные ионы.

Связи между минеральными ионами и мицеллой постоянно разрываются и образуются вновь. Некоторые ионы связываются с мицеллой более прочно, чем другие. В порядке убывающей прочности связывания их можно расположить так: H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ . Ионы водорода вытесняют из мицеллы все прочие ионы. Содержащаяся в дождевой воде угольная кислота непрерывно вносит в верхние слои почвы водородные ионы, которые легко вытесняют ионы металлов, вымываемые затем из почвы в грунтовые воды.

Катионы водорода выделяются также в процессе деятельности корневой системы растений. Вытесненные ионы металлов тут же усваиваются корнями.

Воздух, вода, почвенные растворы служат жизненной основой для растений и различных организмов, обитающих в почве. Уменьшение количества поступающего в почву органического вещества, например, в следствии сведения лесов, приводит к тому, что изменяется почвенная структура, а с ней и все свойства, которые она обуславливает. Такой процесс носит название минерализации почвы.

Обработка земли тяжелыми машинами, уличный транспорт и строительство приводят к сильному уплотнению больших участков окультуренных земель и потере порозности. В результате уменьшается влагоёмкость и снабжение почвы кислородом. В уплотненной почве начинаются процессы восстановления, при которых в растворимую форму переходят марганец, железо и ряд других металлов, проявляющих в повышенных концентрациях токсичность. Увеличение подвижности металлов в восстановительных условиях способствует вымыванию этих элементов из почвы, которая в результате обедняется этими металлами.

Существенное отрицательное влияние на плодородие почвы оказывают кислотные осадки, которые вызывают выщелачивание из почвы солей кальция и магния. Закисление почв приводит также к переходу в растворимые формы соединений алюминия. Засоление почв оказывает существенное влияние на почвенные системы и развитие растительности в связи с нарушением водного баланса в клетках.

В целом различают следующие основные показатели деградации почв, которые должны подвергаться постоянному наблюдению в системе мониторинга почвенного покрова:

1. Дегумификация почв (осуществляется контроль за содержанием и запасами гумуса).
2. Линейная эрозия почв (определяется густота овражной сети, коэффициент расчлененности).
3. Плоскостная эрозия почв (изменение мощности гумусного горизонта, соотношение почвенных горизонтов).
4. Изменение кислотно-щелочных условий почв.
5. Переуплотнение почв (определяется плотность и порозность почв).
6. Засоление почв (содержание и запасы солей, их химический состав, распределение по почвенному профилю).
7. Загрязнение земель тяжелыми металлами, радионуклидами, пестицидами.

8. Изменение земель в результате воздействия морей, озер, рек и других водоемов (определяется скорость разрушения береговой линии, накопление данных осадков, заиливание водоемов).

9. Нарушение земель техногенной деятельностью (взрывные работы, карьеры, т.е. деятельность, которая сопровождается выемкой почвы).

10. Каменистость (определяется степень каменистости в процентах от площади, распределение камней по профилю).

11. Деградация природных кормовых угодий (закустаренность, закочкаренность).

12. Изменение состояния земель населенных пунктов.

10 Отношение растений к реакции почвенной среды.

Биоиндикация реакции почвенного раствора

Реакцией почвенного раствора в значительной степени определена специфика минерального питания растений.

Уровни кислотности и щелочности почвенного раствора являются основными параметрами «физиологии почв». Они определяют объемы и направления процессов сопряженного обменного поглощения ионов почвами и растениями, физическое и химическое состояние почвенной экосистемы.

Кислотностью называют активную реакцию почв, которая определяется концентрацией ионов водорода. Кислотность выражают величиной рН (отрицательный логарифм концентрации водородных ионов в почвенном растворе). Почвенная кислотность бывает актуальная (или явная) и потенциальная (или скрытая).

Актуальная кислотность почв – кислотность почвенного раствора. Она обусловлена присутствием в почвенном растворе свободных минеральных (чаще H_2CO_3), а также растворами свободных органических кислот и гидролитически кислыми солями алюминия. На практике определяется в водной вытяжке из почв и измеряется величиной $\text{pH}_{\text{водн}}$.

Потенциальная кислотность почв - это актуальная кислотность плюс дополнительное количество ионов водорода, вытесненных из поглощенного состояния при воздействии на почву нейтральной солью. Измеряют рН солевой вытяжки.

Большинство растений очень резко реагирует на изменение значения рН почвенного раствора. Каждый растительный организм обладает определенным оптимумом кислотности, при котором развивается наилучшим образом. Оптимум у отдельных растений не всегда фиксирован точно. Одни растения предпочитают более кислую реакцию, в то время как другие лучше растут в нейтраль-

ной или слабощелочной. Пшеница, например, хорошо развивается при рН 6,5 – 7,5; кукуруза, сахарная свекла при 7; картофель при 5; овес и рожь 5 – 6; люцерна 8 – 8,5.

По отношению к кислотнo-щелoчному балансу почв выделяют экологические группы растений:

- ацидофильные (лучше развиваются на кислых почвах при рН менее 6,7): карликовая береза, вереск, черника, хвощи, плауны, калужница болотная и др.;

- базофильные (предпочитают щелочные почвы с рН более 7,0) – основная масса растений степных и пустынных районов: лебеда, кермек, полыни и пр.;

- нейтрофильные (оптимум развития на почвах, имеющих нейтральную реакцию, при рН 6,7-7,0): пшеница;

- индифферентные (безразличные к кислотности почв): овсяница овечья, вьюнок полевой, ландыш и др.

В целом значение рН почвенного раствора может колебаться от 3 до 11. Значение рН почвенного раствора ниже 4,5 и выше 8,5 угнетает жизнедеятельность большинства растений. Для большинства растений наиболее благоприятна реакция, близкая к нейтральной.

Приуроченность растений к почвам с определенным значением рН дает возможность использовать растительность в качестве индикатора почвенных условий по степени кислотности (таблица 4).

При обилии осадков и недостатке тепла разложение органических остатков идет с образованием большого количества растворимых органических кислот, которые и сообщают почвенному раствору кислую реакцию, особенно в тех случаях, когда почва содержит мало извести. Снижение рН почвы препятствует развитию микроорганизмов, что нарушает процессы разложения и минерализации органического вещества (почвенного дыхания).

Процесс обеднения почвы при снижении значения рН почвенного раствора илом, алюминием, железом и основаниями и накопления в ней кремнезёма носит название оподзоливания.

Сама растительность может в той или иной степени способствовать установлению определенного значения рН почвенного раствора, например: хвоя ели создает большое количество смоляных кислот, дающих кислые продукты разложения; в хвое лиственницы содержится много извести, поэтому почва под листопадом лиственницы подщелачивается. Сильно щелочную реакцию (9 – 9,2) - имеет верхний слой почвы под кронами пустынных деревьев и кустарников (черкеза, саксаул), так как эти растения собирают большое количество подщелачивающих солей.

Таблица 4 - Растения-индикаторы кислотности и степени богатства почвы (по Раменскому Л.Г. и др. 1956)

Ступени шкалы богатства почвы	рН	Характеристика и распространение почв	Примеры растений-индикаторов
1	2	3	4
1-3	4,0-4,5	Особо бедные почвы (сильно выщелоченные песчаные и супесчаные); олиготрофный торф верховых болот.	Подбел белолистник, кошачья лапка двудомная, вереск обыкновенный. осока малоцветковая, болотный мирт обыкновенный, цетрария исландская, водяника черная, кукушкин лен обыкновенный.
4-6	5,0-5,5	Бедные почвы (выщелоченные, нередко песчаные и супесчаные). Бедные суходольные луга лесной зоны. Сосновые боры. Торф верховых и переходных болот	Полевица собачья, манжетка обыкновенная, осока волосистоплодная, овсяница овечья, ястребинка волосистая, линнея северная, белоус торчащий, орляк обыкновенный, сивец лиловый.

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
7-9	5,5-6,5	Небогатые почвы (подзолистые, торфяные и др.). Суходольные луга лесной зоны, еловые и смешанные леса, бедные низинные луга, болота.	Трясунка средняя, осока водяная, хвощ болотный, земляника лесная, нивяник обыкновенный, марьянник дубравный, кислица обыкновенный, горец змеиный.
10-13	6,0-7,5	Довольно богатые почвы (луговые, суглинки, выщелоченные черноземы). Пойменные луга, низинные луга и болота, степи, дубравы.	Тысячелистник обыкновенный, ольха черная, осока пузырчатая, василек обыкновенный, ежа сборная, будра жестковолосая, хмель вьющийся, чина луговая, вербейник обыкновенный, мятлик луговой, кровохлебка лекарственная.
14-16	7,0-7,5	Богатые почвы (черноземы, каштановые и др.). Степи, пустыни, некоторые полупустыни.	Лисохвост вздутый, осока опушенная, цикорий обыкновенный, тонконог стройный, лядвенец рогатый, люцерна хмелевая, мятлик луговой, лапчатка гусиная, чабрец Маршалла.

Щелочность почвы - содержание в почвенном растворе OH^- иона. Ее значение рН больше 7. Если кислая среда благоприятствует удалению из почвы глинистых материалов, окисей железа и алюминия, то щелочная реакция почвы облегчает извлечение двуокиси кремния (SiO_2). Этот процесс получил название **латеризация**.

Латеризация оказывает на почвенный профиль действие, противоположное оподзоливанию, при этом повышается относительное содержание окисей железа и алюминия, которые придают почве красноватую окраску. Если процесс латеризации заходит слишком далеко, это приводит к тому, что двуокись кремния исчезает из почвы совершенно, после чего остается так называемый латерит – твердый, напоминающий по цвету кирпич, панцирь.

11 Биоиндикация засоления почв

Засоление – процесс накопления в почвенном профиле водорастворимых солей из минерализованных грунтовых вод при выпотном водном режиме.

Избыток солей в почве создает повышенную концентрацию почвенного раствора, токсичного для растений.

Для почвенных фито- и зооценозов, а также для растений наиболее токсичными являются легко растворимые соли (Na_2CO_3 , NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2). Эти соли практически беспрепятственно проникают в цитоплазму клеток. Более вредное засоление карбонатное (содовое) и хлоридное, менее вредное – сульфатное. Труднорастворимые соли (MgSO_4 , CaSO_4 , CaCO_3) относительно нейтральны.

По происхождению засоление почвы может быть:

- первичное – результат естественно-исторических природных процессов аккумуляции солей по всему профилю почв;

- вторичное – происходит в результате избыточного увлажнения почвы высокоминерализованной водой; при трансграничном переносе солей капиллярным потоком вод из засоленных пород или аэрогенно – с пылью.

Процесс чаще антропогенный.

Среди засоленных почв различают:

- солончаки – почвы, испытывающие постоянное сильное засоление высокоминерализованными водами;

- солонцы и солончаковатые – содержат вредные соли на разных глубинах профиля почв.

Засоление нарушает нормальное водоснабжение растений, нарушается азотный обмен, подавляется синтез белков, замедляется рост. Однако растения-галофиты нормально развиваются даже на солончаках.

Очень высокой солеустойчивостью характеризуются: ячмень, сахарная свекла, клевер, хлопчатник.

Средней солеустойчивостью характеризуются: пшеница, овес, кукуруза, томаты, капуста, морковь, лук.

Не принимают засоление: фасоль, яблоня, вишня.

Многие солончаковые растения имеют мясистые стебли и листья вследствие разрастания мезофилла, что особенно характерно при хлоридном засолении.

При сульфатном засолении некоторые растения приобретают признаки ксероморфизма.

Мужские особи некоторых древесных пород (ивы, осины) произрастают преимущественно на более засоленных почвах, а женские - на менее засоленных.

По степени устойчивости отдельных видов растений представляется возможным диагностировать проявление солонцово-солончаковой деградации почв (таблица 5).

Значительный вклад в засоление городских почв вносит все более широкое использование противогололедных смесей. Это химические соединения, предназначенные для предупреждения и устранения льда и снега. Противогололедные реагенты могут иметь различный состав и свойства.

Большая часть противогололедных материалов, распределённых по дорожному полотну и разбросанных по трассе, неизбежно попадает в почву и воду, создавая засоление. Образующиеся в ходе взаимодействия противогололедных материалов с влагой атмосферы и с атмосферными примесями вредные вещества и соединения, в том числе и в виде аэрозоля, оказывают отрицательное воздействие на растения, вызывая их некроз, обусловленный воздействием на растения накапливающихся в почве солей.

Отклонения от нормативных требований экологической безопасности приводят к превышению допустимой концентрации солей на дорожном покрытии вследствие неправильного учёта метеоданных, а также из-за ошибок

Таблица 5 - Степень устойчивости растений к засолению и осолонцеванию

Степень устойчивости	Процессы деградации, виды растений	
	засоление	Осолонцевание
Слабая устойчивость	Лиственница, ива, ясень, сосна, тополь, эспарцет, сорго	Все древесные и культуры Агроценозов
Средняя устойчивость	Дуб, груша, акация, сафора, пырей, житняк, житняк, костер	Костер безостый, люцерна
Устойчивые	Вяз, лох, тамарикс, пырей безкорневичный.	Житняк, бескильница, пырей алый, донник.

при приготовлении или изменении свойств противогололёдных материалов из-за неправильного их хранения.

Также возможно недостаточное содержание компонентов, приводящее к увеличенному повторному применению противогололёдных материалов.

При попадании противогололедного реагента на поверхность снега или льда, его частицы растворяются, образуя рассол, который имеет температуру замерзания ниже температуры замерзания воды. Именно раствор противогололедного реагента, пока его уровень таков, что температура замерзания ниже нуля градусов, растапливает лед и предотвращает возникновение новых гололедных образований.

Лучшим считается тот противогололедный реагент, который при наиболее низкой температуре растапливает большее количество снега и льда и оказывает наименьшее воздействие на окружающую среду и материалы.

В крупных городах наиболее часто применяют два основных противогололедных реагента: хлористый Са и «Аймелт». Последний представляет собой сложную смесь сверхчистого выпаренного хлористого натрия и высококачественного безводного хлористого кальция с добавлением ингибитора коррозии. Обладает более медленным, но более мощным действием, глубже проникает в толщу льда, вплоть до поверхности дороги, препятствует сцеплению льда с дорожным полотном, не пылит.

Хлористый кальций - гранульный, быстро действующий реагент с содержанием вещества 94-98 %, работает в диапазоне температур до – 30 градусов.

Противогололедными реагентами в первую очередь обрабатывают опасные для движения транспорта участки магистралей, крутые спуски и подъемы, мосты, эстакады, тоннели, тормозные площадки на перекрестках улиц и остановок общественного транспорта, площади у железнодорожных вокзалов и т.д.

Таким образом, при применении противогололедных смесей подвергаются засолению, прежде всего, почвы, сопряженные с транспортной сетью.

12 Биоиндикация на различных уровнях организации живого

12.1 Субклеточный и клеточный уровни организации

Биоиндикация может осуществляться на всех уровнях организации живого от биологических макромолекул, клеток, тканей, органов и организмов до популяций, сообществ и биосферы в целом.

Биоиндикация на субклеточном и клеточном уровнях основана на узких пределах протекания физиологических реакций. Её достоинство заключается в высокой чувствительности к нарушениям, позволяющим выявить даже незначительные уровни загрязнений.

Именно на этих уровнях возможно наиболее раннее обнаружение нарушений в окружающей среде. К числу недостатков относится то, что исследование биоиндикаторов - молекул и клеток требует сложной аппаратуры и, соответственно, высококвалифицированных кадров.

Результаты воздействий загрязнителей проявляются в:

- нарушении проницаемости мембран;
- изменении уровня и активности ферментов, других белков, аминокислот, липидов, углеводов, АТФ;
- аккумуляции вредных веществ в клетке и отдельных ее органоидах;
- нарушении физиологических процессов в клетке (так, SO_2 изменяет кислотность цитоплазмы; озон и другие окислители нарушают проницаемость мембран; во всех случаях страдают мембраны хлоропластов, что сказывается на интенсивности фотосинтеза);
- изменении размеров клетки;

В клетках растений под действием различных загрязнителей могут накапливаться определенные вещества, например:

1. В листьях некоторых растений вблизи дорог с интенсивным движением накапливается вещество пролин, называемое «индикатором стресса»;

2. В листьях кукурузы при загрязнении накапливается аминокислота аланин, изменяются пигменты, что проявляется в уменьшении содержания хлорофилла.

3. Под действием кислот и двуокиси серы отслаивается цитоплазма от стенок клеток.

4. У ели при задымлённости изменяется соотношение между хлорофиллом А и В в хвое.

5. В клетках ряда живых организмов в условиях интенсивного движения автотранспорта накапливается свинец.

В перьях птиц (фазан, куропатки, хищные) за последние 100 – 150 лет резко (в 10 – 20 раз) увеличилось содержание соединений ртути. При газодымном загрязнении уменьшаются клетки эпидермиса листьев и увеличиваются клетки смоляных ходов у хвойных деревьев.

12.2 Организменный уровень биоиндикации

Биоиндикация на этом уровне имеет ряд преимуществ, важнейшими из которых являются:

- небольшие затраты труда;
- относительная дешевизна, так как не требуется специальной лаборатории и высокой квалификации персонала.

В качестве тест - организмов, стоящих на нижних ступенях уровня организации часто используют мхи.

У растений для биоиндикации наиболее часто используются изменения морфологических параметров:

1. Изменение окраски листьев (обычно проявляется как неспецифическая, реже как специфическая реакция на различные поллютанты):

а) хлороз - появляется бледная окраска листьев, наблюдается при газодымовом загрязнении воздуха или при избытке в почве тяжелых металлов;

б) пожелтение участков листьев - чаще всего наблюдается у лиственных деревьев при засолении почвы хлоридами. Среди наших деревьев наиболее чувствительна липа, на её листьях сначала возникают ярко-желтые пятна, неравномерно распределенные по краевой зоне, затем край листа отмирает, а желтая зона передвигается к середине и основанию листа. Разработана специальная бонитировочная шкала, позволяющая по степени нарушения листовой пластинки липы оценить уровень засоления почвы. Этим методом обычно пользуются во второй половине лета;

в) покраснение - связано с накоплением пигмента антоциана, как правило, под действием повышенных уровней SO_2 ;

г) побурение или побронзовение, которые часто означают начальную стадию некротических повреждений. Хвоинки пихты и сосны под действием SO_2 становятся на вершине бурыми;

д) серебристая окраска листьев возникает под действием озона на листья табака. Для биоиндикации такого загрязнения специально выведен сорт табака (Бел Б - 3), реагирующий даже на незначительные уровни озона;

е) побеление (вершинки листьев гладиолусов после окуривания фтористым водородом).

2. Некрозы – отмирание участков ткани листа. Их, так же, как и хлорозы, классифицируют (рисунок 2) на :

а) точечные;

б) пятнистые (после серебристых пятен под действием озона на листьях табака);

в) верхушечные - чаще проявляются у однодольных покрытосеменных и хвойных растений;

г) межжилковые (под воздействием SO_2);

д) краевые - на листьях под действием солей, которые применяют в качестве противогололедного средства;

- е) «рыбий скелет»- сочетание межжилковых и краевых некрозов;
 ж) обширные – повреждение большей части листовой пластинки.

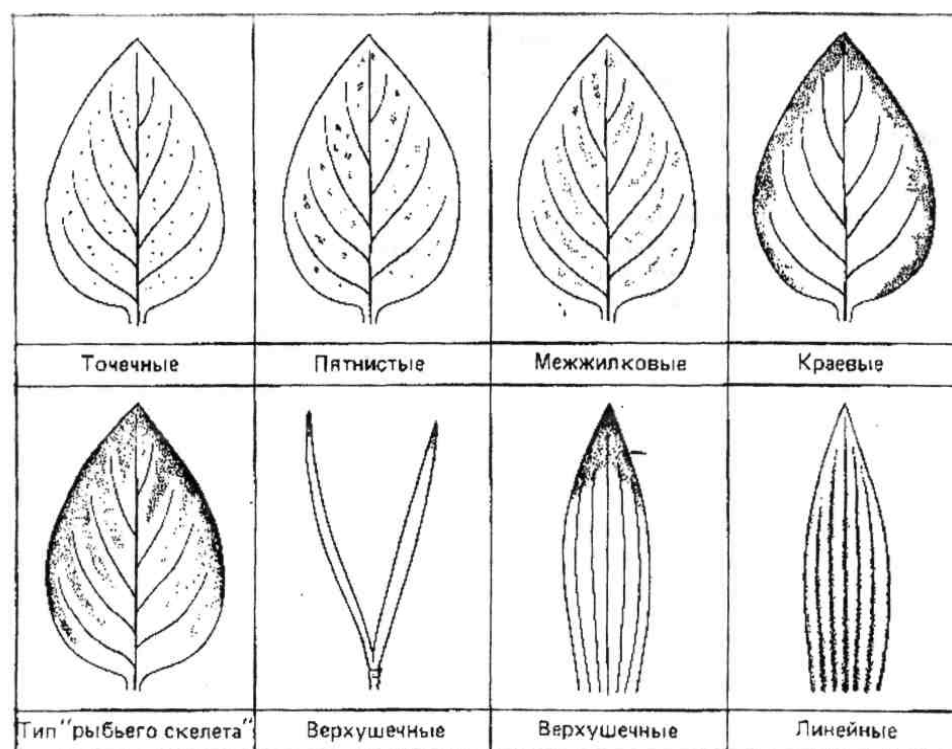


Рисунок 2 - Классификация повреждений листовой пластинки

3. Преждевременное увядание (например, при воздействии SO_2 на малину; при загрязнении воздуха этиленом увядают лепестки орхидей, а бутоны гвоздик не распускаются).

4. Деформация – опадание листьев обычно наблюдается после хлорозов и некрозов. У сосны и ели хвоинки в нормальных условиях живут 3 - 4 года, при газодымовом загрязнении - 1 год. Ветви оголяются, хвоинки сохраняются только на концах ветвей. На основе такой реакции создана бонитировочная шкала некрозов и продолжительности жизни хвои, позволяющая оценить количественно степень загрязнения среды. Подобные явления у крыжовника и смородины происходят под действием SO_2 , у конского каштана и липы от соли.

5. Изменение размеров листьев - проявляется как неспецифическая реакция, например:

- хвоя сосны вблизи заводов по производству удобрений удлиняется под действием нитритов и укорачивается под действием SO_2 ;

- у ягодных кустарников повышенная задымленность вызывает уменьшение размеров листьев.

6. Изменение формы, количества и положения органов: аномальная форма листьев отмечается после радиоактивного облучения; в результате локальных некрозов возникает вздутие или искривление листьев; срастание или расщепление отдельных органов; увеличение или уменьшение частей цветка, например, пятый лепесток в цветке сирени.

7. Изменение жизненной формы растений (при сильном и установленном загрязнении воздуха SO_2 некоторые деревья, например липа, приобретают кустовидную или подушечную форму).

8. Изменение жизненности. Присутствие загрязнений вызывает изреживание кроны и уменьшение прироста деревьев, что приводит к снижению их бонитета (качества) с 1-2-го до 4-5-го классов. Такие изменения выявляют, измеряя радиальный прирост стволов, побегов, корней, площадь листьев, диаметр таллома у лишайников. При повышении уровня вредных веществ уменьшается процент схожести семян кресс-салата, уменьшается длина зародышевых корешков, у этого же растения, высаженного в открытый грунт в городских центрах с интенсивным движением, уменьшается длина проростков.

Из числа животных в целях биоиндикации чаще других используют насекомых и моллюсков, поскольку наблюдать за другими животными в нарушенной среде значительно сложнее.

Изменения проявляются в морфологии; физиологии; размножении; поведении.

1. Морфологические - проявляются в изменении размеров и пропорции частей тела. Например, у тли изменяется ширина головы, длина конечностей и усиков; у моллюсков уменьшаются размеры раковины.

На загрязненном корме уменьшаются размеры личинок, а у взрослых особей большинства насекомых загрязнение вызывает изменение покровов (березовая пяденица, двухточечная божья коровка).

У тли под действие повышенного уровня ДДТ снижается толщина скорлупы яиц, у ряда животных под действием ДДТ и нефтепродуктов нарушаются формообразовательные процессы, возникает уродство. В реке Москва, например, в черте города у рыб выявлены следующие уродства: нарушение формы тела, искривление позвонков, изменение окраски, редукция плавников и зрачка, бельмо на глазах, длиннохвостость, ожирение и другие, причем у плотвы доля особей с уродствами, иногда несколькими сразу, в отдельных пробах достигает 70 %.

2. Физиологические - проявляются в увеличении содержания красящих пигментов в тканях моллюсков из загрязненных водоемов или, например, в изменении количества фагоцитов у гусениц сосновой пяденицы в зоне загрязнения SO₂.

3. Репродуктивные - проявляются в уменьшении плодовитости у тли, некоторых бабочек в зоне с повышенным уровнем SO₂. У птиц при действии тяжелых металлов и ДДТ уменьшается кладка и повышается смертность зародышей и птенцов. У некоторых саранчовых под действием мочевины уменьшается количество кладок и число яиц в кладке, в то же время под действием хлора число яиц в кладке возрастает.

4. Онтогенез и продолжительность жизни - изменение срока развития и продолжительности жизни (чаще всего они сокращаются), особенно у насекомых, питающихся загрязненным кормом. Реже наблюдается удлинение (у дрозофилы, например, некоторые антиоксиданты увеличивают срок жизни на треть).

5. Поведенческие - проявляются, например, в изменении суточного ритма рыб в рыборазводных прудах при загрязнении нефтепродуктами и ухудшении обеспеченности O₂; нарушается половое поведение у крабов, например, после воздействия нефтепродуктов самцы перестают реагировать на самок.

12.3 Популяционно-видовой уровень

На этом уровне в основу биоиндикации положены отклонения от нормы таких показателей, как: структура (половая и возрастная); особенности динамики.

В целом под влиянием антропогенного вмешательства у большинства видов популяции уменьшаются. Особенно четко это проявляется у чувствительных видов. Так, например, у многих лишайников, обитающих в городах на древесно-кустарниковых породах, площадь покрытия коррелирует с уровнем SO_2 в воздухе. Это ярче всего проявляется в безлесных ландшафтах и позволяет произвести первую оценку интенсивности многолетнего загрязнения воздуха.

При антропогенном вмешательстве часто нарушается соотношение между молодыми, размножающимися и старыми особями в популяции. Так, на сенокосных лугах (по сравнению с некосимыми) а также на городских газонах и в других условиях, где наблюдается повышенная смертность, стадии развития насекомых укорачиваются, происходит омолаживание популяции. При загрязнении SO_2 , когда нарушается возобновление растительности, популяции биоиндикаторов стареют.

Наряду с возрастной, меняется и экологическая структура популяции. В обычных условиях популяция состоит из нескольких групп, приспособленных к разным условиям среды. Эти группы называются экотипами. Их количество и разнообразие способствуют выживанию популяции при изменении условий местообитания. В случае загрязнения среды количество экотипов снижается. Распространение устойчивых и вытеснение ими чувствительных экотипов происходит иногда очень быстро. Так, японская лиственница, которая лучше переносит высокий уровень SO_2 , постоянно вытесняет европейскую в условиях совместных посадок.

В условиях нарушения среды обитания происходят изменения ареалов видов растений, которые проявляются, например, в следующем:

- урбанизация способствует распространению на север южных видов;
- исчезновению мхов и лишайников, появлению декоративных видов.

13 Биоиндикация антропогенных механических влияний

13.1 Биоиндикация рекреационной нагрузки

Рекреациями называют места отдыха человека. Для отдыха человека в наибольшей степени привлекают леса и водоемы. Особенно возрастает нагрузка на экосистемы при неорганизованном культурном отдыхе. Рекреационная нагрузка тем выше, чем больше плотность населения и чем меньше естественных экосистем, привлекательных для отдыха.

В последние годы в России рекреационная нагрузка сильно возрастает в связи с широким распространением личного автотранспорта. Нашествие горожан на леса и реки принимает угрожающие размеры.

Основной схемой учета рекреационной нагрузки на лесные экосистемы является регистрация последовательных этапов разрушения растительности, от совершенно здорового древостоя с подростом и подлеском до полной гибели древесного яруса и отсутствия напочвенного покрова.

Стадии дигрессии лучше и быстрее всего оцениваются в поле путем определения процента деградированных участков или площади, занимаемой дорогами и тропами (дорожно-тропической сетью). Выделяют 5 основных стадий дигрессии лесных экосистем в результате рекреационной нагрузки (Шелухова, 1994):

1 стадия. Дорожно-тропическая сеть слабо выражена, значительных изменений растительности не происходит.

2 стадия. Дорожно-тропическая сеть занимает 5—10 %.

3 стадия. Дорожно-тропическая сеть занимает 20—30 %.

4 стадия. Дорожно-тропическая сеть занимает около 50 %, происходит исчезновение лесных видов, уменьшение их проективного покрытия, идет внедрение луговых и сорных видов.

5 стадия. Дорожно-тропическая сеть занимает около 90 %, преобладает луговая и сорная растительность.

Важнейшим признаком при оценке стадии дигрессии является соотношение лесных, луговых и сорных видов. В сосняках существует три типа деградации растительных группировок: с преобладанием спорыша (птичьей гречишки) в сухих местообитаниях; с преобладанием подорожника большого во влажных местообитаниях, образование олуговелых сообществ с доминированием овсяницы овечьей (Шелухова, 1994).

13.2 Биоиндикация пастбищной дигрессии растительного покрова

Состояние растительности на пастбищах используется в качестве индикатора пастбищной нагрузки и стадий дигрессии растительности. Вследствие периодического стравливания растений почва оголяется, сильнее прогревается и иссушается, уплотняется копытами пасущегося скота.

При близких грунтовых водах уплотнение поверхностных горизонтов усиливает капиллярное поднятие грунтовых вод к поверхности и почва при пастбищном использовании становится более влажной. Выпас действует отрицательно, прежде всего, на дернину, моховой и лишайниковый покров. В мохово-лишайниковых тундрах при выпасе выпадают вначале медленно растущие лишайники и тундры становятся чисто моховыми. В результате выбивания моховых ассоциаций развиваются злаково-дерновинные группировки, осоки, гигрофильное разнотравье.

Под влиянием выпаса в лесу изменяется состав напочвенного покрова, ягодниковые полукустарнички и мхи замещаются полуболотной растительностью, образуются сбоевые варианты травяного покрова.

На лугах формируются вторичные группировки, в которых в результате выпаса уменьшается обилие мезофильных видов и увеличивается доля пастбищных ксерофитов (типчак) и выгонных растений (спорыш, рогач, мятлик). На сырых лугах при выпасае образуются крупные кочки из осок.

В первую очередь стравливаются растения хорошей поедаемости. Через 3-4 года такие растения, стравленные в степи 4-5 раз за лето, а в лесной зоне - 6-8 раз, погибают. Из года в год усиливается значение непоедаемых и плохо поедаемых растений. Появляется большое количество низкорослых однолетних растений (спорыш, устели-поле и др.).

Влияние выпаса на растительность зависит от нагрузки скота на животных, характера почв, биологических и хозяйственных свойств растений.

Л.Г. Раменский (1956) выделяет 10 ступеней пастбищной дигрессии растительности:

Ступени 1-2. Влияние выпаса отсутствует или очень слабое. Видовое разнообразие растений значительное, на лугах высока доля разнотравья. Индикаторные виды - чина луговая, герань.

Ступени 3-4. Слабое влияние выпаса, сходное с влиянием раннего и нормального систематического сенокоса. На лугах доля разнотравья уменьшается, а роль злаков, особенно верховых, возрастает. Индикаторы: лютики, чемерица, жеруха.

Ступень 5. Умеренное (среднее) влияние выпаса. На лугах и в степи верховые злаки сменяются низовыми, в степи и полупустыне роль злаков уменьшается, возрастает роль полыней и солянок, повышается роль эфемеров и однолетних, появляются и затем начинают разрастаться пастбищные сорняки. На умеренно выпасаемых лугах наблюдается господство злаков сенокосного типа (костер, пырей, тимофеевка, овсяница луговая), луг становится ценным сенокосным угодьем.

Ступени 6-7. Сильное влияние выпаса (пастбищная стадия). На лугах господствуют низовые злаки, местами низкорослые бобовые (клевер белый), много низкорослых многолетних из разнотравья (одуванчики, кульбаба осенняя,

лапчатка гусиная). В полупустыне и степи господствуют полыни, велика роль эфемеров и однолетников. Сильно выпасаемые луга имеют типично пастбищный травостой с высокой способностью отрастания, образованный в основном низовыми злаковыми (мятликом луговым, овсяницей красной, полевицей ползучей) с примесью клевера лугового, ползучего, лядвенца, одуванчика, кульбабы, тысячелистника.

Ступень 8. Полусбой. Низовые злаки на лугах и в степях, полыни в полупустыне.

Ступень 9. Сбой. Растительный покров сильно изрежен, образован преимущественно однолетниками (спорыш).

Ступень 10. Абсолютный сбой. Почва оголена. Произрастают лишь единичные растения. Шкала пастбищной дигрессии применима почти ко всем кормовым угодьям, кроме заболоченных.

14 Реакция экосистем на промышленные загрязнения

Любая экосистема под действием антропогенных, чаще всего промышленно-транспортных загрязнений, испытывает определенную трансформацию. Этот процесс можно представить как ряд последовательно сменяющихся стадий, характеризующихся определенными показателями:

1. Выпадение или исчезновение из состава сообщества наиболее чувствительных видов - стенобионтов, как например, лишайников (при сохранении основных параметров экосистемы). Это обычно наблюдается при повышении фоновой нагрузки в 1,5 – 2 раза.

2. Происходит структурная перестройка экосистемы, вызванная превышением фоновой нагрузки в 2,5 - 4 раза. На этой стадии наблюдается заметное ухудшение санитарного состояния деревьев, хотя площадь древостоя еще не изменяется. Заметные изменения происходят в травянисто-кустарном ярусе, где исчезают наиболее чувствительные виды. Кроме того, замедляются процессы, протекающие с участием почвенных микроорганизмов, что приводит к накоплению растительного опада и утолщению слоя подстилки. Параметры населения высших животных существенно не изменяются и остаются у мелких млекопитающих на уровне фона.

3. Происходит частичное разрушение экосистемы, вызываемое превышением естественного фона в 6 – 7 раз. Это приводит к угнетению и изреживанию древостоевого яруса, нарушению его возобновления. В травянистом ярусе исчезают типичные лесные виды, а их место занимают рудеральные (сорные) виды, такие как амброзия, лебеда, горец птичий. Как правило, на этой стадии наблюдается значительное повышение кислотности верхних горизонтов почвы, что сопровождается резким снижением ее биологической активности. Это приводит к снижению скорости деструкции листового и веточного опада, и соответственно, к увеличению мощности слоя подстилки, которая достигает максимального

значения. На этой стадии визуально определяются эрозионные почвенные процессы.

4. Стадия полного разрушения (коллапса) экосистемы. Фоновая нагрузка превышена в 10 и более раз. На этой стадии древесный ярус разрушается полностью и сохраняются лишь отдельные угнетенные экземпляры деревьев. Травянистый ярус представлен лишь 1 – 2 видами, чаще всего это наиболее устойчивые злаки. Лишайниковый покров отсутствует, на большой площади подстилка смыта и начинается смывание верхних горизонтов почвы, а ее биологическая активность снижается практически до нуля.

15 Особенности хода техногенной сукцессии экосистем

Сукцессией называют последовательные смены биоценозов, преемственно возникающие на определенной территории в результате сложного взаимодействия природных факторов и хозяйственной деятельности человека.

Выделяют несколько форм сукцессий, в том числе техногенные сукцессии, вызываемые преимущественно деятельностью человека.

Общее направление техногенных смен противоположно ходу естественных сукцессий и может быть охарактеризовано как движение вспять (регресс).

Техногенные сукцессии сопровождаются:

- снижением биоразнообразия;
- падением продуктивности;
- упрощением структуры;
- замедлением и разрывом круговорота биогенных элементов.

Отмеченные выше стадии патологичны и переход к ним означает для экосистемы потерю устойчивости и способности к восстановлению.

Существует две концептуальные модели возможного хода техногенной трансформации экосистем:

1. Линейная;
2. Нелинейная.

Линейная – степень деградации экосистем увеличивается параллельно росту их загрязнения.

Во втором случае (нелинейная трансформация) зависимость более сложная и в развитии деградации наблюдается несколько стадий:

- на первой стадии, несмотря на начавшееся поступление загрязнителей, заметной деградации экосистем не наблюдается, что обусловлено их высокой устойчивостью или буферностью экосистем;

- на второй стадии при дальнейшем росте загрязнения с некоторого уровня в экосистемах начинают проявляться заметные изменения, что

свидетельствует о повышении интенсивности адаптационных процессов. Существование такого порога в реакции экосистем, т.е. наличие области нагрузок, при которой не обнаруживаются существенных изменений - характерное явление, обусловленное устойчивостью экосистем за счет способности к саморегуляции. Участок градиента нагрузки, при которой происходит скачок на следующий уровень, в общем объеме составляет 5 – 15 %;

- третья стадия характеризуется полной количественной и качественной деградацией и заканчивается разрушением экосистем.

16 Оценка экологической обстановки территории

Для оценки экологического состояния территории в 1992 году Министерством Природы РФ были утверждены «Критерии оценки экологической обстановки территории». В них экологическая обстановка территории по возрастанию степени экологического неблагополучия классифицируется следующим образом:

1. Относительно удовлетворительная.
2. Напряженная.
3. Критическая.
4. Кризисная (зона ЧЭС).
5. Катастрофическая (зона экологического бедствия).

Согласно законодательству, кризисной зоной или зоной ЧЭС объявляются: «участки, территории РФ, где в результате хозяйственной или иной деятельности происходят устойчивые отрицательные изменения в окружающей среде, угрожающие здоровью населения, состоянию естественных экосистем, генетических фондов растений и животных».

Катастрофой или зоной экологического бедствия объявляются «участки территории, где в результате хозяйственной или иной деятельности произошли глубокие необратимые изменения окружающей среды, повлекли за собой существенное ухудшение здоровья населения, нарушение природного равновесия, разрушение естественных экосистем, деградацию флоры и фауны».

Эти признаки позволяют рассматривать экологически неблагоприятную ситуацию как свершившееся бедствие, либо как надвигающуюся угрозу. При этом имеются в виду лишь такие территории, где воздействие антропогенных факторов имеет длительный хронический характер, протекает не менее 1 года, а по отдельным показаниям не менее продолжительности жизни одного поколения людей.

Оценка состояния обычно дается в сравнении с фоновой ситуацией, за которую принято считать относительно удовлетворительное благополучное экологическое состояние, так называемую условную региональную норму. На практике эти условные нормативные уровни иногда называют критическими уровнями, а состояние экосистем при их значении – критическими точками. Их величина характеризует диапазон толерантности экосистем.

Критериями для выделения зоны ЧЭС служит 10 – 15 – кратное увеличение критических уровней.

Оценка степени деградации наземных экосистем в целом проводится по критериям, которые определяют негативные изменения в структуре и функциях экосистем:

- тематические (ботанические, зоологические, микробиологические, геофизические и т. п.);
- пространственные;
- динамические;
- интегральные.

Данные критерии учитывают пространственную дифференциацию негативных изменений по степени нарушения, а также динамику процессов деградации. Так в зоне ЧЭС состояние экосистем характеризуется изменением соотношения основных трофических групп при снижении или увеличении массы одной из групп в пределах 20 – 50 %.

При этом обычно наблюдается нарушение взаимодействий внутри экосистемы, но процессы деградации еще не принимают необратимый характер. В зонах экологического бедствия снижение или повышение удельной массы одного из трофических уровней происходит более чем на 50 %. Нарушение взаимосвязей внутри экосистемы приобретает необратимый характер и она теряет средо- и ресурсовоспроизводящие функции.

При оценке экологического состояния значительной территории учитывают как общую площадь проявления негативных изменений, так и пространственную неоднородность распределения участков разной степени деградации на исследованной территории.

Скорость деградации экосистем обычно рассчитывается по 5-10 летним рядам наблюдений. Особенно важно оценивать направленность и скорость деградации экосистем на стадии формирования напряженной экологической ситуации.

Тематические критерии. Решающую роль в функционировании экосистем играет растительность, которая наиболее наглядно отражает изменение экологической обстановки территории под влиянием антропогенного воздействия (таблица 7).

В пресноводных экосистемах, с точки зрения специалистов по биомониторингу, важнейшими являются следующие показатели (таблица 8).

Признанным показателем деградации почвы является снижение жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, о которой можно судить по уменьшению уровня активной микробной биомассы, а также по более распространенным, но менее точным признакам:

- потере гумуса в пахотном слое (за 10 лет с 1 % в норме до 10 – 25 % при ЧЭС и более 25 % - при бедствии);
- доле загрязненной основной сельскохозяйственной продукции (с 5 % в норме, до 50 % -при ЧЭС и более 50 % -при бедствии);
- по дыханию почвы.

Пространственные критерии. Кроме силы воздействия на среду для оценки зон экологического бедствия большое значение имеет площадь воздействия. Небольшая по площади нарушенная система восстановится быстрее, чем обширная. Если площадь нарушения более предельно допустимых размеров, то разрушение среды практически необратимо и относится к уровню катастрофы. Размер зон экологического бедствия, как правило, превышает площадь 10000 – 100000 га в зависимости от типа экосистем и геолого-

Таблица 7 - Флористические показатели зон экологической нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б)

Показатель	Н	Р	К	Б
1	2	3	4	5
Ухудшение видового состава естественной растительности	Естественная смена доминантов, субдоминантов и характерных видов.	Уменьшение обилия господствующих особенно полезных.	Смена господствующих на вторичные в основном неподаемые,	Уменьшение обилия вторичных видов
Биоразнообразие (уменьшение индекса разнообразия Симпсона) (%)	<10	10-20	25-50	>50
Лесистость (% от зональной)	>80	60-70	50-30	<10
Повреждение древостоя промышленным дымом (%)	<5	10-30	30-50	>50
Гибель посевов (% площади)	<5	5-15	15-30	>30
Продуктивность пастбищной растительности (% от потенциальной)	>80	60-70	10-30	<5
Жизненность доминантов (балл)	4-5	3-4	2-3	1-2
Полнота древостоя (доля от 1,0)	>0,8	0,6-0,4	0,3-0,2	<0,1

Таблица 8 - Гидрологические биоиндикационные показатели

Показатели	Норма	Зона ЧЭС	Зона ЭБ
Фитопланктон	Естественное развитие	Пленка связанных или пряди нитчатых водорослей	Отсутствие или единичные экземпляры
Зоопланктон	Естественное развитие	Резкое снижение численности	Единичные экземпляры
Ихтиофауна	Сохраняется естественное воспроизводство	Резкое снижение доли ценных и редких видов	Исчезновение редких и ценных видов
Заболеваемость	Отсутствует	< 50 %	> 50 %

географических условий. По размерности зоны экологического бедствия делятся на локальные (на площади более 10 тыс. га), районные (более 100 тыс. га), областные (более 1 млн. га), региональные (более 10 млн. га). К пространственным критериям относится также относительная площадь земель, выведенных из землепользования в пределах исследуемого района. В норме в стабильных экосистемах относительная площадь нарушенных экосистем может достигать 5 %. В зонах экологического риска она уже составляет 5-19 %. По одной и той же стадии нарушения, выявленной по тематическим критериям, увеличение относительной площади нарушения представляет собой более высокий уровень опасности (таблица 9). Для административного района площадью 100-200 тыс. га это может быть выражено в виде матрицы.

Так, экспертная оценка зон экологического нарушения почв (Н - норма, Р - риск, К-кризис, Б - бедствие) территории в зависимости от глубины экологического нарушения территории (умеренное, среднее, сильное) и занимаемой относительной площади (%) имеет следующий вид (таблица 10).

Таблица 9 - Почвенные индикаторы зон экологической нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б)

Индикатор	Н	Р	К	Б
Плодородие почв (% от потенциального)	>85	65-85	65-25	<25
Содержание гумуса (% от первоначального)	>90	70-90	30-70	<30
Площадь вторично засоленных почв	<5	5-20	20-50	>50
Содержание пестицидов в почве (ПДК)	<0,5	0,5-1	1-3	>5
Содержание поллютантов почве (ПДК) .	<1	1-3	3-10	>10
Остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почве (вес. %)	<1,0	1-5	5-10	>10
Площадь водной эрозии (% площади)	<10	10-25	25-50	>50
Овражная расчлененность (км на км ²)	<0,3	0,3-0,7	0,7-2,5	>2,5
Площадь ветровой эрозии (полностью сдутые почвы)	<5	10-20	20-40	>40
Уровень активной микробной биомассы (снижение в число раз)	<5	5-10	10-50	>50

Таблица 10 - Матрица для экспертной оценки экологического нарушения почв

Нарушение	<5 %	5-20 %	20-50 %	>50 %
Умеренное	Н	Н	Н	Р
Среднее	Н	Н	Р	К
Сильное	Н	Р	К	Б

Для классификации зон экологического риска, кризиса и бедствия необходимо учитывать пространственную неоднородность нарушенных зон и наличие в ней комбинаций участков разной степени нарушенности.

Динамические критерии. Тематические и пространственные критерии выявления зон экологического бедствия при всей их очевидности недостаточны для объективной квалификации зон, так как они не отражают истинной картины бедствия. Более достоверны динамические критерии выявления зон экологических нарушений по скорости нарастания неблагоприятных изменений природной среды (накопления тяжелых металлов, прироста площади подвижных песков и т.д.)

По этому показателю выделяют четыре класса экосистем. Стабильные экосистемы со скоростью изменений менее 0-5 % площади в год подвержены лишь разногодичной и циклической флуктуации. Умеренно динамичные экосистемы со скоростью изменений до 1-2 % площади в год соответствуют зонам экологического риска.

Среднединамичные экосистемы со скоростью изменений свыше 4 % площади в год, полная смена которых происходит менее чем за 25 лет, представляют собой зоны экологического бедствия. Для объективного выявления скорости смен и исключения разногодичных колебаний скорости необходима значительная продолжительность наблюдений. Минимальный срок для определения линейной скорости изменений составляет 8-10 лет, а для выявления нелинейной скорости — 20-30 лет. К динамическим показателям нарушения экосистем относятся увеличение площади их разрушения, эродированных земель, сбитых пастбищ, засоленных земель, полная смена

состава, уменьшение годичной продукции, содержания гумуса в почве и др. (таблица 11).

Интегральные критерии. Структура интегральных индикационных критериев может быть выражена в виде корреляционной матрицы, на которой для каждого уровня нарушенное экосистем показана встречаемость тех или иных тематических, пространственных и динамических индикационных показателей/. Кроме встречаемости необходима оценка экологической значимости отдельных показателей. Задача интеграции облегчается тем, что, как правило, большая часть тематических показателей (ботанических, зоологических, почвенных) взаимно коррелирует. Например, в самой крупной на территории России зоне экологического бедствия в Черных землях Калмыкии ботанические критерии бедствия (уменьшение проективного покрытия более 10 % от первоначального и полная смена растительных формаций) сочетаются с почвенными (уменьшение содержания гумуса более 10 % от исходного) и в особенности с почвенно-эрозионными (увеличение площади подвижных песков свыше 30 % площади массива).

Это коррелирует с зоологическими критериями (сокращением популяции сайгака в 10 раз ниже нормальной численности стада и в то же время с превышением численности домашних животных на 250-300 % выше нормы). Кроме того, здесь наблюдается засоление почв (содержание водорастворимых солей более 1-3 %) и минерализация грунтовых вод (свыше 10 г/л), соответствующие зоне экологического бедствия. Гидрохимические и атмосферные критерии свидетельствуют о сильном загрязнении участков экосистем. Геофизические критерии показали катастрофическое повышение альбедо (более чем на 0,15). Наконец, эколого-экономические критерии также квалифицируют зону экологического бедствия, поскольку потребуются миллиардные затраты на восстановление природного потенциала, что во много раз превышает стоимость полученной продукции. С тематическими критериями зоны экологического бедствия совпадают пространственные (площадь свыше 1 млн. га) и динамические (скорость полного разрушения пастбищных экосистем в течение 1980 г. превысила 4% площади в год).

Таблица 11 - Динамические показатели зон экологической нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б) по повышению скорости изменения мощности индикационного критерия в год (среднее за 5-8 лет непрерывных наблюдений).

Повышение скорости в год	Н	Р	К	Б
Увеличение площади разрушения экосистем, (%)	<0,5	1-2	2-4	>4
Полная смена состава экосистем, (годы)	100	50-100	25-50	<20
Уменьшение годичной растительной продукции, (%)	<1	1,5-3,5	3,5-7,5	>7,5
Уменьшение годичной продукции в посевах, (%)	-	1-2	3-5	>5
Увеличение площади сбитых пастбищ, (%)	<2	3-5	5-8	>8
Ухудшение качественного состава пастбищ, (%)	<1	2,5-5	5-7,5	>7,5
Уменьшение запаса древесины, (%)	<1	2,5-5	5-7,5	>7,5
Увеличение площади эродированных земель, (%)	<0,5	1-2	2-5	>5
Уменьшение содержания гумуса в почве, (%)	<0,5	1-3	3-7	>7
Увеличение площади засоленных почв, (%)	<1	1-2	2-5	>5
Увеличение площади подвижных песков, (%)	<0,5	1-2	2-4	>4
Потери водных запасов, (%)	<0,2	0,2-0,4	0,4-1,0	>1
Заполнение водоемов твердыми осадками, (м ³ /м ²)	<50	60-200	200-500	>500
Скорость увеличения площади земель с неблагоприятными агрометеорологическими условиями, (% площади ценных сельскохозяйственных угодий)	<0,1	0,1-0,3	0,3-1	>1

Иными словами, разнообразные критерии зон экологического бедствия взаимно коррелируют, а сочетание перечисленных критериев убедительно квалифицируют территорию как региональную зону экологического бедствия.

Сходным же образом характеризуется состояние фауны, а также изменение генофонда животных. При этом необходимо учитывать, что численность многих животных подвергаются циклическим изменениям.

17 Примеры антропогенного землепользования и его воздействие на распределение растений

Земельные ресурсы используются человеком в следующих целях:

1. Земледелие. Площадь земель, пригодных для земледелия, не превышает 11 % территории (из 14 млн. кв. км) суши (без учета лесов). Это традиционный вид использования земель с неолита. Как правило, земли эксплуатируются истощительно, экстенсивно. Земледелие сопровождается ускорением эрозии, вторичным засолением, нарушением структуры почв, загрязнением. За всю историю использования земель человеком брошено 20 млн. кв. км земель, что превышает площадь современной пашни. В последние 60 лет распаханность суши возросла в 2 раза. В Европе она составляет 30 % территории. На душу населения в мире обрабатываемая площадь уменьшилась с 0,45—0,5 га в 70-х г. XX века до 0,31—0,32 га в настоящее время. В бывшем СССР в 1960 г. приходилось 1,06 га/чел., в 1981 — 0,86 га/чел., в 1985 — 0,75 га/чел., в России в 90-х годах XX в. — 0,88 га/чел.

На пахотных землях идет интенсивный процесс мелиорации. За последние 200 лет количество мелиорированных земель увеличилось в 25 раз. В настоящее время орошается каждый седьмой гектар обрабатываемых земель.

Мелиорация - комплекс мероприятий, проводимых с целью улучшения свойств почв и условий почвообразования для повышения плодородия. Осуществляется путем искусственного регулирования водного, воздушного, теплового, солевого, биохимического и физико-химического режимов почв. Насчитывается более 30 видов мелиорации (водная, фитомелиорация, химическая и др.).

2. В качестве пастбищ для животноводства. В мире для этих целей используется около 20 % территории суши. Обеспеченность пастбищными

угодьями с середины до конца прошлого века уменьшилась с 0,98 до 0,67 га/чел.

Пастбища и сенокосы делятся на культурные, мало отличающиеся от возделываемых земель (Европа, Австралия, Северная Америка), улучшенные (с подсевом трав) и естественные.

3. Как пространство для размещения производительных сил. Это земли под строениями, дорогами, горными выработками и т.д. Это до 2 % суши, а в отдельных регионах (например, Рур) этот показатель доходит до 60 %. Темп увеличения площади земель под этот вид использования составлял в конце XX в. около 2 % за 10 лет и тенденция эта сохраняется из-за роста численности населения, урбанизации, увеличения производительных сил.

Увеличиваются темпы отчуждения земель под инженерные сооружения. На строительство 1 км автострады требуется 2 га земли, 1 км газопровода — 4 га, одну нефтескважину — 2,5 га. На Курской магнитной аномалии открытыми горными выработками разрушено около 320 тыс. га. В мире более 3000 км² в год уходит под строительство. Рост площадей урбанизированных территорий часто происходит за счет продуктивных земель, особенно в РФ, где пригородные хозяйства традиционно имели высокий уровень технической оснащенности, квалифицированные кадры и избыток рабочей силы.

Пригодных для использования в целях сельского хозяйства свободных земель в мире почти не осталось. Не используемые человеком территории, на освоение которых требуются большие затраты, составляют до 50 % суши. По имеющимся расчетам, на каждого нового человека планеты при нынешнем уровне урожайности требуется 0,4 - 0,5 га для производства пищи и 0,1 га под жилище, дороги и другие нужды. Поэтому при дальнейшем росте народонаселения продовольственная проблема будет обостряться. Основные виды воздействия на фитоценозы перечислены в таблице 12.

Таблица 12 - Основные виды воздействия на фитоценозы в процессе различных видов землепользования

Форма землепользования	Последствия	Распространение растений
1	2	3
Промышленные и технические сооружения	Значительный подогрев замедление химическим веществам воздуха и воды, уплотнение почвы	Ограничение ареала или уничтожение видов естественной растительности. Распространение рудеральных (сорных) растений на слабо использованных свободных территориях (между зданиями, вдоль дорог)
Транспортные пути: улицы, дороги, площади	Подогрев, снижение увлажненности воздуха, уплотнение почвы, снижение влагоемкости и газообмена загрязнение солью, нефтью	Распространение рудеральных однолетников и солеустойчивых растений
Ж \ дорога	Перегрев, механическая нагрузка, загрязнение гербицидами	Рудеральные растения, предпочитающие, песчаные и гравийные субстраты, а также гербицидоустойчивые растения
Водные пути: реки, порты, каналы	Смягчение климата за счет благоприятной влажности воздуха, загрязнение сточными водами и нечистотами	Распространение болотных растений
Жилые и населенные пункты	Благоприятный тепловой режим, ограниченное загрязнение вредными веществами, накопление гумуса, удобрения, целенаправленное дополнительное увлажнение	Распространение рудеральных растений, одичание декоративных растений и особенно декоративных кустарников

Продолжение таблицы 12

1	2	3
Плотная сомкнутая застройка	Сильный нагрев, загрязнение воздуха газами или пылью	Сокращение ареала чувствительных видов, поселяющихся на обработанном камне и коре уличных деревьев (мхи и лишайники), появление и расширение ареала однолетних рудеральных видов, декоративных растений
Зелёные насаждения и рекреационные зоны	Благоприятный микроклимат, осаждение и связывание вредных веществ из воздуха. При чрезмерной эксплуатации - уплотнение почвы от вытаптывания	Распространяются многолетники из местной лесной флоры и одичавшие декоративные растения
Кладбище	Глубинное рыхление почвы и накопление гумуса	Распространяются теневые лесные растения, рудеральные кустарники и одичавшие декоративные растения
Мусорные свалки	Нагревание, уплотнение почвы, дефицит O ₂ в почве и ее отравление	Массовый рост рудеральных растений при вымирании чувствительных видов
Поля орошения	Высокая влажность воздуха, переувлажнение и уплотнение почвы, накопление гумуса, вредных веществ и ила	Распространяются влаголюбивые рудеральные растения на самих полях, а также в с-мах канав и отстойников

18 Биоиндикация загрязнения окружающей среды сельскохозяйственным производством

18.1 Проблема применения удобрений

Громадные избытки отходов сельскохозяйственного происхождения больше не возвращается на поля, как это происходило в традиционном земледелии. Эти продукты больше не включаются в природные круговороты веществ, а выбрасываются на свалки, где в результате их анаэробного брожения выделяются токсичные серные и аммонийные соединения, которые усиливают загрязнение почв.

Химические удобрения вводят в почву с целью увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. Вместе с урожаем из почвы изымается определенное количество питательных элементов: N₂, P, K и в меньшей степени: S, Ca, Mg и других элементов, из этого следует, что необходимо восстановить потерю путем внесения в почву фосфатов, нитратов, солей калия, в количестве, эквивалентном изъятому с урожаем. Для частичного восполнения запаса этих элементов в почве используют внесение минеральных и органических удобрений. Из наиболее часто используемых удобрений выделяют: селитры (соли азотной кислоты); мочевины, которая превращается в нитраты с помощью бактерий - нитрификаторов, присутствующих в почве; фосфор, чаще всего, употребляется в виде суперфосфатов; из калийных удобрений чаще всего применяют хлористый калий, в меньшей степени - калийную селитру и сильвинит (KCl · NaCl).

Из соображений экономии удобрения зачастую используются неочищенные или недостаточно очищенные, содержащие в качестве следовых

веществ многие тяжелые металлы, малоподвижные в почвенной среде. Например, суперфосфаты в виде примесей содержат (по убывающей): Zn, Cr, Cd, V, P, Ni, Cu, Co, As, Se.

Зачастую при внесении удобрений не соблюдается, так называемый, закон предельной урожайности: «Повышение урожайности имеет тенденцию к замедлению по мере того, как растет количество вносимого удобрения и на определенном этапе урожайность перестает возрастать».

Внесение в почву лишнего количества удобрений приводит к тому, что большая их часть, поглощаясь растениями, в тоже время не может включаться в процессы обмена. Например, при внесении в почву лишнего количества селитр, нитраты накапливаются в верхних частях растений, большая часть их превращается в нитриты, а это токсичные соли для живых организмов. При длительном хранении или при тепловой обработке часть нитритов превращается в канцерогенные нитрозамины.

Избыток удобрений угрожает не только здоровью человека, но подвергает опасности стабильность агроэкосистем, так как нарушается круговорот органических веществ, изменяется структура почв и демоэкологические показатели популяций на обрабатываемых площадях.

18.2 Средства химической защиты растений. Биоидикация пестицидного загрязнения

Химические средства защиты растений в целом называются пестицидами (от латинского *pestis* - разрушать, *cide*- убивать) и классифицируется по нескольким признакам, важнейшим из которых является объект воздействия.

В зависимости от объекта воздействия пестициды делятся на:

1. Инсектициды (insectum – насекомое) предназначены для уничтожения насекомых. Основной классификации инсектицидов по способу их проникновения в организм насекомого является способ питания вредителей, так, насекомые с грызущими ротовыми органами (саранчовые, жуки и их личинки, гусеницы бабочек, личинки перепончатокрылых) отравляются в процессе питания, когда яд попадает в организм через ротовые органы. Такие инсектициды называют кишечными ядами.

Насекомые с колюще-сосущим ротовым аппаратом (тли, клопы) отравляются при контакте ядов с поверхностью их тела или при проникновении последних в организм в виде паров или газов через органы дыхания. В первом случае яды относятся к контактными, во втором случае они называются фумигантами.

2. Гербициды (herba – трава) - для уничтожения сорняков.

Принцип действия большинства гербицидов основан на вызывании нарушений в зонах образовательных тканей растений (зонах роста). Гербициды, в свою очередь, по характеру воздействия делятся на три группы:

- а) дефолианты (для уничтожения листьев);
- б) десиканты (для уничтожения растений на корню);
- в) дефлоранты (для уничтожения цветов и завязей).

Применение десикантов для уничтожения листвы во Вьетнаме американской армией вызвало катастрофические нарушения в составе флоры и фауны мангровых лесов и отравления большого количества людей.

Симазин нарушает процессы усвоения CO_2 у чувствительных видов, они теряют способность к фотосинтезу и погибают. В настоящее время широко применяется для прополки кукурузы.

Пихлорам также широко применялся американской армией во Вьетнаме, это высокотоксичный гербицид, способный вызвать полное уничтожение чувствительных видов при распылении его в количестве 60 г\га площади. Американской армией он вносился в количестве 1,7 кг\га.

3. Нематоциды (nematoda – круглый червь) - для уничтожения паразитических червей.

4. Фунгициды (fungius –гриб) - для борьбы с паразитическими грибами.

5. Родентициды, зооциды (zoop – животное) - для борьбы с грызунами.

6. Лиматоциды (limatium – улитка) - для борьбы со слизнями.

Химическая классификация пестицидов проводится по содержанию в препаратах определенных элементов или по принадлежности их к определенному классу химических соединений. Например, инсектициды делятся на три основные группы:

- минеральные;
- растительного происхождения;
- органические синтезированные.

До XX в. применялись только первые две группы, после первой Мировой войны началось промышленное производство синтетических органических инсектицидов.

Различают два типа воздействия пестицидов на виды и биоценозы:

1. Демозкологическое. При высоких уровнях пестицида последствия его применения проявляются незамедлительно в вымирании определенной части особей, входящих в состав заражений популяции. Их количество прямо пропорционально дозе примененного вещества. Если уровень невелик, возникает хроническая интоксикация. Некоторые группы пестицидов обладают замедленным действием, они накапливаются в пищевой цепи до тех пор, пока их уровень в тканях объекта воздействия не достигнет критического уровня. Хроническая интоксикация может изменить коэффициент рождаемости, либо снизить жизнеспособность молодых особей.

2. Биоценотическое. Более сложное воздействия, которое может проявляться даже в том случае, если данное животное (растение) абсолютно не чувствительно к пестициду. Численность такой популяции может измениться из-за исчезновения растений или животных, которые служат пищей данному организму.

Разрушение гербицидами растения – хозяина вызывает гибель насекомых или других беспозвоночных, для которого данное растение служило пристанищем, или на котором они паразитировали.

Рост численности популяций также может быть обусловлен применением пестицидов. Исчезают конкурирующие виды. Исходная популяция интенсивно размножается, все более и более сокращая пищевые запасы, что влечет за собой последующий резкий спад численности популяции.

Пример: широкая кампания по борьбе с красными муравьями в США в конце 50-х годов привела к катастрофическим последствиям. В результате намеченная цель полного искоренения красных муравьев достигнута не была, но чрезвычайно пострадали птицы, рептилии, насекомые и некоторые рыбы, например, популяция судака из-за сноса пестицидов с дождевыми водами в ближайшие реки оказались на грани исчезновения.

Основными методами изучения влияния пестицидов на живые организмы являются сравнение их численности и видового состава на обработанных пестицидами и необработанных участках; выяснение скорости восстановления биоценозов после применения ядохимикатов; анализ погибших на обработанной территории животных на содержание пестицидов; установление особенностей и скорости разложения пестицидов в различных экологических условиях, их миграции и накопления в основных компонентах биогеоценоза и трофических цепях. Время разложения очень стойких химических веществ на нетоксичные компоненты составляет более 2 лет, стойких - 0,5-2 года, умеренно-стойких - 1-6 месяцев, малостойких - менее месяца.

Наибольшей токсичностью для живых организмов в среднем обладают родентициды, затем инсектициды, менее токсичны фунгициды и гербициды. Из всех, применяемых в настоящее время пестицидов, наиболее опасными считаются хлорорганические соединения. Они отличаются большой стойкостью и высокой токсичностью, особенно для водной фауны. Многие хлорорганические соединения длительное время сохраняются в почве. Их обнаруживают даже там, где они никогда не применялись. Например, остаточные количества ДДТ

обнаружены у позвоночных животных Антарктиды (рыбы, тюлени, пингвины, поморники). Обладая хорошей жирорастворимостью, хлорорганические пестициды накапливаются в живых организмах, проходя через пищевые цепи. Их влияние наиболее сильно проявляется в популяциях позвоночных животных. По мере возрастания содержания в теле остаточных количеств пестицидов позвоночные располагаются в следующем порядке: растительноядные - всеядные - хищные виды. Одним из лучших и надежных биоиндикаторов загрязнения обширных территорий хлорорганическими пестицидами являются хищные рыбаобразные птицы. Применение даже небольших доз хлорорганических инсектицидов вызывает истончение и повышенную ломкость скорлупы яиц с последующим снижением рождаемости дневных хищных птиц (пустельга, кобчик, сокол-сапсан, луни, черный коршун, тетеревятник, перепелятник и др.). При высоком загрязнении окружающей среды пестицидами вначале исчезают дневные хищники, рыбаобразные и околоводные птицы (скопа, серая цапля, выпь, поганка, кулики, чайки и др.), затем всеядные (исключая врановых) и, наконец, насекомоядные и растительноядные виды.

В водоемах эффективным индикатором загрязнения хлорорганическими соединениями являются моллюски, хищные рыбы, которые накапливают их в своем теле до 2500 мг/кг, что в 100-125 тыс. раз может превышать концентрацию препаратов в воде. При этом растительноядные рыбы содержат их в десять раз меньше, чем хищные. Недопустимо использование хлорорганических инсектицидов в борьбе с кровососущими комарами.

Дождевые черви накапливают в своем теле до 280 мг хлорорганических соединений. При скармливании птицам червей с их содержанием 2,9 мг/кг 50 % птиц гибнет в течение месяца.

Ртутьорганические соединения растворимы в жирах, хорошо всасываются и длительное время не выводятся из организма. Содержание ртутных соединений в хищных рыбах в 100-1000 раз выше, чем в воде, а в рыбаобразных птицах в 100 раз выше, чем в хищных рыбах. Индикатором уровня загрязнения окружающей среды ртутными соединениями является их содержание в птичьих

перьях. В Европе в течение 100 лет содержание ртути в перьях куропатки, дневных хищников и других птиц возросло в 10-20 раз.

Обработка полей фосфорорганическими инсектицидами также приводит к массовой гибели позвоночных, особенно птиц, контактировавших с обработанной растительностью и питавшихся насекомыми на обработанных участках. В первые дни после обработки численность птиц снижается на 30-75 %. Однако численность позвоночных при использовании фосфорорганических соединений восстанавливается значительно быстрее, чем при обработке растений хлорорганическими пестицидами. Они быстрее разлагаются и выводятся из организма.

Гербициды сравнительно быстро разлагаются в почве бактериями и актиномицетами и в рекомендуемых дозах не оказывают значительного отрицательного влияния на почвенную микрофлору. Индикаторами загрязнения почв гербицидами являются панцирный клещ *Tectocephus velatus*, ногохвостки *Isotoma notabilis*, *Pseudosinella alba* (Каплин).

В почвах, загрязненных пестицидами, многие позвоночные животные накапливают их в количествах, во много раз превышающих уровень пестицидов в почве. Это процесс бионакопления.

Вещества с пониженной растворимостью (менее 0,1 мг\л) обладают более высокой способностью накопления биологическим путем. Например, если уровень в почве такого слабо растворимого пестицида, как диэдрин от 0,01 – 3,5 мг\кг почвы, то уровень в теле почвенных животных будет примерно следующий: дождевые черви - 0,4 – 11,0 мг\кг; слизни - 0,1- 11,5 мг\кг; улитки - 2,0 – 7,5 мг\кг сырого веса.

Способность поглощения остаточных количеств пестицидов растениями зависит от:

- вида пестицида;
- вида растения;
- типа почвы.

Наиболее легко пестициды поглощаются из песчаных почв и с трудом из торфяных почв, содержащих большое количество органического вещества.

В настоящее время разработаны математические методы прогнозирования накопления и разложения пестицидов в агроценозе, позволяющие определить уровень данного пестицида в почве в определенный момент времени.

На основании определенных критериев установлена бальная шкала, по которой пестициды делятся на группы. Критериями для определения степени токсичности служат следующие показатели (таблица 13).

Таблица 13 - Бальная система оценки токсичности пестицидов

Критерии оценки	Баллы
1	2
1. Устойчивость в почве: - менее 1 месяца - от 1 до 6 месяцев - от 6 до 24 месяцев - более 24 месяцев	2 4 6 8
2. Влияние на процессы ферментации и биологическую активность почвы: - не оказывает влияния - воздействует на отдельные процессы и популяции - воздействует на многие популяции	0 1 2
3. Проникновение по профилю почвы (в см): - не проникает - до 15 см - до 50 см - более 50 см	0 1 2 3
4. Перемещение из почвы в культурные растения и фитотоксичные воздействия: - не адсорбируется растениями - адсорбируется, но не воздействует - адсорбируется и снижает качество урожая - адсорбируется, снижает качество урожая и отравляет растения	0 1 2 3
5. Реакция на действие фотохимического разложения: - разлагается фотохимически - устойчив	0 1

Продолжение таблицы 13

1	2
6. Оценка по максимально допустимому содержанию в урожае, мг\кг - > 1 - от 1 до 0,1 - от 0,1 до 0,01 - менее 0,01 - 0	0 1 2 3 4
7. Воздействие на органолептические свойства с\х продукции: - не воздействует - воздействует	0 1
8. Летучесть: - не улетучивается - улетучивается	0 1

1. Самые токсичные – 21 балл;
2. Среднетоксичные - 20-14 баллов;
3. Относительно слаботоксичные – менее 13 баллов.

19 Биоиндикация загрязнения окружающей среды отдельными загрязняющими веществами

19.1 Состав кислотного дождя и воздействие его компонентов на биоту

Воздух представляет собой смесь газов и загрязняющих веществ природного происхождения, наряду с которыми присутствуют антропогенные примеси, образующиеся в результате сжигания ископаемого топлива в стационарных и мобильных источниках, а также выбрасываемые различными перерабатывающими и производственными предприятиями.

Многие растения реагируют на присутствие в воздухе газообразных и твердых веществ, причем на такие концентрации этих веществ в атмосфере, которые не вызывают реакции человека и животных, и эти реакции можно прогнозировать (таблица 15).

Таблица 15 - Токсичность загрязнителей воздуха для растений
(Бондаренко, 1985)

Вредные вещества	Характеристика
Диоксид серы	Основной загрязнитель, яд для ассимиляционных органов растений, действует на расстоянии до 30 км
Фтористый водород и четырехфтористый кремний	Токсичны даже в небольших количествах, склонны к образованию аэрозолей, действуют на расстоянии до 5 км
Хлор, хлористый водород	Повреждают в основном на близком расстоянии
Соединения свинца, углеводороды, оксид углерода, оксиды азота	Заражают растительность в районах высокой концентрации промышленности и транспорта
Сероводород	Клеточный и ферментный яд
Аммиак	Повреждает растения на близком расстоянии

Концентрация загрязняющих веществ и их распространение зависят от метеорологических условий, от количества поступающей от Солнца энергии и от сложной комбинации химических процессов, происходящих в атмосфере в результате поступления в нее продуктов сгорания.

Растения способны реагировать на загрязнение атмосферы за счет того, что поверхность листьев растений выполняет роль живого фильтра. При этом важны влажность и липкость собирающего покрова, наличие особых образований - ворсинок, волосков, изрезанности края листовой пластинки.

Реакция растений-индикаторов на содержание в атмосферном воздухе загрязняющих веществ выражается следующими морфо-физиологическими изменениями:

- изменением активности ферментных систем;
- аккумуляцией метаболитов в молодых листьях и побегах;
- нарушением процесса фотосинтеза;
- некрозом тканей;
- изменением окраски листьев;
- хлорозом листьев;
- нарушением роста корневой системы;
- ингибированием репродуктивного процесса;
- преждевременным старением растения.

Согласно литературным данным, адаптация растений к раздражителям антропогенного происхождения в окружающей среде осуществляется следующими способами:

- ксерофитизацией, выражающейся в утолщении кутикулы, увеличении волосков, появлении воскового покрова и т.д., в результате чего уменьшаются скорость поступления токсичных веществ и их количество;

- физиологической адаптацией - повышением эффективности действия механизмов детоксикации и накопления токсикантов путем использования их в процессе обмена веществ либо полным выведением из организма за счет большой катионанионной емкости;

- естественным отбором; заполнение экотопа происходит наиболее хемотропными растениями.

Уровень способности к адаптации обуславливает различную чувствительность отдельных видов к тем или иным загрязнителям (таблица 16).

Загрязнение природной среды привело к повышению кислотности осадков не только в промышленных районах, но и фоновых. Одним из аспектов этой проблемы является воздействие кислотных осадков на почву, приводящее к целому ряду глубоких изменений свойств почв и вследствие этого к изменениям состава биоты суши.

Одним из наиболее важных процессов, происходящих в почве под действием кислотных осадков, т.е. осадков с $pH < 5,6$ является обмен катионов.

Уменьшение pH почвенного раствора приводит к появлению в ней в свободном, а значит доступном для растений состоянии токсичных металлов - Al, Fe, Mn. На кислых почвах важным фактором, ограничивающим рост растений,

Таблица 16 - Относительная чувствительность растений к воздействию загрязнителей воздуха (В.И. Коробкин, 2000)

Вид растений	Диоксид серы	Оксиды азота	Озон
Пихта серебристая	Ч	П	Ч
Лиственница европейская	П	Ч	П
Лиственница японская	У	Ч	П
Береза европейская	П	Ч	П
Бук европейский	П	У	У
Акация черная	У	У	У
Липа узколистная	У	У	У
Люцерна	Ч	Ч	Ч
Картофель	У	П	Ч
Огурцы	Ч	-	П
Капуста	У	Ч	П
Морковь	Ч	Ч	П
Помидоры	Ч	П	Ч
Горох	Ч	Ч	П
Яблоня	Ч	Ч	П

Примечание: У - устойчивые, Ч - чувствительные, П - промежуточной чувствительности.

является высокое содержание Al, однако действие кислотных осадков может быть скомпенсировано буферностью почвы (таблица 17).

Таблица 17 - Чувствительность к кислотным осадкам почв разного типа

Тип почвы	Буферность	Вредное влияние
Известковая	очень высокая	нет
Глинистая	высокая	умеренное
Песчаная	низкая	заметное
Культурная	высокая	отсутствует
Кислые	умеренное	слабое

19.2 Соединения серы

Сера – очень активный химический элемент, она мигрирует в разных валентных состояниях в зависимости от окислительно - восстановительных условий среды.

Живые организмы по-разному относятся к возрастанию уровня серы в окружающей среде и в собственном организме.

Так, пищевые железы некоторых моллюсков выделяют жидкость, содержащую до 4 % H_2SO_4 ;

Много серы входит в состав корненожек (класс амёб), которые состоят преимущественно из сернокислого бария.

В морских областях, лишенных свободного доступа O₂, размножаются сульфатредуцирующие бактерии, восстанавливающие сульфаты морской воды до сероводорода, некоторые из них могут сероводород преобразовать в элементарную серу

Двуокись серы. Сернистый ангидрит (SO₂) — широко известное своими фитотоксичными свойствами загрязняющее воздух вещество. Образуется SO₂ при сгорании ископаемого топлива, при производстве серной кислоты, удобрений, резины, пластмасс. Двуокись серы, попадая в листья через устьица, окисляется до высокотоксичного соединения — сульфита (SO₃), а затем медленно превращается в сульфат (SO₄) — значительно менее токсичное соединение. В таблице 18 представлены некоторые растения, чувствительные к действию SO₂ и их ответная реакция на это действие в естественных условиях.

Для определения повреждения растений SO₂ необходимо иметь четкое представление о том, на каком этапе вегетационного периода они наиболее чувствительны к воздействию двуокиси серы в естественных условиях (таблица 19).

Таблица 18 - Растения, чувствительные к действию SO₂ и их ответная реакция в естественных условиях (V. Мэннинг, 1985)

Растения	Реакция
Лиственные многокостянковые: Ежевика; Малина	Междужилковое обесцвечивание с побурением
Орляк обыкновенный	Красноватый некроз по краям
Древесные многолетние: Береза вишневая; Ясень американский	Междужилковое и краевое обесцвечивание
Вечнозеленые: Сосна черная австрийская; Сосна обыкновенная; Сосна Веймутова	Некротические полосы на хвоинках Побурение кончиков хвоинок
Ели: Ель колючая; Ель европейская	Хвоя буреет и опадает

Таблица 19 - Биоиндикаторы, чувствительные к воздействию атмосферной двуокиси серы в связи с временем вегетационного периода (У. Мэннинг, 1985)

Времена года	Название биоиндикатора
Весна и раннее лето	Мятлик однолетний (<i>Poa annua</i> L.) Горчица (<i>Brassica</i> spp.) Фиалка (<i>Viola</i> spp.) Цинния (<i>Zinnia elegans</i> Jacq.) Папоротник орляк (<i>Pteridium</i> spp.) Ежевика и малина (<i>Rubus</i> spp.) Виноград лисий (<i>Vitis vulpine</i> L.) Яблоня дикая и яблоня (<i>Malus</i> spp.) Тополь осинообразный (<i>Populus tremuloides</i> Michx.) Ясень американский (<i>Fraxinus Americana</i> L.) Береза плакучая (<i>Betula pendula</i> Roth.)
Лето	Люцерна (<i>Medicago saliva</i> L.) Ячмень (<i>Hordeum vulgare</i> L.) Гречиха (<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench.) Салат эндивий (<i>Cichorium endiva</i> L.) Тыква пепо (<i>Cucurbita pepo</i> L.) Тыквы (<i>Cucurbita</i> spp.)
Позднее лето	Сосна Веймугова (<i>Pinus strobes</i> L.) Сосна Банка (<i>Pinus banksiana</i> Lamb.) Ель европейская (<i>Picea abies</i> L.)

Повышенная чувствительность лишайников к содержанию в воде SO₂ послужила основой для использования их в качестве биоиндикаторов – лишеноиндикация.

Показателем может служить количество и состав лишенофлоры, например, в окрестностях цинкоплавильного завода произрастает 65 видов лишайников, а вокруг самого завода только пять.

Предложены специальные формулы для расчета индекса атмосферного загрязнения по числу видов лишайников и частоте их встречаемости. В крупных городах проведено картирование распространения лишайников в разных районах.

В точках вокруг предприятий на таких картах обычно находится так называемая лишайниковая пустыня, затем располагается зона борьбы, в которой способны выжить лишь немногие виды, да и то в угнетенном или мутированном состоянии и лишь на окраине города или в пригородах начинается зона ненарушаемого роста.

Высокая чувствительность лишайников к загрязнению воздуха обусловлена следующими причинами:

а) у них нет кутикулы (защитная пленка на листьях, состоящая из воскоподобных веществ) чем глянцевер лист, тем больше кутикулы;

б) большинство токсичных газов концентрируются в дождевой воде, а лишайники впитывают всей поверхностью тела;

в) большинство цветковых растений в средних широтах активны только летом, когда уровень загрязнения ниже, а лишайники продолжают расти при температуре ниже нуля;

г) лишайники как растения, имеющие листья, не могут избавляться от пораженных ядовитыми веществами частей своего тела.

Отмечается повышенная чувствительность к SO_2 у деревьев хвойных пород по возрастающей:

Ель → пихта → сосна → лиственница

Продолжительность жизни хвои сосны в норме составляет 3 – 4 года, при постоянном загрязнении воздуха SO_2 она снижается до 1 года. Хвоя сосны образует на своей поверхности тем более толстый слой воска, чем выше уровень или продолжительность воздействия на нее SO_2 .

При повышении уровня в воздухе SO_2 хвоя хвойных деревьев выделяет в окружающую среду повышенное содержание этилена и фенольных соединений.

Двуокись серы может поступать в растения через устьица листьев или в составе сульфат ионов из почвы. Это может приводить к:

а) разрушению хлорофилла. Серная кислота, образовавшаяся после растворения проникшей в лист двуокиси серы, вызывает разрушение хлорофилла и резкое снижение интенсивности фотосинтеза. Подавление фотосинтеза усиливается также за счет конкуренции углекислого газа и при поступлении его клетку.

б) недоразвитию пыльцевых зерен, т. е. стерильности;

в) угнетению проводящей системы.

Повреждение листьев SO_2 проявляется в их: хлорозе; возникновении ожогов; сморщенности лиственной пластинки с последующим отмиранием и опаданием.

Молодые листья растений активнее поглощает SO_2 из воздуха, чем старые. В радиусе 2 - 3 км сернистый ангидрид вызывает снижение урожайности клевера на 15 %, а льна на 66 %.

Обработка огурцов и тыквы SO_2 приводит к выделению ими этилена и этана, из этого следует, что продукты теряют свою съедобность.

При повышенном содержании SO_2 в воздухе на листьях дуба вырастают галлы.

За вегетационный период газопоглотительная способность отдельных лиственных деревьев и кустарников в пересчете на сухое вещество 10 кг листы и 3 кг листьев кустарника равно (в граммах): все виды тополя – от 150 до 200; ясень зеленый – 140; вяз гладкий – 120; липа мелколистная – 100; сирень обыкновенная – 30; акация желтая – 18; барбарис обыкновенный – 12.

Различие в газопоглотительной способности растений необходимо учитывать при создании санитарно-защитных зон и организации природного пространства.

Некоторые виды (например, почти все виды клена) имеют низкую газопоглотительную способность и высокую устойчивость к SO_2 , их рекомендуют применять в посадках, принимающих на себя высококонцентрированные газовые потоки.

Сероводород. Попадает в среду с выбросами коксохимических производств, при производстве искусственных волокон из вискозы и целлюлозы, в результате работы каменноугольных шахт, нефтепромыслов, нефтеперерабатывающих и газовых заводов.

Признаки отравления растений H_2S :

- а) потеря листьями тургора;
- б) появление светло-желтых и буро-черных пятен в середине листовой пластинки.

Молодые листья гораздо более чувствительны к H_2S , чем старые, если присутствует высокий уровень токсичности для растений. Низкие концентрации могут повышать темпы их роста. В растениях сероводород может окисляться до сульфата и в таком виде либо накапливаться в листьях, либо (если присутствует в физиологических уровнях), подвергается дальнейшему превращению с образованием серосодержащих аминокислот.

19.3 Окислы азота

Большая часть этих соединений выбрасывается теплоэнергетическими установками, предприятиями по производству азотных удобрений, азотной и азотистой кислот, красителей, вискозы, фотопленки, нитросоединений. Выделяются окислы N_2 и двигателями сверх звуковых самолетов.

Для растений окислы азота менее ядовиты, чем двуокись серы, NO_2 в 1,5 - 5 раз менее токсичен, чем SO_2 .

Признаки отравления NO_2 :

- 1) периферические повреждения листьев, скручивание их во внутрь с дальнейшим некрозом и отмиранием;
- 2) при хроническом действии двуокиси у многих растений появляются признаки ксерофитизма;

3) NO_2 даже в малых уровнях вызывает нарушение азотного обмена у растений.

NO_2 поглощается растениями в три раза больше, чем NO . По интенсивности поглощения и включения двуокиси в азотсодержащие соединения можно выделить по убыванию следующие растения: сосна эльдарская, ясени, клен американский, сосна черная, дубы, яблоня обыкновенная, райграсы.

Двуокись азота усваивается корнями растений и всей поверхностью молодых земных побегов. В растении происходят следующие изменения:

$\text{NO}_2 \rightarrow \text{HNO}_2 \rightarrow \text{HNO}_3 \rightarrow$ нейтрализация с помощью Na^+ и $\text{K}^+ \rightarrow$ аминокислоты (уровень NO_2 в рамках физиологического).

19.4 Озон

При описании основных загрязняющих веществ атмосферного воздуха в первую очередь необходимо обратить внимание на основные газовые компоненты фотохимического смога, в частности озон (O_3).

Озон (O_3) - газообразное вещество, в природе образующееся в результате сложной реакции с участием окислов азота при условии солнечной инсоляции.

Широко применяется для дезинфекции и дезодорации дурно пахнущих газов и жидкостей, а также для очистки промышленных стоков и отбеливания тканей. Озонированный воздух отличается особой чистотой и свежестью, но при повышении уровня O_3 становится токсичным. Для человека вредным считается уровень $\text{O}_3 = 0,2 \text{ мг/м}^3$.

Озон попадает в листья через открытые устьица в процессе обычного газообмена между растениями и окружающей средой.

Признаки повреждения растений озоном различны и зависят от вида растения, концентрации озона, времени экспозиции и т.п (таблица 20). Общие признаки повреждения индикаторных растений следующие:

- повреждение клеток палисадной паренхимы;
- гибель клеток мезофилла;
- изменение естественной окраски листьев (от металлической до белой);
- хлороз, преждевременное старение и опадение листьев.

Таблица 20 - Растения, чувствительные к воздействию озона

Растения	Типичные признаки
Ясень (Fraxinus)	
Фасоль (Phaseolus)	Белые точки, пурпурная бронзовость
Огурец(Cucumis)	Бронзовость, хлороз
Виноград (Vitis)	Белые точки
Ипомея (Ipomoea)	Точки от красно-коричневых до черных
Лук (Allium)	Коричневые пятна, хлороз
Сосна (Pinus)	Белые пятна, обесцвеченные концы
Картофель(Solanum)	Концы игл имеют желтовато-коричневый цвет
Шпинат (Spinacia)	Серые, металлического оттенка пятна
Табак (Nicotiana)	Серо-белые пятна, бело-серые пятна
Арбуз (Citrullus)	Серые, металлического оттенка пятна

Наиболее чувствительны по отношению к Оз:

- виноград;
- citrusовые;
- табак;
- шпинат;
- редис;

- картофель;
- томаты;
- люцерна.

При повреждении Оз виноградников на верхней стороне взрослых листьев возникают темно - коричневые пятна. Старые листья повреждаются сильнее молодых. У клевера при отравлении Оз площадь листовой площадки сокращается на 50 %, у райграса на 35 %. У большинства растений при воздействии Оз листья повреждаются следующим образом - происходит постепенное изменение окраски: серебристо - глянцевая → хлоротичная с некротическими пятнами → кончики листьев обесцвечиваются и становятся белыми.

Озон оказывает влияние на столбчатый мезофилл. Первым симптомом внутриклеточного симптома повреждения является разрушение хлоропластов и скопление их в общую гомогенную массу.

Озон влияет не только на фотосинтез, но и на распределение его продуктов.

Воздействие Оз в течении 120 минут приводит к ослаблению дыхания у большинства растений на 60 %. Потеря урожая картофеля при этом может достигать 50 %. Одним из характерных признаков действия Оз является ингибирование прорастания пыльцы (биотест на Оз).

Обнаружить присутствие Оз в значительных уровнях возможно также по уменьшению хлорофилла в листьях фасоли.

19.5 Фтор и его соединения

Соединения фтора выбрасываются алюминиевыми и креалитовыми заводами; предприятиями, производящими фосфорные и керамические изделия.

В атмосфере фтор встречается в виде газа, твердой примеси или в виде газообразного фторида, адсорбированного другой твердой примесью.

Симптомы отравления соединениями фтора:

- хлороз с отмиранием листьев;
- у хвойных побеление, а затем потемнение концов игл;
- у широколиственных вырастающие на месте опавших листья гораздо меньших размеров;

При недостатке влаги в почве, низкой освещаемости и невысокой температуре повреждения бобовых растений от фтористого водорода гораздо меньше, чем при благополучных для растений условиях, отчасти это можно объяснить тем, что в этом случае устьица максимально закрыты.

Известен целый ряд высших растений, чувствительных или невосприимчивых к действию атмосферных фторидов (таблица 21).

Таблица 21 - Растения, чувствительные и невосприимчивые к действию HF в естественных условиях (У. Мэннинг, 1985)

Чувствительность растений	Название растения
Очень чувствительные растения	Абрикос, Лжетсуга тиссолистная, Фрезия, Гладиолус.
Среднечувствительные растения	Сосна обыкновенная, Сосна желтая, Ель: Энгельманна; обыкновенная; сербская; ситхинская.
Толерантные и невосприимчивые растения	Лиственница европейская, Пихта: благородная; одноцветная; Тсуга западная.

Как и в случае некоторых других загрязняющих веществ, определение присутствия фторидов в воздухе только по признакам повреждения растений проблематично (таблица 22).

Таблица 22 - Относительные преимущества и недостатки использования растений для биомониторинга фторидов (У. Мэннинг, 1985, с изменениями)

Преимущества	Недостатки
1. Существует множество высших растений, чувствительных к фторидам.	1. Чувствительные растения следует выращивать в оранжерее, в воздухе которой отсутствуют фториды, а затем пересаживать в естественные условия.
2. Чувствительные растения характерным образом реагируют на известные концентрации фторидов	2. Ответная реакция на воздействие фторидов у чувствительных растений проявляется не сразу.
3. Концентрацию фторидов в растениях можно точно определить.	3. По признакам нельзя определить дозу по следующим причинам: а) часть фторидов смывается дождем; б) часть фторидов может быть преобразована в менее вредные формы самим растением; в) состояние питательной системы растения может влиять на проявление признаков.
4. Можно установить зависимость между пунктами 2 и 3.	
5. При увеличении концентрации фторидов в растениях и воздухе признаки повреждения проявляются более ярко.	

В атмосферу фтор поступает в значительных количествах с выбросами плавильных заводов и других промышленных предприятий, использующих алюминий.

Есть растения-лидеры, «замечающие» минимальные изменения воздушной среды. Не случайно в некоторых странах бегонию высаживают вдоль автострад. Она «регистрирует» повышенные концентрации углекислого газа доступным ей способом - точками, пятнами, затем и дырами в листьях.

В заключение следует отметить, что достаточно большое число растений потенциально может служить биомониторами фотохимических оксидантов в

окружающей среде, но схемы мониторинга в достаточной степени разработаны лишь для немногих видов растительных организмов (таблица 23).

Таблица 23 - Преимущества и недостатки применения растений для биомониторинга оксидантов (У. Мэннинг, 1985, с изменениями)

Преимущества	Недостатки
1. Многие виды растений чувствительны к воздействию оксидантов.	1. Эдафические и экологические факторы могут влиять на реакцию растения на воздействие токсикантов.
2. Некоторые виды растений реагируют на воздействие оксидантов весьма специфически.	2. Сильная зависимость от симптоматики может привести к ошибкам в определении повреждения растений-биомониторов.
3. Ответные реакции растений можно иногда соотнести с концентрацией загрязняющего вещества в окружающей среде.	3. Более тщательная количественная оценка ответных реакций растений на действие загрязняющих веществ необходима для того, чтобы можно было судить о взаимосвязи «доза - ответная реакция».
4. Некоторые растения отличаются только по их чувствительности к воздействию поллютантов.	4. Необходимы лучшие биомониторы токсикантов.
5. Биомониторинг с помощью растений легко осуществить, и он дешевле, чем использование дорогих приборов в системе мониторинга.	5. Нельзя полностью отказаться от приборов, учитывая необходимость данных о концентрации загрязнителей в окружающей среде.

19.6 Тяжелые металлы

К тяжелым относятся металлы, плотность которых выше 5 г/см^3 . По содержанию в животных и растениях они входят преимущественно в группу микроэлементов (10^{-3} - 10^{-5} %). В повышенных концентрациях они обладают высокой токсичностью, выступают в качестве мутагенных и канцерогенных факторов. Наряду с долгоживущими радионуклидами, многими тысячами органических веществ, преимущественно синтетического происхождения, тяжелые металлы входят в состав основных экотоксикантов Земли. За счет антропогенных загрязнений концентрация кадмия в окружающей среде превышает почти в 9 раз, меди - в 3, никеля - в 2, свинца - более, чем в 18, цинка - в 7 раз их содержание в естественных условиях. Только от металлургических предприятий на поверхность земли ежегодно поступает меди не менее 154,6 тыс. тонн, цинка - 121,5, свинца - 89,0, никеля - 12,0, кобальта - 0,8, молибдена - 1,5, ртути - 0,03; вследствие сжигания угля и нефти ежегодно выпадает ртути - 1,6, свинца - 36,0, меди - 2,1, цинка - 0,7, никеля - 3,7; с выхлопными газами автотранспорта на поверхность Земли ежегодно выбрасывается свинца - 260,0 тыс. тонн. В настоящее время более чем в 100 городах России, где проживает свыше 70 млн. человек, ПДК токсических тяжелых металлов превышает пятикратную величину. В живых организмах тяжелые металлы в избыточном количестве вызывают нарушения биохимических процессов обмена веществ, подавляя или активируя деятельность многих ферментов. Тяжелые металлы представляют наибольшую угрозу для первых стадий развития сельскохозяйственных растений (проростков, всходов). Под их действием ухудшается рост корней, побегов, происходит некроз листьев. Не рекомендуется выращивать сельскохозяйственные культуры на расстоянии менее 5-7 км от источников выбросов тяжелых металлов как в открытом, так и в закрытом грунте. В зоне выбросов предприятий цветной металлургии почва становится токсичной для выращивания растений уже через 4 года. Тяжелые металлы, поступающие на поверхность почвы, накапливаются в

почвенной толще, особенно в верхних гумусовых горизонтах и медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции. Первый период полуудаления (удаления половины от начальной концентрации) тяжелых металлов значительно варьирует для различных элементов и составляет для Zn - 70-310, Си - 310-1500, Cd - 13-110, Pb - 740-5900 лет.

Токсичность тяжелых металлов определяется не столько их свойствами как химических элементов, сколько способностью образовать комплексные соединения с аминокислотами, нуклеиновыми кислотами и другими соединениями.

По этому принципу предложено деление тяжелых металлы на 3 группы:

- 1) Наименее токсичными оказываются металлы “жесткого класса”, образующие прочные комплексы, быстро выводящихся из организма (Cr, Co, Fe, Al, олово);
- 2) Наиболее токсичные металлы “мягкого” класса (серебро, золото);
- 3) Все остальные металлы относятся к средней группе.

Наибольшее внимания заслуживают металлы, попадающие в окружающую среду при эксплуатации автомобильного транспорта. Эти металлы также делятся на 3 группы:

- 1) металлы, повышенное содержание которых в почвах придорожных территорий слабо связано с влиянием автомобильного транспорта;
- 2) металлы, содержание которых в почве и растениях придорожной территории зависит от расстояния от автодороги, но мало определяется интенсивностью движения (Co, Pb, Zn, Cd, Fe);
- 3) металлы, содержание которых зависит как от растения до дорожного полотна, так и от транспортной нагрузки (Cr, Mo, Cu).

Среди тяжелых металлов 13 металлов (Be, Ai, Cr, As, Se, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Te, Pb) токсичны во всех своих водо-, щелоче-, кислоторастворимых соединениях. Среди них группу неорганических экотоксинов возглавляют кадмий, свинец и ртуть (Пурмаль, 1998).

Концентрация тяжелых металлов в растениях в значительной мере зависит от их содержания в почве, а в теле животных - от их количества в пище. Имеют значение также видовые особенности растений и животных.

Животные поглощают только подвижные формы элементов, и поэтому концентрация загрязнителя в животных будет отражать фактическую загрязненность экосистемы, а не потенциальную, которую получают при определении концентрации загрязнителя в почве или растениях.

Загрязнение территории выбросами тяжелых металлов от точечного источника определяется многими факторами, среди которых ключевыми являются мощность источника, высота его над рельефом, состав и температура отходящих газов, спектр примесей, внешние условия рассеивания, тип ландшафта и др. Например, для предприятия цветной металлургии, расположенного в лесной зоне, воздействие загрязнения на прилегающую территорию может быть оценено **интегральным коэффициентом сохранности экосистем (ИКС)**, максимальное значение которого (ИКС равняется 100 %) соответствует ненарушенному биогеоценозу.

В рассчитанном «ореоле» загрязнения (рисунок 3) выделены пять зон нарушения экосистем. Первая зона – **техногенная пустошь**, где природная система полностью разрушена (ИКС равняется 0). Во второй зоне **сильно нарушенных экосистем** имеется мертвопокровный березняк, возобновление хвойных деревьев отсутствует. Третья и четвертая зоны характеризуются **упрощением структуры лесного сообщества**, где в числе первых исчезает мохово-лишайниковый ярус. В пятой зоне **начальной деградации экосистем** структура фитоценоза сохраняется, но все показатели снижены.

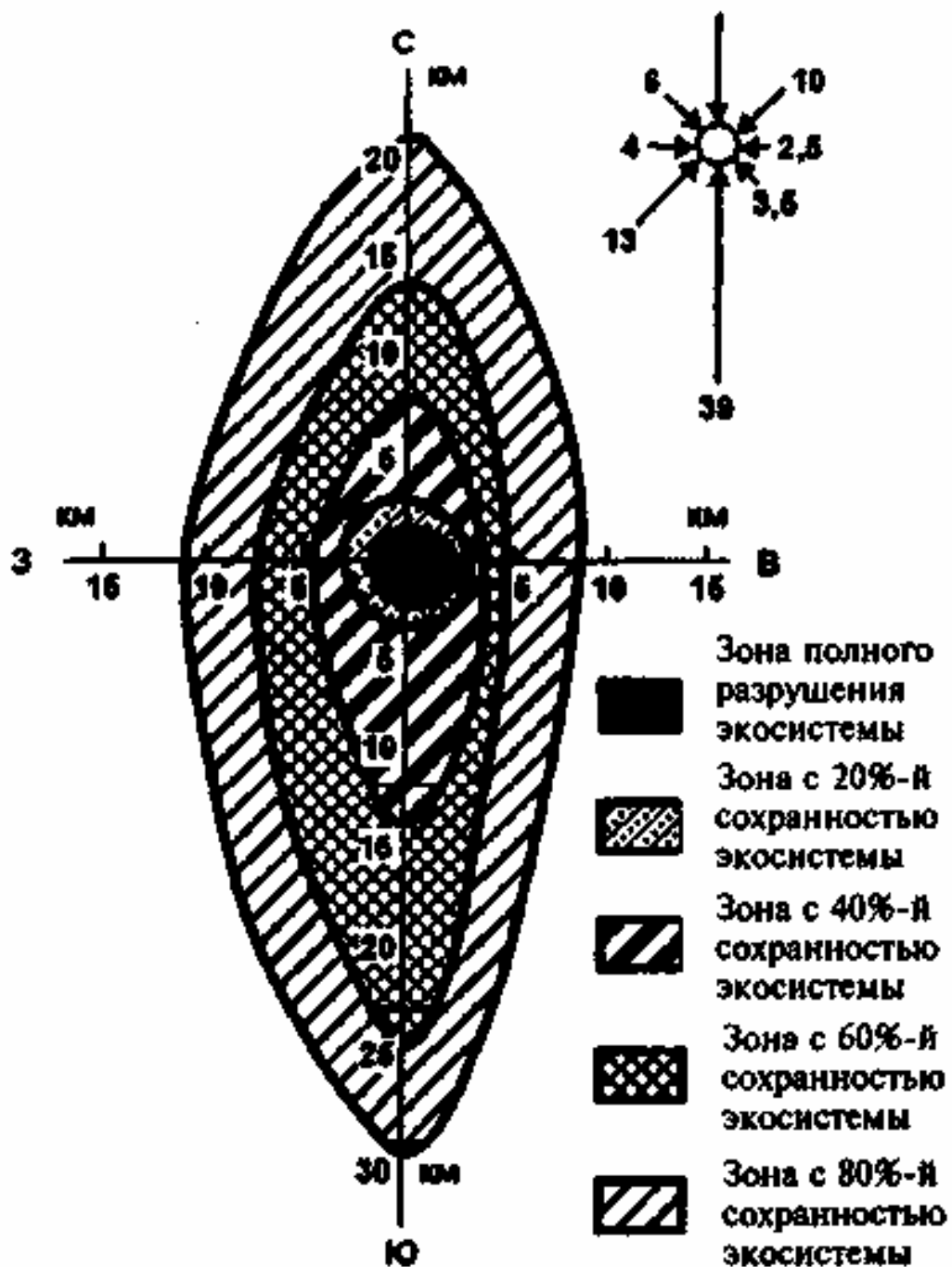


Рисунок 3 - Поле загрязнения и оценка сохранности экосистем в окрестностях металлургического предприятия

Эффективным индикатором загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами является содержание их в организме позвоночных животных, особенно млекопитающих, а также почвенных беспозвоночных. При выборе видов позвоночных в качестве биоиндикаторов необходимо руководствоваться следующими критериями:

1. Выбранные виды должны принадлежать к разным звеньям трофодинамической цепи. Степень концентрации тяжелых металлов и многих других токсикантов постепенно увеличивается от биокосной среды (почвы) к автотрофам (зеленым растениям) и далее к гетеротрофам, достигая максимума в организмах крупных хищников. Следовательно, для биоиндикации необходимо отобрать представителей растительноядных (зерноядных), насекомоядных, хищных позвоночных.

2. У избранных видов должны отсутствовать большие миграции, так как накопление токсичных веществ в организме прямо пропорционально уровню загрязнения окружающей среды.

3. Для сравнимости данных по различным районам лучше брать для анализа особи одних и тех же видов с широкими ареалами.

4. Виды должны обладать сравнительно высокой эвритопностью, то есть встречаться в различных местообитаниях.

5. Желательно использовать виды, живущие в естественных сообществах, не связанные с человеком.

6. Виды должны быть сравнительно многочисленными, легко добываемыми. В водоемах этим требованиям удовлетворяет следующая цепь: вододонный грунт - водные растения - водные беспозвоночные - плотва - судак. Судак - повсеместно одна из самых загрязненных рыб. Лучшим индикатором из земноводных является зеленая жаба, пресмыкающихся - прыткая ящерица, питающиеся наземными беспозвоночными. Птицы - наиболее подвижные позвоночные, многие из них улетают на зимовку. В связи с этим они мало пригодны для целей мониторинга загрязнения среды обитания. Более перспективны в этом отношении оседлые виды.

Среди млекопитающих в европейской части России названным критериям больше всего удовлетворяют, обыкновенная бурозубка, европейский крот, рыжая и красная полевки. Тяжелые металлы у них больше всего накапливаются в легких, печени, почках, костях, шкуре. Отобранные в лаборатории для анализа органы и ткани необходимо сразу высушить в сушильном шкафу при 105°C и хранить в стеклянных бюксах, пергаментных или крафтовых пакетах.

Для целей биоиндикации большой интерес представляет почвенная фауна, составляющая 90-99 % биомассы и 95 % всех видов животных, входящих в наземный биоценоз.

Свинец и кадмий. Объем современного производства свинца составляет более 2,5 млн. т. в год. В результате производственной деятельности в природные воды ежегодно попадает 500-600 тыс. тонн свинца, а через атмосферу на поверхность земли его оседает около 450 тыс. тонн. В воздух основная часть свинца (260 тыс. тонн) выбрасывается с выхлопными газами автотранспорта, меньшая (30 тыс. тонн) - при сжигании каменного угля. Ежегодный прирост содержания свинца в воздухе – 5 %, а удвоение его количества в воздухе происходит за 14 лет. Величина ПДК свинца в воздухе - 3 мкг/м³, почве - 20 мг/кг, воде - 0,03 мг/л. Среднее содержание свинца в большинстве растений - 2-3 мг/кг. С растительной пищей свинец попадает в организм животных и человека. У позвоночных животных свыше 90 % всосавшегося свинца фиксируется в костях, а также во внутренних органах. При неполноценном питании поступление свинца в кровь увеличивается. Содержание этого тяжелого металла в хлорированной водопроводной воде больше, чем в нехлорированной.

В случае повышения его концентрации в почве, свинец поглощается через корни растений пассивно и переносится в наземные органы, где аккумулируется.

Не меньшую роль в загрязнении растений свинцом играет и аэрозольный путь его поступления. Свинецсодержащий аэрозоль попадает на листья, где закрепляется в виде пленки, 15 – 30 % которой смывается, оставшаяся часть

металла проникает внутрь листа через устьица. В настоящее время выявлены закономерности поглощения свинца и кадмия растениями. Установлено, что между содержанием этих металлов в растениях и расстоянием от дороги существует обратная зависимость с 95 % - ой достоверностью.

Проводя мониторинг воздушной среды, необходимо знать зону активного загрязнения различных аэрогенных поллютантов. Такая территория нередко может простираться на десятки километров, приводя к нарушению и даже полному уничтожению естественных фитоценозов. Ареалы действенного распространения и степень опасности основных токсикантов приведены в таблице.

Известно, что увеличивающаяся свинцовая нагрузка на растительность в населенных пунктах, вызванная в основном поверхностным осаждением, может в 100—200 раз превышать обычное содержание свинца в травах и деревьях, удаленных от дороги. Причем хвойные породы улавливают частиц больше, чем лиственные. Пола елового и пихтового древостоя улавливает максимальное количество частиц, соснового - среднее, а широколиственного леса - наименьшее. Из трех пород деревьев - сосна, береза и осина - сосна обладает наибольшей интенсивностью фильтрации воздуха.

Хвойные деревья (все виды сосен - *Pinus L.*, пихта сибирская - *Abies sibirica*, ель обыкновенная - *Picea excelsa*) действуют как аккумуляторы вредных веществ круглый год и являются достаточно надежными показателями газового «отравления» атмосферы.

Из травянистых растений ярким свидетелем свинцового загрязнения окружающей среды является смолевка (*Silene L.*). «Поглотив» в избытке свинец, она приобретает карликовую форму, листья и стебли ее становятся темно-красными, а цветки - мелкими, невзрачными. Кадмий в гораздо больших количествах, чем свинец, способен проникнуть через устьица. Накопление кадмия в почве, а затем и в корнях растений может приводить к тому, что он вытесняет из ферментов, ответственных за синтез углеводов, свой биологический гомолог - цинк. В воздух кадмий, как и свинец, поступает при сжигании угля, нефтепродуктов, природного газа на теплоэлектростанциях, с газовыми выбросами

предприятий, производящих или использующих кадмий, внесением в почву минеральных удобрений и навоза. Попадая с неочищенными стоками промышленных предприятий в природные водоемы, растворенный кадмий осаждается и накапливается в донных отложениях. Кадмий, наряду со свинцом и ртутью, не является жизненно-необходимым металлом. Кадмий, в гораздо больших количествах, чем свинец, способен проникать через устьяца. Будучи аналогом цинка, кадмий способен замещать цинк в цинксодержащих ферментах с потерей их ферментативных свойств. У человека всасывание в кровь водно-пищевого кадмия находится на уровне 5 %, а воздушного - до 80 %.

Длительное воздействие аэрозоля оксида кадмия, поступающего в альвеолы с табачным дымом, способствует развитию рака легких. Табак - растение, в наибольшей степени аккумулирующее соли кадмий из почвы - до 2 мг/кг, при предельно допустимом содержании кадмия в основных продуктах питания - 0,01-0,10 мг/кг. Больше всего кадмий накапливается в почках и печени, что приводит к развитию почечной недостаточности.

Высокой токсичностью обладают пары ртути и ее соединения. Сама жидкая ртуть не обладает выраженными токсическими свойствами. ПДК ртути в воздухе - $3 \cdot 10^{-5}$ мг/м³, воде - $5 \cdot 10^{-5}$ мг/л. Примерно половина выбросов ртути в окружающую среду природного происхождения (из-за дегазации земной коры). При поступлении в легкие ртуть задерживается почти полностью. В организм человека ртуть поступает в наибольшей мере с рыбопродуктами, где накапливается преимущественно в печени и почках.

Алюминий - наиболее распространенный металл, на его долю приходится 8,8 % массы земной коры. Его содержание в живом веществе в естественных условиях составляет в среднем $5 \cdot 10^{-3}$ %. Однако в живых организмах Al не выполняет какой-либо физиологической функции, отличается крайне низкой биофильностью (0,0006), относится к слабовыраженным и инертным элементам. У человека Al сравнительно легко выводится из организма, его накопление и проявление токсичности наблюдаются при нарушении функции почек. В водоемах под влиянием кислотных дождей, растворяющих природные малорастворимые

алюмосиликатные породы, повышается концентрация катионов алюминия, что приводит к гибели рыб, земноводных, моллюсков. У человека соединения Al вызывают развитие хрупкости костей, анемии, нарушений речи, ориентации. Среди пищевых продуктов наиболее высокая концентрация алюминия отмечена в чае (до 20 мг/г).

Концентрация тяжелых металлов в растениях в значительной мере зависит от их содержания в почве, а в теле животных - от их количества в пище. Имеют значение также видовые особенности растений и животных. Животные поглощают только подвижные формы элементов, и поэтому концентрация загрязнителя в животных будет отражать фактическую загрязненность экосистемы, а не потенциальную, которую получают при определении концентрации загрязнителя в почве или растениях.

Хорошим индикатором загрязнений окружающей среды тяжелыми металлами является содержание их в организме позвоночных животных, особенно млекопитающих, а также почвенных беспозвоночных.

20 Биоиндикация загрязнения окружающей среды нефтью, нефтепродуктами и природным газом

Значительный вклад в загрязнение окружающей среды углеводородами вносят нефте- и газодобывающая промышленность. В России в настоящее время 27 нефте- и 17 газодобывающих регионов, где добывается около 350 млн. т нефти, включая газовый конденсат, и около 600 млрд. м³ природного газа.

Около 66 % общероссийского объема нефтедобычи и 92 % - газодобычи приходится на долю Тюменской области. Загрязнения происходят в результате утечки и разливов нефти и газа из трубопроводов, на нефтепромыслах, закачивания в скважины высокоминерализованных растворов для увеличения нефтеотдачи, засоления почв пластовыми водами, сжигания нефти и нефтепродуктов. Общая протяженность нефтепродуктопроводов в России составляет 62 тыс. км, магистральных газопроводов - 149 тыс. км. Только по Самарской области, например, общей площадью 56,3 тыс. км², проходит 2,5 тыс. км магистральных и подводных нефтепроводов и 2,4 тыс. км газопроводов, где ежегодно отмечаются до 4 тыс. прорывов нефтепроводов и загрязнение нефтью до 190 га земель. Нефтепродукты оказывают наибольшее отрицательное влияние на почвы в связи с их загрязнением основными органическими компонентами нефти: органическим углеродом, азотом, битумозными веществами, полициклическими ароматическими углеводородами, в частности, 3,4-бенз(а)пиреном, 1,2-бенз(а)периленом, обладающими канцерогенными и мутагенными свойствами. При концентрации битумозных веществ в пахотном горизонте 4-5 % происходит практически полная гибель посевов зерновых культур. При их концентрации 2,0 % численность растений уменьшается в два, высота растений в 3-4 раза, по сравнению с контролем. Хозяйственное освоение нефтезагрязненных почв без применения рекультивации земель возможно лишь по истечении 15-20-летнего срока. К свежим нефтяным загрязнениям относятся разливы нефти с

момента аварии до 3-4 лет, к старым - разливы давностью 4-5 лет и более с момента разлива. Для свежих разливов характерно присутствие в загрязненных почвах парафиновых углеводородов с температурой кипения до 300°C. На участке свежего нефтяного загрязнения токсичность почвы превышает контрольную в 5, старого - в 50-100 раз.

Хорошими индикаторами загрязнения почв нефтью являются сравнительно крупные почвенные беспозвоночные, микроорганизмы, грибы-микровицеты, водоросли.

Следовые количества нефти (до 1 % нефти в подстилке) не влияют на педобионтов.

Низкие уровни нефтяного загрязнения практически не оказывают отрицательного воздействия на почвенные микроорганизмы. Средние уровни приводят к перераспределению степени доминирования в составе активно функционирующих в почве микроорганизмов. Очень высокому уровню загрязнения соответствует практически полное подавление активности микроорганизмов в почве.

В интервале концентраций нефти от 1 до 12-14 % происходят лишь количественные изменения в численности и биомассе мезофауны. С дальнейшим ростом интенсивности загрязнения почв нефтью обедняется видовой состав, погибают наименее устойчивые элементы фауны (моллюски, равнокрылые хоботные, гусеницы бабочек).

Восстановление сообществ почвенной мезофауны начинается по мере снижения концентраций в почве и токсичности остаточного нефтепродукта. На начальных стадиях восстановления комплексы почвенных беспозвоночных слагаются преимущественно из хищников (пауки, жужелицы).

Заселение территории разлива начинается с краев. На втором этапе, по мере накопления на поверхности пятна растительных остатков, пятно заселяют сапрофаги. На третьем этапе, по мере освоения пятна растениями, появляются

фитофаги. Трофическая структура сообщества восстанавливается. В дальнейшем увеличиваются численность, биомасса, видовое разнообразие сообществ. В среднем быстрее всего восстанавливают численность многоножки, затем насекомые, паукообразные, далее кольчатые черви, моллюски.

В лесостепи при среднем и высоком уровнях загрязнения нефтью (24 и 48 л/м²) дождевые черви в почве отсутствуют. При невысоком уровне загрязнения (6 л/м²) их численность восстанавливается не ранее, чем через 3-4 года. Внесение дождевых червей в почву с 3-5 % загрязнением нефтью без рыхления на 3-й сутки приводит к полной гибели червей. Для дождевых червей наиболее токсичны легкие фракции нефти. При 10 % загрязнении почвы нефтью с рыхлением гибнет 50 % червей.

При 6-10 % загрязнении почвы нефтью увеличивается численность бактерий, использующих нефть как источник пищи, подавляется развитие азотобактера.

Засоление почв нефтепромысловыми водами подавляет развитие почвенных бактерий, грибов, актиномицетов, приводит к резким изменениям в комплексах почвенных животных. Отрицательный эффект свежего засоления проявляется в верхней, старого - в нижней части пахотного слоя. Наиболее быстро заселяют засоленные участки личинки двукрылых и шелкоунов.

Наиболее эффективным методом рекультивации земель при свежем нефтяном загрязнении (до 12 месяцев после разлива) является внесение минеральных удобрений на фоне известкования и рыхления (Оборин, Калачникова и др., 1987) .

Поскольку нефтяное загрязнение снижает количество подвижного фосфора, экономически выгодно внесение смесей минеральных удобрений с его повышенным содержанием. Внесение минеральных удобрений и известкование увеличивает количество углеводородоокисляющих бактерий при нефтяной нагрузке 24 л/м² в 950-1000 раз. Максимальное увеличение численности бактерий-

гетеротрофов наблюдается также при внесении полных минеральных удобрений с туфом. Так как при нефтяном загрязнении наблюдается снижение в почве поглощенного кальция и магния, наиболее эффективно внесение в почву смеси извести и туфа.

Рыхление ускоряет физико-механическую и микробиологическую деструкцию нефти, снижает дефицит кислорода, разрушает гидрофобную пленку поверхности нефтяных компонентов и особенно экономически выгодно и эффективно в первые месяцы после разлива. Рыхление почв загрязненных нефтью участков проводят по мере возможности, а внесение удобрений и известкование - через 3-12 месяцев после разлива. Органические удобрения, усиливающие дефицит кислорода и содержащие полициклические ароматические углеводороды, применять не рекомендуется. Захоронение и сжигание нефти не эффективны, они увеличивают сроки ее разложения. Захоронение углубляет дефицит кислорода в почве, а сжигание сопровождается образованием канцерогенных веществ. Содержание 3,4-бенз(а)пирена через 5 лет после сжигания нефти в два раза превышает его долю в образцах, не подвергнутых сжиганию.

21 Действие смеси загрязняющих веществ

Для описания воздействия смеси нескольких веществ на растения используют следующие понятия:

1) Синергизм – эффект воздействия смеси нескольких веществ выше эффекта суммы воздействия интервала из них;

2) Антагонизм - эффект воздействия смеси меньше суммированного эффекта воздействия интервала вещества.

В случае последующих воздействий загрязняющих веществ влияние первого из них может “предрасполагать” к последующему воздействию других загрязняющих веществ. При последующем влиянии первое действующее вещество может наоборот ”закалять” растение, т.е. делать его менее чувствительным к другим загрязнениям.

Смесь газов может вызывать те же повреждения растений, что и отдельное загрязняющее вещество. Смесь газов может изменять пороговую чувствительность растения, в таком случае растение становится восприимчивым к действию одного или обоих загрязняющих веществ.

Почти вся работа по изучению влияния смесей загрязняющих веществ на растения проводилась в экспериментальных условиях. Ниже приводятся некоторые примеры.

Озон и двуокись серы. Описано появление на листьях фасоли и табака некротических участков от рыжевато-бурых до белых при воздействии на них смеси O_3 и SO_2 . Признаки повреждения этой смесью были сходны с признаками повреждения O_3 или SO_2 , в зависимости от того, концентрация какого вещества превышала пороговую. После обобщения данных ряда работ пришли к выводу, что если концентрация смеси O_3 и SO_2 ниже пороговой для SO_2 , но равна или выше пороговой для O_3 , то наблюдаются признаки повреждения листьев по типу воздействия O_3 .

Озон и пероксиацетилнитрат. Исследовано влияние на сосну желтую смеси ПАН - O_3 и изолированно ПАН и O_3 концентрацией, вызывающей острое повреждение молодых хвоинок. Воздействие смеси ПАН - O_3 вызвало меньший эффект, нежели воздействие O_3 . Воздействие только ПАН повреждение растений не вызывало. Таким образом, при воздействии смесью появляется антагонистический эффект взаимодействия этих веществ, что приводит к ослаблению воздействия.

Двуокись серы и двуокись азота. Установлено, что при воздействии смеси SO_2 и NO_2 концентрацией ниже пороговой для каждого газа, происходит повреждение верхней стороны листа у овса, фасоли «Pinto», редьки, соевых бобов, табака и томата. Нижняя поверхность листьев становится серебристой или на ней появляется красноватая пигментация, совместное действие SO_2 и NO_2 приводит к уменьшению сухой массы у четырех пастбищных трав (злаков), в то время как в результате воздействия каждого из этих веществ в отдельности снижения урожайности могло и не быть.

22 Биоиндикация радиоактивного загрязнения

К основным источникам радиоактивного загрязнения окружающей среды относятся производство и испытание ядерного оружия, радиоактивные отходы атомных электростанций (АЭС), ядерных научно-исследовательских учреждений, сжигание угля. Серьезную опасность загрязнений представляют аварийные выбросы радиоактивных материалов на названных объектах. Крупнейшие аварийные выбросы радиоактивных материалов произошли в 1957 г. на Южном Урале (Челябинская обл., окр. г. Кыштыма) и в апреле 1986 г. в Чернобыле.

Через 2,5 месяца после аварии в Чернобыле в 3 км от АЭС почвенная мезофауна в верхнем 3-сантиметровом слое почвы в сосняках на песчаных почвах была представлена лишь небольшим количеством личинок двукрылых. В результате аварийного выброса радиоактивных элементов она была практически уничтожена. Численность панцирных клещей снизилась в 30-40 раз, ногохвосток в 9-10 раз. В пахотных почвах влияние радиации было менее губительным, где численность почвенных насекомых снизилась в 2 раза. Через 2,5 года после аварии общая численность почвенной мезофауны практически полностью восстановилась. Наиболее уязвимым для радиации оказались яйца и ранние стадии постэмбрионального развития беспозвоночных. Наибольшую роль в перераспределении радиоактивных элементов по почвенному профилю играли дождевые черви.

В полевых экспериментах при внесении в черноземную почву плутония-239 через три года численность дождевых червей и личинок насекомых сократилась в 2 раза, клещей - в 5-6 раз, ногохвосток - в 7-8 раз, количество видов панцирных клещей уменьшилось почти вдвое.

Радиоактивные выбросы и отходы становятся безопасными для окружающей среды в течение промежутка времени, равного 20 периодам полураспада входящих в их состав радиоактивных элементов, основу которых состав-

ляют ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu . Период полураспада стронция - 90 равен 28,5 лет, цезия - 137 - 30,2, и для их естественной дезактивации потребуется соответственно 570 и 604 года, что сопоставимо с продолжительностью исторических эпох. Техногенный пресс за счет Sr на порядок, а Cs в тысячу и более раз превышает их естественное содержание. Зона максимальной аккумуляции этих радионуклидов за счет их глобальных выпадений сформировалась в северном полушарии между 20° и 60° с.ш. с наибольшей активностью в лесных заболоченных ландшафтах. Среди растений наиболее высокой радиационной устойчивостью обладают водоросли, лишайники, мхи. Среди семенных растений наиболее радиочувствительны хвойные породы. Уровень радиации, вызывающий гибель половины растений (LD_{50}), составляет для хвойных пород деревьев 380-1200 Р/ч, а для лиственных - 2000-100000 Р/ч. Травы примерно в 10 раз устойчивее деревьев. Сравнительно высокие показатели радиоустойчивости характерны для почвенных простейших, бактерий. Радиоустойчивость многоклеточных животных в среднем тем ниже, чем выше уровень их организации. В частности, LD_{50} составляет у круглых червей 10-400, кольчатых червей 50-160, паукообразных 8-150, ракообразных (мокрицы) 8-100, многоножек 15-180, имаго насекомых 80-200, личинок младших возрастов и куколок насекомых 2-25, млекопитающих 0,2-1,3, человека 0,5 Р/ч (Кривоуцкий, 1983). У всех организмов особенно чувствительны к воздействию излучений клетки, находящиеся в состоянии быстрого роста и размножения. Повышенные уровни излучения легче переносят партеногенетические формы и гермафродиты, чем обоеполые. Среди культурных растений люпин, эспарцет, люцерна, клевер испытывают радиостимуляцию при малых и более высоких дозах. Пшеница, ячмень, просо, лен, горох проявляют радиостимуляцию при малых и угнетение развития при более высоких концентрациях радионуклидов в почве.

В ситуации радиоактивного загрязнения при густом растительном покрове травой сорбируется около 80 % выпавших радионуклидов, при редком – 40 %, остальная часть радионуклидов попадает в почву. Миграция значительной части выпавших радионуклидов происходит с водой по гидрологической сети.

В целях биоиндикации радиоактивного загрязнения почв наиболее удобны малоподвижные почвенные обитатели с длительным периодом развития (дождевые черви, многоножки, личинки жуков). Большое значение в индикации даже сравнительно невысоких уровней загрязнения почв радионуклидами имеет исследование изменений характерных морфологических признаков у видов почвенных членистоногих. Подобные нарушения чаще обусловлены генными мутациями, вызванными радиоактивным облучением. В незагрязненных частях ареала вида эти признаки меняются незначительно.

К наиболее хорошо заметным отклонениям в загрязненных условиях относятся изменения в распределении щетинок на теле ногохвосток, бессяжковых, двухвосток, щетинохвосток, многоножек. Хорошими индикаторами загрязнений водоемов радионуклидами являются рачки-дафнии, которые могут быть рекомендованы в качестве тест-объектов этого вида загрязнений (Минеева, 1991). У дафний в загрязненных водоемах наблюдались гибель части особей в популяции, увеличение плодовитости, размеров тела. В водных экосистемах надежными биоиндикаторами радиационной обстановки являются также водные растения. В частности, элодея канадская (*Elodea canadensis*), хорошо развивающаяся в пресных и солоноватых водах, интенсивно накапливает радионуклиды Sr, Cs, Cз, Со, которые не выявляются при стандартном радиационном контроле вод. Этот вид можно широко использовать в отстойниках для очистки сточных вод от радионуклидов (Минеева, 1991).

В наземных экосистемах к хорошим индикаторам, накапливающим радионуклиды, в частности, Cs, Sr, относятся сфагновые мхи, хвоя сосны и ели, крапива двудомная, мать-и-мачеха, полынь обыкновенная, клевер розовый, клевер ползучий, тимофеевка луговая, мышиный горошек, звездчатка жестколистная, ландыш майский, гравилат речной, ежа сборная, пырей гребенчатый и др. При этом, по мере накопления названными растениями радионуклидов, содержание марганца в их золе снижается в 3-10 раз. Практика обезвреживания радиоактивных отходов заключается в их разбавлении, рассеянии и длительном хранении путем остекловывания, цементирования, захоронения в слабопрони-

цаемые участки литосферы. Отходы, разбавленные и рассеянные человеком, накапливаются в элементах биосферы, передаются по пищевым цепям и в конечных звеньях цепей достигают величин, намного превышающих установленные нормативы.

Список использованных источников

1. Аланьшина, Н. М. Фенология и региональный экологический мониторинг: учеб.-методическое пособие к занятиям (элективный курс для студентов и школьников) / Н. М. Аланьшина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Кондакова. – Сыктывкар. : Абаим, 2004.-72 с
2. Барковский, В. Ф. Основные физико-химические методы анализа: учеб. пособие / В. Ф. Барковский, Т. Е. Городенцева, Н. П. Топорова – М. : Высш. шк., 1983.
3. Блохин, Е. В. Метод фитоиндикации в экологическом мониторинге условий окружающей среды: учебное пособие / Е. В. Блохин, Д. А. Чуянов.- Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2002.- 84 с.
4. Боголюбов, А. С. Методы лишеноиндикации загрязнения окружающей среды: метод, пос. по полевой экологии для педагогов доп. образования и учителей / А. С. Боголюбов.- М. : Экосистема, 1998.
5. Бондарь, Л. М. Структурно-популяционный анализ растительных объектов как элемент биомониторинга промзон Чтения памяти Ю. А. Львова: 2-я Межрегиональная экологич. конф. / Л. М. Бондарь, Л. В. Частоколенко.— Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 1998. — С. 100—101.
6. Дончева, А. В. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды : учеб. пособие / А. В. Дончева, Л. К. Казаков, В. Н. Калуцков.- М. : Экология, 1992.
7. Здоровье среды: практика оценки: учеб. пособие / В. М. Захаров [и др.] - М. : Центр экологической политики России, 2000. - 320 с.
8. Каплин, В. Г. Биоиндикация состояния экосистем: учеб. пособие для студентов биолог. спец. / В. Г. Каплин. Самара: Самарская ГСХА, 2001.-143 с.
9. Киреева, Н. А. Биоиндикация и биотестирование ксенобиотиков /Н. А. Киреева, Т. Р. Кабиров, И. С. Дубовик // Теоретическая и прикладная экология. – 2007.- №1.- С.34-37.

10. Климова, И. В. Оценка состояния окружающей среды с помощью морфологического подхода / И. В. Климова, Н. А. Климова// Экология и человек: Тез. докл. 4-й региональной конф. учащихся и учителей средних школ - Томск, 2007.- С. 19 - 20.
11. Козлов, М. А. Стабильность развития: мнимая простота методики (о методическом руководстве "Здоровье среды: методика оценки") / М. А. Козлов//Заповедники и национальные парки. - 2001, - №36. - С. 23-25.
12. Методическое руководство по биотестированию воды. РД 18 - 02 - 90. М.: Госкомприроды СССР, 1991.
13. Мелехова, О.П. Биологический контроль окружающей среды: Биоиндикация и биотестирование: учебное пособие / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова. - М.: Academia.- 2006.- 320 с.
14. Методы определения загрязнения атмосферного воздуха с помощью растений: метод. указания для самост. работ по курсу «Физиология растений». М.: Изд. МГУ леса, 1998 - 49 с.
15. Плеханов, Г. Ф. Биоиндикационный метод оценки антропогенного загрязнения территории / Г. Ф. Плеханов, Н. Г. Дмитриева, Н. В. Паршина // Охрана природы. Сб. статей. - Томск: Изд-во НТЛ, 2000. - С. 91-98.
16. Полевой практикум по экологии: учеб. пособие / М. А Кузнецов, А. К. Ибрагимов, В. А. Неручев, Г. А. Юлова.- М.: [б.и.], 1994.
17. Практикум по экологии: учебно-методическое пособие / С. В. Алексеев, Н. В. Груздева, А. Г. Муравьев, Э. В. Гущина - М. : АО МДС, 1996. – 48 с
18. Реймерс, Н. Ф. Азбука природы (микроэнциклопедия биосферы). : учеб. пособие / Н. Ф. Реймерс - М.: Знание, 1980.208с.
19. Реймерс, Н. Ф. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы : учеб. пособие / Н. Ф. Реймерс, А. В. Яблоков. - М.: Наука, 1982.
20. Тарарина, Л. Ф. Экологический практикум для студентов и школьников (Биоиндикация загрязненной среды) : учеб. пособие / Л. Ф. Тарарина, - М.: Аргус, 1997.
21. Шапиро, И. А. Загадки растения-сфинкса: лишайники и экологиче-

ский мониторинг. : учеб. пособие / И. А. Шапиро. - А: Гидрометеоздат, 1991.

22. Чернова, Н. М. Лабораторный практикум по экологии: учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по биол. спец./ Н. М. Чернова. - М., [б.и.]-1986.