**ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ ФИТОИНДИКАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРОДОВ**

**Цариков Л.М.**

(Научный руководитель Ковзик Н.А., ст. преподаватель кафедры экологии)

Биологические индикаторы – организмы, которые реагируют на изменения окружающей среды своим присутствием или отсутствием, изменением внешнего вида, химического состава, поведения.

В последнее время весьма актуальными являются наблюдения за изменениями состояния окружающей среды, вызванными антропогенными причинами. Система этих наблюдений и прогнозов составляет суть экологического мониторинга. В этих целях все чаще применяется и используется достаточно эффективный и недорогой способ мониторинга среды – биоиндикация, т.е. использование живых организмов для оценки состояния окружающей среды.

При экологическом мониторинге загрязнений использование биологических индикаторов часто дает более ценную информацию, чем прямая оценка загрязнения приборами, так как они реагируют сразу на весь комплекс загрязнений. Кроме того, обладая памятью, биологические индикаторы своими реакциями отражают загрязнения за длительный период. На листьях деревьев при загрязнении атмосферы появляются некрозы (отмирающие участки). По присутствию некоторых устойчивых к загрязнению видов и отсутствию неустойчивых видов (например, лишайников) определяется уровень загрязнения атмосферы городов.

Фитоиндикация заключается в использовании как растительного покрова, так отдельных сообществ и видов в качестве показателя (индикатора) состояния исследуемых компонентов среды.

Основоположником учения о растительных индикаторах почв можно считать Ф. И. Рупреха, который в своем геоботаническом исследовании о черноземе писал, что «свойства растительного слоя зависит от рода его покрова» и что сам «чернозем представляет вопрос ботанический».

Вместе с экспериментальным изучением почв и физиологии растений в середине и конце 19 в. появляются сведения о накоплении некоторых химических элементов в растениях.

Термин «фитоиндикатор» впервые был предложен А.П. Ильинским в 1914 г. Ученый рекомендовал выращивать растения в сосудах с одной и той же почвой, помещая их в различные участки поля, а по отклонениям в биомассе определять влияние микроклимата поля на урожай.

Из теоретических, обобщающих индикационных работ наиболее фундаментальным и выдающимся трудом явилась сводка Ф. Клементса. Эта работа положена в основу учения о растительных индикаторах на одного из направлений ботанической географии.

Фитоиндикация понимается как индикация условий среды с помощью растений (видов, их комплексов, сочетаний) и в настоящие время превратилась в целых раздел физиология растений, изучающий связь ботанических объектов с факторами среды. Принципы теории фитоиндикации были предложены в 1971 г. российским ботаником Раменским.

Фитоиндикация является проверенным и надежным методом мониторинга состояния окружающей среды. Метод фитоиндикации отличается от инструментального метода дешевым и быстрым получением информации о среде по признакам растения. Дать быструю оценку экологических особенностей среды можно лишь при глубоком знании флоры и экологии растений изучаемого района. При фитоиндикации используют внешний облик растений, анатомические и физиологические особенности. Для их установления используют методы морфологии, анатомии, биохимии, физиологии. В окружающей среде нередко присутствует не один, а несколько токсичных компонентов, которые в комплексе воздействуют на живые организмы куда сильнее, чем каждый в отдельности.

Для того чтобы адекватно оценить изменения в окружающей среде на основе биоиндикации, необходимо тщательно отбирать виды-индикаторы. В связи с этим при выборе организмов-индикаторов должен выполняться целый комплекс условий.

Критериями выбора биоиндикаторов являются: быстрый ответ; надежность (ошибка не более 20 %); простота; мониторинговые возможности (объект должен постоянно присутствовать в природе).

По характеру реакции на изменяющийся фактор выделяют следующие типы биоиндикаторов:

– чувствительный – быстро реагирует значительным отклонением показателей от нормы (например, отклонения в поведении животных, в физиологических реакциях клеток, которые обнаруживаются практически сразу после начала действия нарушающего фактора);

– аккумулятивный – накапливает воздействия без проявляющихся нарушений: до определенного момента (предел устойчивости) индикатор не демонстрирует изменения состояния (например, «отсроченная» во времени реакция лесного сообщества на начальных этапах его загрязнения или вытаптывания).

Кроме того, биоиндикаторы делятся по специфичности (избирательная реакция на конкретный фактор либо одинаковая реакция на разнообразные воздействующие факторы) и чувствительности (способность реагировать на воздействия определенной интенсивности).

В качестве тест-организмов используются представители различных систематических групп: одноклеточные зеленые водоросли; простейшие, членистоногие, мхи, высшие растения и др.

Еще одно весьма важное требование к тест-организмам – возможность получения культур из генетически однородных организмов. Это необходимо для того, чтобы возможные отличия между опытом и контролем с большей вероятностью могли быть отнесены на счет нарушающего фактора, а не индивидуальных различий между особями.

Фитомониторинг строится на основе ответных реакций растений на весь комплекс условий местообитания, несводимый непосредственно на влияние техногенного загрязнения. Выявление влияния техногенных условий, производится путем сравнения исследуемых городских сообществ с природными аналогами или внесением растений в загрязненную область. В случае наличия в сообществе видов-интродуцентов, необходимо учитывать уровень отклонения условий в данном климате от оптимума. Так как ответные реакции на загрязнение наблюдается у всех растений, то необходимо выделить наиболее удобные для индикации виды и признаки. Применение методов фитоиндикации, по сравнению с инструментальными методами, имеет ряд недостатков, в частности, в быстро меняющихся условиях – присутствует некоторая необъективность, и отклонение результатов особенно в годы с экстремальными условиями. Ощутимым минусом является, то, что при использовании для анализа урбосреды нужно следить за всеми компонентами системы и любое их изменение может привести к сбою системы анализа.

При создании системы фитомониторинга нужно использовать ряд принципов, позволяющих получать наиболее объективную информацию:

– определение генезиса существующих насаждений;

– составление перечня видов городских насаждений;

– учет различных абиотических факторов, формирование по ним бальных шкал для систематизации существующих насаждений и выделение групп (например, в пределах одного балла), по которым необходимо вести отдельный учет для выявления влияния фактора загрязнения;

– модельные площадки для сбора информации располагать в соответствии с размещением объектов озеленения и пунктами аналитического контроля за состоянием окружающей среды, они должны располагаться в различных функциональных зонах города и пригородных насаждениях;

– при анализе данных, учитывать весь комплекс условий местообитания;

– на основе данных исследований должны быть выделены наиболее значимые виды-биоиндикаторы, по реакциям: количественным либо качественным на загрязнители;

– при анализе полученных данных учитывать особенности вегетационного периода;

– сбор данных осуществлять в одном вегетационном периоде как для отдельного вида, так и при анализе сообщества в целом;

– при использовании методов разработанных на других территориях необходима их предварительная апробация.

Все методы фитоиндикации, можно разделить на две группы:

1. Выявление наиболее устойчивых к токсикантам видов.

2. Подбор наиболее чувствительных растений к действию токсикантов и определение степени загрязнения атмосферу по ответным реакциям конкретных видов.

Распространенным методом фитоиндикации является лихеноиндекация. Лишайники используются на основе их высокой чувствительности к загрязнителям. Широко известен тот факт, что в загрязненных территориях лишайники отсутствуют. Это связано с тем, что лишайники в отличие от растений поглощают вещества всем талломом без предварительной фильтрации воды почвой. Конкретным методом оценки концентрации диоксида серы в окружающей среде является реакция лишайников. При его концентрации выше 0,3 мг/м3 наблюдается полное отсутствие лишайников – лишайниковая пустыня. При уровне от 0,05 мг/м3 до 0,20 мг/м3 присутствуют ксанории, фисулы, анатихии, леканоры. Богатство лишайниковой флоры свидетельствует о концентрации не более 0,05мг/м3. Наиболее чувствительным к диоксиду серы является эпифитный лишайник *Hypogymnia physodes*, при концентрации 0,23 мг/м3, его полное отмирание происходит в течении двадцати девяти суток, а при 0,08 мг/м3 некроз 60 % таллома. Индикаторами на диоксид азота являются лишайники как эпифитные, так и эпигейные, содержащие азотофиксирующие сине-зеленые водоросли, но механизмы определения по ним существенно отличаются. Так при увеличении концентрации диоксида азота его концентрация в эпифитных лишайниках увеличивается, что связано с его поглощением из воздуха и из осадков, а талломе эпигейных способных к азотофиксации, его общая концентрация уменьшается, как предполагается, это связано с нарушением азотистого обмена. Сходный эффект так же вызывает диоксид серы.

Анализом мхов методом масс-спектрометрии можно выявить загрязнение тяжелыми металлами. Мхи проявляют наибольшую способность к их накоплению.

Удобными объектами для изучения влияния условий обитания являются виды хвойных. Хвойные рассматриваются в связи с возможностью круглогодичных наблюдений. При исследовании хвойных для биоиндикации используют разнообразные параметры (опадаемость хвои, ее пигментация, количество воска кутикулы, содержание фенолов, интенсивность фотосинтеза). Анализируется окраска хвои (нарушение пигментации), количество воска, содержание фенольных соединений. При превышении предела выносливости листьев, по содержанию диоксида серы, происходит их опадание. Соединения фтора дают специфическую реакцию хвои, побеление листовой пластинки у основания, и последующее потемнение, связанное с некрозом, уменьшается площадь листьев у хвойных и лиственных.

Самым уязвимым процессом в организме растения, является фотосинтез. Наличие загрязнителей вызывает его нарушения. В приделах малых концентраций токсиканта изменения можно обнаружить по снижению активности фотосинтеза. Нарушения происходят также во многих биохимических процессах. О них можно судить по показателям водного режима, количественному составу пигментного аппарата, активности ферментов, состоянию антиоксидантной системы, накоплению фенольных соединений, свободных аминокислот, пролина. Показатели асимметричности листовой пластинки, как критерии нарушения стабильности развития органов растений, связанного с действием поллютанта. Уровень транспортного загрязнения атмосферы влияет на такие морфометрические показатели состояния деревьев как высота, средние размеры листовых пластинок, количественный показатель ажурности кроны. Доля жизнеспособной, дефектной пыльцы, показатели метаболизма пыльцевых зерен являются точным показателем за счет уязвимости мейоза. Морфологические, физиолого-биохимические показатели плодов и семян, онтогенез. Также могут использоваться специфические параметры: радиальный прирост у древесных растений и микоризация.

Некоторые газообразные загрязняющие вещества, особенно оксиды серы и азота, попадая в поры хвои, наносят прямой ущерб. Они способствуют снижению интенсивности фотосинтеза и роста растений, что проявляется в сокращении продолжительности пребывания хвои на побеге, ее изреженности и пожелтения. Такие изменения видны визуально. Кроме того, поллютанты разрушают восковые оболочки хвои, что наряду с облегчением попадания внутрь патогенных микроорганизмов и ухудшения механической регуляции, обуславливают избыточную потерю воды. Согласно опытным данным как изреживание и пожелтение хвои, так и уменьшение ее влажности отмечается в еловых насаждениях с нарастанием загрязнения атмосферы территории.

На урбанизированных территориях загрязнение почв обычно происходит в результате выбросов промышленных предприятий, транспорта, предприятий теплоэнергетики, утечек из канализации и отстойников, воздействия промышленных и бытовых отходов, а также в определенной мере за счет использования удобрений и пестицидов.

Наблюдаемое уплотнение почвы определяется пенетрометрически. Параллельно в лаборатории и в поле можно провести исследования важных экологических параметров (прорастание, рост побегов и корней, продуктивность).

Подорожники демонстрируют, например, видоспецифичные различия к уплотнению почвы. В результате представляется возможным путем оценки популяционно-экологических параметров названных видов использовать полученные данные для биоиндикации. Действие на фитоценозы можно проследить, анализируя описания растительности или с помощью длительных наблюдений на экспериментальных квадратах.

Для городских условий загрязненные почвы рассматривают, прежде всего, как источник вторичного загрязнения атмосферного воздуха. На основе сопряженных геохимических и гигиенических исследований установлена возможность использования уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагополучного состояния атмосферы и оценки степени опасности загрязнения территории для здоровья населения. Базой для оценки уровня загрязнения почв в этом случае является значение фоновой концентрации рассматриваемого вещества в почвах региона. Обычно такие подходы используют при анализе загрязнения территории тяжелыми металлами и другими токсичными элементами.

Геохимическим фоном называют среднее содержание химического элемента в почвах по данным статистических параметров его распределения. Геохимический фон является региональной или местной характеристикой почв и пород.

Участок территории, в пределах которого статистические параметры распределения химического элемента достоверно отличаются от геохимического фона, называется геохимической аномалией. Геохимические аномалии, в пределах которых содержание загрязняющих веществ достигает концентраций, оказывающих неблагоприятное влияние на здоровье человека, – зоны загрязнения.

Отрицательное влияние на состояние почвы в городе оказывает использование поваренной и других солей для борьбы с гололедом в зимний период и утечки высокоминерализованпых технологических растворов. Это приводит к возрастанию количества фитотоксичных соединений в составе почв. Известно, что хлориды натрия и кальция разрушительно действуют на почвенные коллоиды и вызывают при определенных концентрациях гибель растений. В талой снеговой воде крупного промышленного города может содержаться хлор-иона в 150 раз больше, чем в природной речной воде.

Аналогичные последствия может иметь использование сточных вод с высоким солесодержанием для полива зеленых насаждений. Поэтому предельная величина минерализации воды, используемой для полива, не должна превышать 2–3 г/дм3.

Необходимым условием создания в городе благоприятной среды проживания человека с достаточным количеством зеленых насаждений является бережное отношение к плодородному слою почвы.

Интенсивная инженерно-строительная деятельность в пределах городских агломераций включает большой объем земляных работ (прокладка дорог, коммуникаций, рытье котлованов под фундаменты, мелиоративные работы и т.д.), при выполнении которых страдает почвенный слой. Для его сохранения необходимо проводить обязательное снятие плодородного и потенциально плодородного слоя почвы отдельно от подстилающих слоев на всех категориях земель. Если снятый плодородный слой не используется сразу же для землевания или рекультивационных работ, проводят его селективное складирование в виде буртов, откосы и поверхность которых при длительном храпении (сроком более 2 лет) засевают травами. Если санитарные показатели плодородного слоя соответствуют требованиям, предъявляемым к почвам сельскохозяйственных территорий, снятый плодородный слой почвы может быть применен для восстановления эродированных почв сельскохозяйственной зоны.

Поскольку почвы в городе часто загрязнены токсикантами, необходимо производить закрепление их поверхности посевом трав во избежание вторичного загрязнения атмосферы.

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

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

В последние столетия важным фактором почвообразования стала деятельность человека. На урбанизированных территориях по сравнению с природными антропогенный фактор в почвообразовании можно считать ведущим. Для городов характерны так называемые техноземы – почвы, создаваемые человеком в процессе рекультивации тех или иных объектов или хозяйственного освоения участков земли. Техноземы частично наследуют свойства зональных нарушенных почв и горных пород, формируются под влиянием мощной техники, используемой при укладке почвенного слоя. Для них характерно отсутствие четко выраженных горизонтов, зачастую мозаичный характер окраски, повышенная плотность и меньшая пористость.

Полнопрофильные почвы, близкие к естественным, могут сохраняться в городе в зоне лесопарков и старых парковых насаждений.

Животные, обитающие в верхнем слое почвы, благодаря тесной связи с ней и наличию ответной реакции на изменения среды обитания, представляют перспективный объект, позволяющий на разных стадиях антропогенной трансформации обнаружить отклонения в функционировании почвенного блока и природного комплекса в целом.

Одним из направлений экологического мониторинга является контроль за уровнем загрязнения биотической компоненты биосферы, т. е. за накоплением загрязнителей, проникающих через покровы тела и пищеварительный тракт беспозвоночных в зонах промышленных аномалий. Являясь сорбентами природных и синтезируемых или привнесенных человеком токсических соединений, организмы, обитающие в почве, выполняют активную роль в трансформации и перераспределении поступающих в почву веществ. Определение взаимосвязей между содержанием загрязняющих веществ в почвах, растениях и тканях животных может использоваться для оперативного и прогнозного биотестирования.

Среди почвенных беспозвоночных по реакции на прямое либо опосредованное воздействие техногенного фактора выделены три группы:

– чувствительные, положительно реагирующие на умеренные дозы техногенного вещества (люмбрициды, немикроскопические энхитреиды, моллюски

– чувствительные, испытывающие негативное влияние (литобиоморфные многоножки и герпетобионтные насекомые);

– индифферентные, не имеющие индикационного значения для данного типа загрязнения (большинство насекомых, развитие которых протекает в почве).

Изменения биоты наземных экосистем могут прослеживаться на двух уровнях – видовом или ценотическом, когда происходит сокращение биологического разнообразия за счет выпадения отдельных таксонов, и ландшафтном, когда под воздействием антропогенных факторов наблюдается нивелирование различий между отдельными биогеоценозами или полная деградация некоторых из них. Вероятность проявления нежелательных последствий увеличивается адекватно росту степени воздействия, преломляясь через экологические параметры среды.

Таким образом, описанные объекты и методы пригодны для объективной оценки урбанизированной среды. Направленность изучения реакции растений на загрязнение, позволяет более наглядно видеть его последствия. Изучение урбосообществ, дает возможность, наметить общие пути их стабилизации, и возможной замены видов при увеличении антропогенной нагрузки. Фитоиндикацию следует рассматривать как важное дополнение инструментальных методов, позволяющих оценить перспективу и весь комплекс воздействия техногенеза на окружающую среду.