

А.И. Сафонов

**ИНДИКАЦИОННАЯ БОТАНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА – ОСНОВА
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ**

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46

e-mail: safonov@dongu.donetsk.ua

Сафонов А.И. Индикационная ботаническая экспертиза – основа экологического мониторинга в промышленном регионе. – Проведен критический анализ информативности данных фитоиндикационного мониторинга в антропогенно трансформированном регионе. Дано обоснование необходимости учета ботанических данных при хозяйственном проектировании, планировании и использовании природных ресурсов, мероприятиях по диагностике и восстановлению экосистем.

Ключевые слова: растения-индикаторы, экологический мониторинг, экспертиза, загрязнение среды.

Индикационная ботаника по сути – это любой реализованный прикладной проект с использованием растений, одним из результатов которого является получение информации о состоянии окружающей растении (а точнее, контактно-функциональные части объекта) среды.

Полученная информация весьма разнообразна. Это связано и с целями эксперимента, задачами реализуемой программы, возможностями глубины и детальности анализа на различном оборудовании с использованием различных методических приемов и, даже, как бы ни пытались доказать обратное, – в какой-то степени непосредственно экспериментатором.

Индикационный аспект ботанико-экологических исследований никогда не может реализовываться как самоцель. Практическими выходами таких разработок могут быть, а некоторые программы уже успешно реализуются, например, такие программы:

- **геолого-разведывательные работы**, успешно реализованные, когда ресурсный потенциал огромных территорий бывшего Советского Союза еще не казался человечеству таким исчерпаемым, как сейчас, – с помощью способов поисковой индикационной геоботаники были весьма эффективно "открыты" многие месторождения [3-6, 11];

- определение не только качественных, но и основных количественных **значений базовых экологических факторов**; так, градиентный анализ эффективно использован для ведущих экологических факторов, шкалы которых содержат различную размерность для влажности почвенного горизонта, кислотности почв, общего солевого и температурного режимов, содержания минерального азота и карбонатов, гумидности, континентальности и др. характеристик [4, 5, 9, 23, 35];

- реализация мониторинга (за) экологических(ми) систем(ами) различного иерархического уровня: от локального и регионального до глобального в рамках биосферного; при этом имеются в виду все определяющие современного понятия **"мониторинг"** – **"наблюдение"**, **"оценка"**, **"прогноз"** и, как необходимость, придающая им смысл – **"управление"** и другие актуальные вопросы.

Основные проблемы организации экологического мониторинга связаны с решением трех главных задач:

- создание сети пунктов наблюдения;
- возможность оперативного контроля объектов;
- выбор контролируемых параметров и показателей состояния объектов и индивидуальных аналитических параметров, необходимых и достаточных для адекватного описания состояния экосистемы.

Концепция создания комплексной системы мониторинга природной среды в настоящее время практически не может быть реализована, т.к. существующая система фактически состоит из отдельных подсистем мониторинга качества объектов природной среды (вода, воздух, почва), которые слабо методологически связаны между собой [10, 36]. Хотя это тоже не абсолютное утверждение, если учитывать появляющиеся сейчас в большем количестве

универсальные приборы-анализаторы, в числе которых часто используют и живые организмы, в первую очередь, – растения. В последние годы создаются системы мониторинга отдельных сред с их методологической и метрологической увязкой. При этом интегрирование систем мониторинга количественных и качественных показателей отдельных сред (загрязнения воды и гидрологии, атмосферы и метеорологии) необходимо сохранять и развивать с самого начала, т.к. в противном случае не будет обеспечена правильная оценка их состояния.

Для построения системы оперативного экологического контроля необходимо создание методологии и аппаратуры автоматического оперативного слежения за возможными экологическими правонарушениями на базе следующих приборов контроля:

- приборы типа "химический сторож" для автоматического контроля возможных нелегальных залповых сбросов и отбора их проб;
- приборы типа "черный ящик" для автоматического непрерывного контроля и документирования состояния вод, сбрасываемых предприятиями или станциями очистки и воздушных выбросов предприятий промышленно-энергетического комплекса;
- приборы типа "анализатор отпечатков пальцев" для идентификации виновников загрязнения путем сравнения состава веществ и их состав в потенциальных (подозреваемых) источниках загрязнения;
- приборы для автоматического отбора, хранения и подготовки к анализу пробы объектов окружающей среды в непрерывном (*on line*) режиме.

Исходя из уже полученных данных на растениях [1-3, 7-9, 12, 14-20, 24-26, 30, 31, 33, 34], все эти типы приборных исследований могут быть адекватно замещены и реализованы методами фитоиндикации – специфической и неспецифической.

Подобная "аппаратура" обеспечит возможность функционирования многоступенчатой системы контроля природной среды, представляющей собой открытую иерархическую структуру, где "на нижней ступени" установлена сеть простых датчиков, управляющих устройствами отбора пробы и включающих более сложные анализаторы старших ступеней в случае обнаружения аномалий состава и свойств контролируемой среды. При использовании живых организмов важно удачно подобрать объекты и корректно вычленить индикаторные информационные признаки.

Интегральный мониторинг (*ICP-IM*) предусматривает физические, химические и биологические измерения компонентов экосистем, проводимые одновременно в одних и тех же местах с заданной периодичностью. На практике осуществление интегрального мониторинга сводится к вычленению ряда частных подпрограмм, которые соединяются либо путем получения стандартного набора параметров (анализ межсредовых потоков вещества), либо путем получения стандартного набора параметров на замкнутых микробассейнах (причинно-следственный подход).

Одним из существенных достижений биологов Украины является огромная научно-практическая разработка экологической сети в рамках уже существующей Общеввропейской системы. На базе экологической сети, включающей все необходимые элементы (природные ядра, экологические коридоры и др.), реализуются многие вопросы и принципы экологического мониторинга.

Атрибутами проведения **мониторинговых исследований** (s.l. & s.st.) являются [7, 8, 12-22, 24-26, 33, 34]:

- шкалы,
- балльная оценка,
- диапазоны варьирования,
- количественные коэффициенты, в том числе и отклонения, атипичности,
- выражения специфики корреляции,
- картографическая визуализация,
- оценочное районирование,
- алгоритмизированные выражения,

- модели в разных формах их существования и др.,
причем все эти способы реализации могут быть использованы как автономно, так и в комплексе обработки и интерпретации результатов и данных.

Любой из указанных атрибутов мониторинга, т.е. в данном случае – "инструмент способа", является основным или дополнительным, но также весьма важным и информативным, пунктом системы **экологической экспертизы (ЭЭ)**. Одной из целей ЭЭ является **нормирование нагрузки на природные среды**, избежание критических дисбалансов, а значит и то же **управление** процессами, происходящими в природе, которое уже определено здесь как смысловой этап **мониторинга**.

Получается функционально замкнутый круг "экологических надстроек", роль и смысл которых существенно (в лучшем случае) пересекаются, а по большому счету и совпадают. Да, программы растут, множится специфика, возникают многочисленные уровни и подразделения, но, по сути, происходит фактическое дублирование многих принципиально значимых вопросов. Как, например, можно вычленивать автономный смысл экологической экспертизы, если в мониторинге отдельными разделами проведена оценка состояния среды? Экологическая паспортизация – это раздел мониторинга, экспертизы, экономики природопользования, экологического менеджмента, нормирования или все же еще чего-то? Если всего сразу, то зачем их (этих заголовков) так много? И каждому из них посвящены многочисленные обзоры, обоснования, прения и доказательства. Ситуация реально усугубляется "научными традициями" различных научных школ, переходом из разных языков и ассимилированием в новом смысле дополнительных терминов. Быть может всему виной фундаментальность экологических исследований? Как бы "являясь частью" (модной и привлекательной так называемой "современностью") классических наук, экология обречена диффузно разрастаться среди всех новых веяний прикладных систем охраны, контроля, управления природными средами.

Среди классических наук, используемых в экологических программах, очень удачно и, безусловно, небезосновательно выделяется ботаника. Информативность данных по состоянию растений неоднократно подчеркивается во многих научных разработках [1-9, 11-26, 28-35], но на фоне многочисленных цифровых, космических и неоаналитических методов разработки ботаников-экологов очень поверхностно представлены или незаслуженно игнорируются в учебниках, специализированных научных обзорах.

Самое ценное, сознательно и бессознательно осмысленное, чем дорожит человек – жизнь. По определению и основному содержанию, наука о жизни – биология. Совокупность форм и проявлений жизни на нашей планете – биосфера. 95(97)-99% биосферы – растительные организмы. Наука о растениях – ботаника. Судя из этой логической цепочки, которая не вызывает сомнений даже у старшеклассников, направление и развитие ботанических исследований в основной массе определяют уровень решаемых актуальных жизненных процессов.

Растительность, как биотический компонент любой природной экосистемы, играет решающую роль в структурно-функциональной организации экосистемы и определении ее границ. Фитоценоз, отдельные его составляющие не только весьма чувствительны к нарушениям окружающей среды, но и наиболее наглядно отражают изменения экологической обстановки территории в результате антропогенного воздействия. Индикаторы оценки состояния растений различаются в зависимости от географических условий и типов экосистем. При этом учитываются негативные изменения как в структуре растительного покрова (уменьшение площади коренных ассоциаций, изменение лесистости и др.), так и на уровне растительных сообществ и отдельных видов (популяций): изменение видового состава, ухудшение ассоциированности возрастного спектра ценопопуляций и др.

Плотность популяции видов-индикаторов – один из важнейших показателей состояния экосистемы, высокочувствительный к основным антропогенным факторам. В результате антропогенного воздействия плотность популяции "отрицательных" видов-индикаторов снижается, а "положительных" – возрастает. Пороговым значением антропогенной нагрузки

следует считать снижение (или повышение) плотности популяции вида-индикатора на 20%, а критическим значением – на 50%.

Состояние растительных объектов можно рассматривать как индикатор уровня антропогенной нагрузки на природную среду обитания (повреждение древостоев или хвой техногенными выбросами, уменьшение проективного покрытия и продуктивности пастбищной растительности и др.). Изменение проективного покрытия происходит в результате антропогенного воздействия на растительность разных типов, главными из которых являются механическое нарушение фитоценоза и химическое воздействие, приводящее к изменению жизненного состояния видовых популяций через изменение процессов метаболизма и водного баланса. Уменьшение запаса древесины основных лесообразующих пород свидетельствует о процессе деградации лесных экосистем в результате неудовлетворительной лесохозяйственной деятельности. Изменения качественных и количественных характеристик растительного покрова могут быть объективно интерпретированы только в сравнении с естественным состоянием растительных сообществ. При этом под фоновыми понимают относительно ненарушенные участки, аналогичные по своим природно-ландшафтным характеристикам исследуемой территории.

Важно, что принятие концепции абсолютной связи социальных, экономических и экологических процессов привело к развитию систем оценок состояния изменений окружающей среды и их причинно-следственных связей как юридического инструмента управления. Логичным продолжением этого процесса стали разработка и последующее внедрение в промышленную и хозяйственную практику системы международных экологических стандартов и нормативов *ISO 14000*.

На современном этапе отсутствует международно признанная методически и методологически **единая система индикаторов**. Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) определяет термин "**экологический индикатор**" (*environmental indicator*) как статистические данные или параметр, которые, будучи рассмотрены во времени, обеспечивают информацией о тренде условий какого-либо явления. Как видно из определений, неотъемлемым свойством индикатора является временной вектор [10, 36].

Дополнительно индикаторы описываются как специально отобранные ключевые статистические показатели, которые представляют в комплексном виде, в отношении их значения, состояния окружающей среды, устойчивость природных ресурсов и связь с деятельностью человека; они фокусируются на трендах изменений среды, воздействиях, их вызывающих, ответных реакциях экосистем и их компонентов и реакции общества по предотвращению, снижению и ликвидации этих воздействий.

Экологический индикатор – это признак, свойственный системе или процессу, на основании которого производится качественная или количественная оценка тенденций изменений, определение или оценочная классификация состояния экологических систем, процессов, явлений. Значение индикатора описывает процесс или явление, выходящее за рамки его собственных свойств.

Фитоиндикация – прикладное направление ботанических исследований, безусловно, являющихся неотъемлемой частью экологических разработок.

Растения-индикаторы используются человеком в огромнейшем количестве с давних времен. Типичные и феноменальные возможности растений содержатся в многочисленных информационных базах. В нашем промышленном регионе многие типичные растения можно использовать как объективные научно-исследовательские лаборатории, по состоянию и реакции которых реально получать адекватную информацию о процессах, происходящих в окружающей среде.

Это направление интересно как с фундаментально-теоретической, так и с прикладной точек зрения: проведение экологического мониторинга, планирование и нормирование антропогенной нагрузки на природные системы, территориальная оценка уровней загрязнения в широком и узком смыслах – эти и сопутствующие им практические выходы характеризуют современные фитоиндикационные исследования в Донбассе. Направление

изучения фитоиндикационной информативности востребовано. Перед исследователями стоит четкая задача получения адекватной информации и правильного, корректного интерпретирования данных. Чем большие запросы перед этим научно-прикладным направлением, тем более специфические признаки используются.

Перспектива и потребность в фитоиндикационных исследованиях заключаются еще в том, что на территории Донецкой области сложились такие разноплановые, специфические и комплексные условия на фоне самых разнообразных форм влияния антропогенного фактора, которые позволяют считать всю территорию огромной экспериментальной лабораторией, где уже долгие годы реализуются наблюдения, проводятся опыты и получают данные.

Но эти данные остаются в форме непонятных и невидимых, пока, во всяком случае, результатов, безусловно, требующих анализа.

Поэтому развитие такого направления, как "фитоиндикационный мониторинг антропогенно трансформированной среды" для юго-востока Украины является вполне обоснованным и представляет собой региональное "know how" с большой перспективой на экстраполяцию.

Данные по фитоиндикации являются в большинстве случаев аппаратом диагностики состояния экосистем, на основании которых реально получить **экспертное заключение.**

Проведение любой **экологической экспертизы** основывается на использовании информации о состоянии окружающей среды и знаний о процессах, в ней происходящих.

Экспертной системой принято называть систему искусственного интеллекта, которая создана для решения задач в конкретной проблемной области. В проблемной области "экологическая безопасность" основной задачей, которая ставится перед экспертами в этой области, и перед экспертными системами, является поддержка принятия решений.

Использование индикационных возможностей растений с целью экспресс-диагностики токсического загрязнения среды требует детального и корректного отбора объектов среди представителей природной флоры (тест-претендентов) с учетом их эколого-ботанических характеристик. Основными требованиями к индикационным показателям являются доступность получения результатов, информативность при анализе процессов, оценка репрезентативности данных для возможности их широкой экстраполяции и др., возможности стандартизации, проверки и сравнения полученных результатов.

Наиболее часто в качестве объекта анализа используют популяции доминантов, но это не всегда является определяющим. Лучшие результаты иногда можно получить и при использовании недоминантных видов, более чувствительных к определенному стрессору. Могут существовать виды и сообщества, которые сами по себе не являются индикаторами, но имеют индикационные признаки.

Для того чтобы индикатор или индикационный признак имели практическое значение, они должны иметь значительный уровень сопряженности с объектом индикации. Степень связи индикатора с индикатом определяет достоверность первого. В качестве показателя достоверности принимали соотношение количества пробных участков, где индикатор сопряжен с индикатом, к количеству участков, в которых такой сопряженности не обнаружено. Полевые сборы проведены для растений с достоверностью 100%. Один показатель достоверности еще не обозначает практической ценности индикатора.

Очень важным является обстоятельство, насколько часто встречаются данный индикатор и объект индикации. Эта характеристика имеет название значимости индикатора. Достоверность и значимость индикатора – понятия неидентичные. При оценке достоверности выходили из суммы площадей, на которых был зафиксирован данный индикатор, определяли процент площадей, где индикатор сопряжен с объектами индикации. При оценке значимости достаточным количеством особей для одной пробной площади считали 50 экземпляров.

На основании рекогносцировочных работ и лабораторных экспериментов мы выбрали группу растений для выяснения их фитоиндикационной значимости в условиях усиленной металлонагрузки на почвы по трем принципиально различным направлениям: эколого-

ботанические характеристики, показатели сравнительно-структурной пластичности и по результатам лабораторного тестирования.

С целью наблюдения, визуализации и обработки информации на территории исследования (Артемовский и Константиновский районы Донецкой области) построена 302-компонентная мониторинговая сетка и выбраны 13 модельных пробных площадей для детального анализа и иллюстрирования результатов наблюдений (1996-2006 гг.)

По ботанико-экологическим характеристикам выбраны перспективные тест-виды для проведения исследований: *Cichorium intybus* L. (для использования во всех блоках запланированного эксперимента), *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. (для использования в лабораторном, палинологическом и карполого-эмбриологическом блоках), *Plantago major* L. (для лабораторного, фолиологического и палинологического анализов), *Tanacetum vulgare* L. (исследования лабораторного, палинологического и карполого-эмбриологического блоков), *Reseda lutea* L., *Berteroa incana* (L.) DC. и *Echium vulgare* L. (лабораторные и палинологические исследования) и *Tragopogon major* Jacq. (лабораторные исследования).

Общие направления исследования основаны на синтезированном системном подходе и использовании методов аутоэкологической структурной фитоиндикации.

Стратегия непосредственно фитоиндикационного исследования заключается в следующем: 1) определение для модельных объектов (тест-видов) признаков, которые характеризуются наибольшей индикаторной вариабельностью; 2) изучение структурных элементов растений в динамике, а также установление их связи с другими структурами и показателями металлопрессинга.

Выбор методов изучения анатомо-морфологических особенностей растений, произрастающих в условиях антропогенно трансформированных экотопов, был детерминирован необходимостью выявления дискретных признаков для составления шкал по диапазону морфопластичности, установлением специфики отдельного признака и созданного на его основе показателя или показателей, а также возможностью отбора большого количества образцов и наличием достаточного времени для однородной их обработки в камеральных условиях при создании базы данных. Проведен анализ дискретных признаков листовых пластинок, пыльцевых зерен, семян и плодов тест-видов. Оценка техногенной нагрузки на территории опыта проведена методом картосхематической визуализации на основе данных химико-аналитического определения содержания металлов в почвах и фитообъектах (атомно-абсорбционный и рентгенофлуоресцентный методы).

Исследования структурных элементов растений проведены по общеизвестным методикам, описанным ранее [7-8, 27-32]. Светооптическое изучение гистоструктурных особенностей растений проведено на временных и постоянных препаратах с помощью микроскопа Ergaval. Для окрашивания пыльцевого материала использовали красители: метиленовый синий, ацетокармин, орсеин и гематоксилин.

Установление сопряжения признаков структурного полиморфизма с факторами металлопрессинга на почвогрунты проведено по значениям коэффициентов корреляции для больших выборок и рангов по Кенделу при определении прямой (линейной) корреляционной связи, а также по коэффициенту детерминации при установлении степени непрямо́й корреляции и детерминации на основе построения индикаторных шкал. Диапазон варьирования признака в каждом отдельном случае определен эмпирическим методом – на основе полученных результатов для блока данных.

При формировании системного подхода к проблемам фитоиндикационной оценки степени загрязнения учитывали следующее:

1) выбранные блоки "лист-пыльца-плоды" – это системы, которые составлены из определенных структурных элементов (например, основных эпидермальных клеток, трихом, устьичных комплексов, кутикулярного слоя и др. для первого блока), между которыми существуют четко определенные морфогенетические и эколого-морфофизиологические корреляции;

2) определенные связи существуют в системе "структурные элементы – факторы", что более четко проявляется в условиях монофакторного действия при однородности других экологических влияний; но в природных условиях практически невозможно элиминировать общие многочисленные факториальные характеристики; в этом случае необходимо использовать методы статистической обработки и обязательно использовать несколько альтернативных показателей (например, коэффициенты корреляции, детерминации), а также дополнительные методы (например, производные картографического визуализационного метода, метода наложения плоскостей, совпадения динамических территориальных изменений признаков во временном аспекте и др.);

3) происходит постоянная дифференциация и трансформация элементов строения растительного организма в аспекте "структура тест-вида – окружающая среда";

4) лист, пыльцевые зерна, семена и плоды в условиях гетерогенной среды организованы с позиции надежности и консервативности биологических систем.

Общая схема последовательности выполнения эксперимента: подбор территории исследования → выбор перспективных фитоиндикаторов → анализ миграционных потоков и локализации тяжелых металлов → установление местных стандартов варьирования дискретных признаков растений или отдельных их показателей → построение шкал экологической пластичности индикаторов → разработка и применение метода картосхематической визуализации полученных данных на плоскости → поиск корреляционных связей в системе "фактор-признак" → установление сопряженных групп совместных и сопутствующих характеристик → возможный прогноз дальнейшего состояния ботанико-экологических показателей территории → ... апробация, использование и усовершенствование методов структурной фитоиндикации.

Таким образом, установлены определенные реакции растений на загрязнение антропогенно трансформированной среды тяжелыми металлами и разработан метод структурной фитоиндикации для Донбасса. Выделены как перспективные тест-виды *Cichorium intybus* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Plantago major* L. и *Tanacetum vulgare* L. для проведения постоянного комплексного грунтово-металлотоксичного мониторинга антропогенно трансформированных экотопов по показателям структурного полиморфизма растений. Загрязнение корнеобитаемого слоя техногенных почв токсичными элементами характеризуется высоким уровнем содержания Cu, Zn, Pb, Cd, Hg и Ni (превышает ПДК в 2,9-16,3 раз), что является достаточным для разработки методов фитоиндикационной оценки металлопрессинга в натурном эксперименте. Наибольший диапазон аккумуляирования в корнеобитаемом слое грунтов имеют Zn и Pb (до 900-1000 мг/кг), наименьший – Cd (до 10 мг/кг) и Hg (до 3 мг/кг), что согласуется с общими тенденциями биогеохимического цикла тяжелых металлов в почвах индустриального региона. Статистически доказано, что при увеличении уровня загрязнения почв тяжелыми металлами достоверно увеличивается степень структурного полиморфизма тест-объектов. Такие дискретные признаки *Cichorium intybus* L., как индекс сокращения полярного утолщения, степень дефектности пыльцы, вариабельность скульптуры поверхности плодов, частота встречаемости тератологической схизокотилии и др. являются информативно-индикаторными по специфическому характеру проявления. Предложены следующие критерии информативности метода структурной фитоиндикации: значения коэффициентов корреляции и детерминации; наличие групп и блокового совпадения сопряженности показателей структурных изменений растений с компонентами поэлементной металлогении в системе их внутренних связей; данные картосхематической визуализации; синхронное соответствие динамики блоков структурных характеристик растений градиенту токсической нагрузки на почвогрунты антропогенно трансформированного региона. Установлено, что включение тяжелых металлов в биогеохимические циклы связано с двумя часто взаимосвязанными факторами: природными геохимическими процессами и антропогенной деятельностью. Последний фактор для техногенно трансформированного региона Донецкой обл. имеет определяющее значение при формировании металлопрессинговых зон –

металлогенных провинций (ареолов). На основании внедренной системы структурной фитоиндикационной оценки загрязнения почв тяжелыми металлами выделены три общих структурно-трансформационных металлогенных блока: Ni; Cu–Zn–Pb и Cd–Hg. Степень усложнения строения трихом ретортообразного типа, индекс деформированности околопучковой паренхимы листовой пластинки, степень дефектности пыльцы, частоты встречаемости яйцеобразной и сферической форм семянки и вариабельность скульптуры плодов *Cichorium intybus* L. достоверно коррелируют с загрязнением грунтов Ni. Информативными показателями блока Cu–Zn–Pb являются: индекс деформированности терминальной флоремы листовой пластинки, частота встречаемости простых кроющих трихом, толщина семенной кожуры и количество воздушных полостей на поперечном срезе в центральной части пода (для Cu); усложнение трихом сферической формы, степень деформированности основных эпидермальных клеток листовой пластинки, частота встречаемости пыльцевых зерен с шестигранными полярными утолщениями, вариабельность плодов по форме и индексы матрикальной гетерокарпии и гетероспермии в узком смысле (для Zn); частота встречаемости трихом железистого типа, толщина кутикулы листа, степень усложнения строения трихом нитчатого и разветвленного типов, вариабельность общего утолщения пыльцевых зерен, индексы матрикальной гетерокарпии и гетероспермии в широком смысле, частота встречаемости остро-клинообразной формы семянки и тератологической схизокотилии (для Pb) *Cichorium intybus* L. Установлено, что индекс аномальности анастомозной сетки листовой пластинки, частота встречаемости пыльцевых зерен с атипичным строением лакун, частота встречаемости конической формы семянки и толщина слоя эндосперма (для Cd); количество деформированных устьичных комплексов, индекс сокращения полярного утолщения, вариабельность формы пыльцевых зерен, толщина слоя склеренхимы, частоты встречаемости деформированного или несформированного зародыша и тератологической синкотилии плодов (для Hg) *Cichorium intybus* L. являются информативными показателями блока Cd–Hg. Проявление индикаторного полиморфизма видоспецифично, что установлено по строению листовых пластинок *Cichorium intybus* L. и *Plantago major* L., степени дефектности пыльцы *Cichorium intybus*, *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Tanacetum vulgare* L., *Berteroa incana* (L.) DC. и *Echium vulgare* L., индексам структурной пластичности плодов *Cichorium intybus*, *Tripleurospermum inodorum*, *Tanacetum vulgare* и др.; при этом у разных видов растений изменяются разные структуры (элементы строения пыльцевых зерен *Cichorium intybus*, *Reseda lutea* L., *Plantago major*). По установленным тенденциям накопления тяжелых металлов в грунтах Донбасса спрогнозировано дальнейшее увеличение содержания Cu, Zn и Hg, особенно в зонах, которые не являются центрами промышленной деятельности, уменьшение содержания Pb в корнеобитаемом слое почвогрунтов и проявление прямо или опосредованно зависимых от этих процессов изменений структурных показателей растений-индикаторов.

Для предварительного и текущего фитоиндикационного тестирования необходимо разработать специальный аппарат интерпретации и индексирования для адекватного и корректного сравнения вариабельности признаков (формирования сопряженных групп) с показателями эколого-токсикологического состояния на определенной территории.

При оценке и сравнении разработок ученых Донецкого национального университета и Донецкого ботанического сада НАН Украины с уже имеющимися методами и способами биомониторинга на основании индикационной значимости было предложено использовать следующие критерии (их дальнейшая детализация и конкретизация в стадии разработки):

- обоснованность,
- возможность дифференциального анализа,
- выявление специфичности,
- стоимость,
- быстрота анализа,
- возможность комплексного исследования,
- информативность,

- необходимость в материальном оснащении,
- возможность визуализации данных,
- территориального ранжирования и распределения,
- плоскостная зависимость,
- степень комплексности,
- наличие региональных стандартов,
- возможность использования при хозяйственном планировании,
- целесообразность в условиях природопользования,
- изучение прикладных аспектов,
- изучение классических теоретических аспектов,
- дистанционное овладение методическим блоком,
- возможность шкалообразования,
- ранжирование по наглядным стандартам,
- необходимость повтора эксперимента,
- экспрессивность,
- вариативность трактовки,
- возможность активного и пассивного мониторинга,
- альтернативность,
- возможность создания компенсаторности,
- возможность экстраполяции,
- достоверность прогнозирования,
- экологичность в широком и узком понимании и др.

В настоящее время при разработке способов фитоиндикационного тестирования степени нарушенности экосистем и(или) уровней антропогенной нагрузки (в первую очередь, токсикологического содержания) возникла необходимость обобщения полученных данных и апробации комплексного способа интегральной оценки.

Проект способа "Интегральный фитоиндикационный показатель сочетанного воздействия факторов неспецифического стресса".

В условиях антропогенно трансформированной среды и повышенной токсической нагрузки на природные системы **первоочередным вопросом было поставлено** выяснение возможности и реальности практического внедрения методов фитоиндикации с целью общей суммационной оценки экологического дисбаланса в промышленном регионе.

На современном этапе авторских разработок на кафедре ботаники и экологии ДонНУ перспективными тест-объектами являются: цикорий дикий, ромашка непахучая, подорожник большой, резада желтая, ежа сборная, пижма обыкновенная и др.

В данном случае важным является не именно наличие вида как такового на определенной территории, а **степень и специфика его структурной индикаторной разнокачественности**, проявляющаяся в условиях гетерогенной среды.

То есть, речь идет **не о видах-индикаторах, а об индикационных признаках** этих видов с широкой экологической амплитудой в условиях различных техногенных экотопов.

Наиболее информативными (свыше 92% вероятности прогноза) признаками суммационного эффекта являются:

- степень дефектности пыльцевых зерен,
- индекс трихоморазнообразия,
- индексы матрикальной гетерокарпии и гетероспермии,
- индексы тератологической син- и схизотитилии.

Для каждого показателя индивидуально разработана аддитивная оценочная **10-балльная шкала**, учитывающая весь диапазон структурной экологической пластичности.

Для получения общего интегрального показателя стрессовой нагрузки на природную систему предложено суммировать эти шесть основных показателей для каждого из шести видов растений природной флоры юго-востока Украины.

Суммационный показатель реакции растений численно и будет равен интегральному уровню и силе факторов стресса на экологические системы анализируемого региона. Максимальное количество баллов с использованием этих признаков равно 60, минимальное – 6. По предварительным данным рекомендуется суммационный индекс со значениями 6-15 считать соответствующим нормальному состоянию экосистемы,

16-25 – допустимому,

26-40 – превышающему,

41-60 – недопустимому уровню дисбаланса в анализируемых природных системах.

Все промышленные страны мира в той или иной степени обеспокоены состоянием природной среды. Для контроля за ним используются различные характеристики, называемые **индикаторами, индексами, критериями** и др. Наиболее быстро внедряющиеся в природоохранную и управленческую практику системы оценок состояния среды в программах устойчивого развития западных стран методически далеко не безупречны и в существующем виде плохо адаптированы к природно-географическим и экономическим условиям анализируемого государства.

Но в то же время проблема развития национальных критериев (индикаторов) на этой методологической основе представляет крайне актуальную задачу. Необходимость ее скорейшего решения определяется все более глубоким вовлечением Украины в системы международных связей в области охраны среды. Приток зарубежных инвестиций в экономику зависит в том числе и от внедрения системы международно признанных требований и стандартов в области охраны среды и принципов развития экономики (экологический аудит, оценка выполнения взаимных обязательств и т.д.).

Общая политика финансовых институтов западных стран в обязательном порядке декларирует требования экологической безопасности экономической деятельности на основе концепции Программы развития Всемирного банка: "... экономическая активность является необъемлемой частью окружающей среды... экологические индикаторы – обязательная часть системы принятия решений...".

На современном этапе рассматривается набор показателей (индикаторов), характеризующих объекты информации, которые влияют на устойчивость природно-технических систем, их взаимосвязи и величину нормативных значений, способа мониторинга фактических значений этих показателей.

Состав и характеристики региональных экологических индикаторов должны:

- соответствовать международным принципам их определения;
- включать в себя уже имеющие нормативный статус экологические индикаторы, как международные, так и национальные;
- позволять проводить их обсуждение, корректировку и согласование в рамках региональных международных схем и системы специализированных уполномоченных органов управления;
- принимать как нормативно-рекомендательный документ для региона и местных органов управления;
- использовать существующую статистическую и мониторинговую систему отбора экологической информации за немногими исключениями;
- иметь научно-методическое обоснование сигнального (предварительного) списка индикаторов, оценки репрезентативности описания критериев состояния и формулировку индицируемых экологических проблем и процессов региона.

Принципиально важным является введение нового параметра – скорости изменения (деградации) среды и переход от статического к динамическому рассмотрению проблемы оценки качества окружающей среды территории, т.е. совершенно нового направления в управлении – реакции на изменение скорости процесса.

Переход к устойчивому развитию предполагает постепенное восстановление естественных экосистем до уровня, гарантирующего стабильность окружающей среды, и

должен обеспечить на перспективу сбалансированное решение проблем социально-экономического развития и сохранение благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала.

При этом обязательно решаются следующие задачи:

- обеспечение стабилизации экологической ситуации при выходе страны из экономического кризиса,

- введение хозяйственной деятельности в пределы емкости экосистем на основе массового внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий, целенаправленного изменения структуры экономики, структуры личного и общественного потребления.

Идея комплексного и непрерывного мониторинга на основании экологической экспертизы в ботаническом аспекте может быть реализована при условии расширения программы фитоиндикационной оценки и подключения альтернативных признаков фитоиндикаторов не только в территориальном вопросе наличия объекта, но и во временном соотношении. Так, например, сейчас разрабатываются способы биоиндикации с использованием дополнительных видов, а также расширение сред индикации, т.е. не только в рамках почвенного металлотоксического мониторинга.

Способ 1: определение реальной и потенциальной экологической угрозы, вызванной агрессивностью адвентивного вида растений. Способ заключается в анализе семенного материала и структурных элементов генеративной сферы адвентивного вида (*Ambrosia artemisiifolia* L.) в период цветения и плодоношения. Используют комплекс мероприятий одноразовой сезонной экспресс-оценки: на основании специально созданной локальной мониторинговой сети на протяжении вегетационного сезона проводят учет эколого-эмбриологических показателей субпопуляций вида и одновременно рассчитывают суммационный индекс угрозы на основании данных о концентрации и разнокачественности строения аллергенного материала (пыльцы) в приземном слое атмосферы, популяционной плотности и репродуктивного усилия особей *Ambrosia artemisiifolia* L.

Способ 2: оценка токсичности среды в условиях загрязнения автотранспортом. Способ заключается в анализе палинологического материала по показателям степени дефектности пыльцевых зерен (СДП) растений-индикаторов (*Dactylis glomerata* L., *Bromus arvensis* L. и *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub); рассчитывают интегральный показатель СДП токсической нагрузки на приземный слой атмосферы по трем видам одновременно.

Работа реализована в рамках комплексной темы 05-1/вв-17 на биологическом факультете ДонНУ, раздел "Разработка способов биоиндикации экологического состояния Донбасса с использованием высших и низших растений".

Список литературы

1. Бессонова В.П. Пассивный мониторинг забруднення середовища важкими металами з використанням трав'яних рослин // Укр. ботан. журн. – 1991. – Т. 48, № 2. – С. 77-80.
2. Бессонова В.П. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжёлыми металлами // Экология. – 1992. – № 4. – С. 45-50.
3. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
4. Викторов С.В., Востокова Е.А. Основы индикационной геоботаники. – М.: Госгеолтехиздат, 1961. – 87 с.
5. Викторов С.В., Ремезова Г.Л. Индикационная геоботаника. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1988. – 168 с.
6. Виноградов Б.В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов. – М.: Высш. шк., 1964. – 328 с.

7. Глухов О.З., Сафонов А.І., Хижняк Н.А. Фітоіндикація металопресингу в антропогенно трансформованому середовищі. – Донецьк: Вид-во Норд-Прес, 2006. – 360 с.
8. Глухов О.З., Хижняк Н.А., Титов А.І., Сафонов А.І. Досвід оцінки токсичності ґрунтів антропогенно трансформованих екотопів // Проблеми екології та охорони техногенного регіону. – Донецьк: ДонНУ, 2005. – № 5. – С. 24-33.
9. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. – К.: Наук. думка, 1994. – 280 с.
10. Дьяконов К.Н., Дончева А.В. Экологическое проектирование и экспертиза: Учебник. – М.: Аспект-Пресс, 2005. – 384 с.
11. Корженевский В.В. Современное состояние и уровни фитоиндикации // Журн. общ. биол. – 1992. – Т. 53, № 5. – С. 704-714.
12. Пат. 10899 А UA, МКИ 7 A01G7/00. Спосіб тестування забруднення ґрунтів кадмієм: Деклараційний патент на корисну модель. – А.І. Сафонов. – № 20041008603; Заявл. 22.10.04, Опубл. 15.12.05. – Бюл. № 12. – 12 с.
13. Пат. 4726 А UA, МКИ 7 A01B79/00. Спосіб очищення техногенно забруднених ґрунтів від важких металів: патент на винахід. – М.М. Дронь. – Промислова власність. – 2005. – № 2. – С. 5.2.
14. Пат. 53375 А UA, МКИ 7 A01G7/00. Спосіб визначення мутагенного ефекту важких металів: Деклараційний патент на винахід. – О.З. Глухов, Н.А. Хижняк, А.І. Сафонов. – № 2002053834; Заявл. 10.05.02; Опубл. 15.01.03. – Бюл. № 1. – 3 с.
15. Пат. 5845 А UA, МКИ 7 A01G7/00. Спосіб фітоіндикаційної оцінки токсичності ґрунтів антропогенно трансформованих екотопів. – А.І. Сафонов. – № 20040907413; Заявл. 10.09.04.; Опубл. 15.03.05. – Бюл. № 3. – 14 с.
16. Пат. 64340 А UA, МКИ 7 A01G7/00. Спосіб визначення локального ефекту токсичного впливу важких металів: Деклараційний патент на винахід. – О.З. Глухов, Н.А. Хижняк, А.І. Сафонов. – № 2003054453; Заявл. 19.05.03; Опубл. 16.02.04. – Бюл. № 2. – 5 с.
17. Пат. 6499 А UA, МКИ 7 A01G7/00. Спосіб тестування забруднення ґрунтів ртуттю: Деклараційний патент на корисну модель. – О.З. Глухов, Н.А. Хижняк, А.І. Сафонов. – № 20040907412; Заявл. 10.09.04.; Опубл. 16.05.05. – Бюл. № 5. – 6 с.
18. Пат. 65772 А UA, МКИ 7 A01G7/00. Спосіб визначення забруднення ґрунтів важкими металами: Деклараційний патент на винахід. – О.З. Глухов, Н.А. Хижняк, А.І. Сафонов. – № 2003054433; Заявл. 19.05.03; Опубл. 15.04.04. – Бюл. № 4. – 4 с.
19. Пат. 6648 А UA, МКИ 7 A01G7/00. Спосіб проведення фітоіндикаційного моніторингу антропогенно трансформованого середовища. – А.І. Сафонов. – № 20041008609; Заявл. 22.10.04.; Опубл. 16.05.05. – Бюл. № 5. – 9 с.
20. Пат. 6649 А UA, МКИ 7 A01G7/00. Спосіб тестування забруднення ґрунтів міддю: Деклараційний патент на корисну модель. – О.З. Глухов, Н.А. Хижняк, А.І. Сафонов. – № 20041008616; Заявл. 22.10.04.; Опубл. 16.05.05. – Бюл. № 5. – 6 с.
21. Пат. 69970 А UA, МКИ 7 A01G7/00. Спосіб оцінки стійкості рослин до екзогенного впливу ксенобіотиків: патент на винахід. – О.М. Вінніченко. – Промислова власність. – 2004. – № 9. – С. 4.6.
22. Пат. 71291 А UA, МКИ 7 A01G7/00. Спосіб визначення впливу хімічних речовин на функціональний стан рослин: патент на винахід. – В.С. Стружко. – Промислова власність. – 2004. – № 11. – С. 4.3.
23. Ромащенко К.Ю. Типологічний аналіз рослинності крейдянних відслонень південного сходу України. Номінація та диференціація ценотипів // Укр. ботан. журн. – 2002. – Т. 59, № 6. – С. 676-688.
24. Сафонов А.І. Напрямки структурної фітоіндикації металопресингу в антропогенно трансформованому середовищі // Мат. Міжнар. наук. конф. "Актуальні проблеми

- ботаніки, екології та біотехнології" (м. Київ, 27-30 вересня 2006 р.). – К.: Фітосоціоцентр, 2006. – С. 113-114.
25. Сафонов А.І. Репродуктивний потенціал рослин-індикаторів промислового регіону // Мат. XII з'їзду Укр. ботан. тов-ва. – Одеса: Вид-во ОНУ, 2006. – С. 490.
 26. Сафонов А.І. Фітоіндикаційна оцінка територій промислового регіону // Мат. наук.-метод. семінару "Аналітико-екологічні дослідження при підготовці спеціалістів-екологів". – Донецьк: Б.В., 2005. – С. 65-66.
 27. Способ окраски препаратов эмбриологических структур растений: А.с. 1631424 СССР, МКИ G 01 N 33/48./ О.П. Камелина, О.Б. Проскурина, Н.А. Жинкина (СССР). – № 4497970/13; Заявл. 25.10.88; Опубл. 28.02.91, Бюл. № 8. – 2 с.
 28. Способ определения антропогенного воздействия на растения: А.с. 1494882 СССР, МКИ А 01 G 7/00./ Т.Н. Жигаловская, И.А. Руднева (СССР). – № 4352814/30-13; Заявл. 16.11.87; Опубл. 23.07.89, Бюл. № 27. – 2 с.
 29. Способ определения жизнеспособности пыльцы: А.с. 1565404 СССР, МКИ А 01 G 7/00./ А.И. Духовный (СССР). – № 4482200; Заявл. 25.10.86; Опубл. 28.02.87, Бюл. №1. – 3 с.
 30. Способ определения мутагенного эффекта факторов среды: А.с. 1463189 СССР, МКИ А 01 Н 1/00, 1/06./ Н.Е. Попа, А.М. Закржевская (СССР). – № 4152814/31-13; Заявл. 28.11.86; Опубл. 07.03.89, Бюл. № 9. – 3 с.
 31. Способ отбора адаптированных форм растений: А.с. 1514279 СССР, МКИ А 01 G 7/00./ Лотанина Л.М. (СССР). – № 4244566/13; Заявл. 25.10.88; Опубл. 13.05.87. – Бюл. № 1. – 3 с.
 32. Способ оценки функционального состояния растений: А.с. 1553034 СССР, МКИ А 01 G 7/00./ А.С. Манников (СССР). – № 4329084; Заявл. 14.10.87; Опубл. 28.02.90. – Бюл. № 1. – 4 с.
 33. Титов А.И., Беломеря П.С., Сафонов А.И. Опыт создания шкал анатомо-морфологической пластичности фитоиндикаторов техногенного региона // Тез. III Міжнар. наук. конф. "Біорізноманіття та роль зооценозів природних та антропогенних екосистем". – Дніпропетровськ: ДНУ, 2005. – С. 100-101.
 34. Титов А.И., Беломеря П.С., Сафонов А.И. Расширение программы непрерывного фитоиндикационного мониторинга антропогенно нарушенной среды // Відновлення порушених екосистем. – Донецьк: Донецький ботан. сад НАНУ, 2005. – С. 121-123.
 35. Ткаченко В.С., Дронова І.С. Синфітоіндикаційна характеристика кретофільної рослинності заповідника "Крейдова флора" // Укр. ботан. журн. – 2003. – Т. 60, № 1. – С. 18-25.
 36. Экологическая экспертиза: Уч. пособие / Под ред. В.К. Донченко, В.М. Питулько, В.В. Растоскуева. – М.: Академия, 2005. – 480 с.

Сафонов А.І. Індикаційна ботанічна експертиза – основа екологічного моніторингу в індустріальному регіоні. – Проведено критичний аналіз інформативності даних фітоіндикаційного моніторингу в антропогенно трансформованому регіоні. Подано обґрунтування необхідності обліку ботанічних даних за умов господарського проектування, планування та використання природних ресурсів, заходів із діагностики та відновлення екосистем.

Ключові слова: рослини-індикатори, екологічний моніторинг, експертиза, забруднення середовища.

Safonov A.I. Indication botanical expertise is the basis of ecological monitoring in an industrial region. – A critical analysis of the informativeness of the data of phytoindicational monitoring in anthropogenically transformed region has been carried out. A substantiation of necessity of botanical data registration while organizing economic projecting, planning and using natural recourses as well as ecosystems' diagnostics and restoration activities has been given.

Key words: plants-indicators, ecological monitoring, expertise, environment pollution.