

DOI: 10.34220/BSNAPC2022\_103-108

УДК 574.472

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

## MODERN METHODS OF MONITORING FOREST ECOSYSTEMS

**Раменская А.С.**, студентка 2 курса **Ramenskaya A.S.**, 2th year student of the бакалавриата направления подготовки Faculty of Forestry on "Landscape Architecture" «Ландшафтная архитектура», ФГБОУ ВО Voronezh State Forest Engineering University «Воронежский государственный лесотехнический университет», Воронеж, named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia Россия.

**Дегтярева С.И.**, кандидат биологических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет», Воронеж, Россия. **Degtyareva S.I.**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia

**Дорофеева В.Д.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж **Dorofeeva V.D.**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются такие понятия как «биоиндикация», дается её определение и наиболее известные методы фитомониторинга в лесных экосистемах. Обсуждаются уже зарекомендовавшие себя методы и недавно появившиеся. Рассматривается выгодность данного мониторинга в условиях анализа местности «в поле». Прогнозируется выгодность биоиндикации по сравнению с другими методами анализа состояния экосистем.

**Summary:** This article discusses such concepts as "bioindication", gives its definition and the most well-known methods of phytomonitoring in forest ecosystems. The methods that have already proven themselves and those that have recently appeared are discussed. The profitability of this monitoring in the conditions of terrain analysis "in the field" is considered. The profitability of bioindication is predicted in comparison with other methods of analyzing the state of ecosystems.

**Ключевые слова:** биоиндикация; лесные экосистемы; индикаторы; фитомониторинг

**Keywords:** bioindication; forest ecosystems; indicators; phytomonitoring

**Введение**

Следует отметить, что на начальном этапе становления системы экологического мониторинга ведущим методом оценки качества окружающей среды с помощью биологических объектов было биотестирование – процедура установления токсичности

среды с помощью тест-объектов. Биоиндикация же определяется как биологически значимые нагрузки на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. Это относится ко всем видам антропогенных загрязнений. В отличие от биотестирования она предполагает оценку качества среды обитания и ее отдельных характеристик по состоянию биоты в природных условиях, то есть биотестирование – главный метод получения санитарно-гигиенических нормативов, а биоиндикация – экологических [8].

Сущность биоиндикации заключается в том, что определенные факторы среды создают возможность существования того или иного вида. Объектами биоиндикационных исследований могут быть как отдельные виды животных и растений, так и целые экосистемы. Так, радиоактивное загрязнение определяют по состоянию хвойных пород деревьев (наиболее часто используют ель обыкновенную); промышленное загрязнение – по многим представителям почвенной фауны (педобионты); загрязнение воздуха очень чутко воспринимается мхами, лишайниками (улавливают сернистый газ).

**Цель исследования** – проанализировать современные способы мониторинга лесных экосистем и рассмотреть выгоду и актуальность данного метода на настоящий момент.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Биоиндикация включает в себя применение биоиндикаторов, с помощью которых может проводиться оценка как абиотических факторов (температура, влажность, кислотность, соленость, содержание поллютантов и т.д.), так и биотических (благополучие организмов, их популяций и сообществ). Виды-биоиндикаторы должны соответствовать целому ряду условий: быть широко распространенными, легко идентифицируемыми и демонстрировать однозначную реакцию всех особей на изменение определенного параметра окружающей среды.

Наиболее часто в качестве индикаторных организмов используют микроорганизмы: бактерии (рода *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Staphilococcus*), актиномицеты, плесневые грибы, дрожжи, водоросли, так как они весьма широко распространены в природе. В отличие от высших растений, лишайники поглощают воду с растворёнными в ней элементами только из воздуха и дождевой воды и в течение всей жизни накапливают поллютанты. При этом они не способны избавляться от поражённых токсичными веществами частей слоевищ, что приводит к определённым изменениям в их физиологии и биохимии. Поэтому лишайники реагируют на загрязнение атмосферы раньше и сильнее, чем высшие растения [3].

Используют и наблюдение под микроскопом форм и скорости движения червей, например нематод, пиявок и коловраток. Фиксирование продолжительности их жизни позволяют определять микроколичества ионов металлов. Педобионты, обитающие в условиях урбоэкосистем подвергаются мощному антропогенному воздействию, в ответ на это воздействие показывают четкий, хорошо воспроизводимый и объективный отклик на воздействие внешнего фактора. Кроме того, педобионты обладают чувствительностью этого отклика на малые содержания загрязняющих веществ. Поэтому почвенная мезофауна используется в биотестировании в качестве тест-объектов. Наиболее удобными тест-объектами являются дождевые черви, шелкоуны и их личинки, крупные жужелицы, некоторые виды мокриц, чернотелки и их личинки [11].

Индикаторные растения используются при оценке механического и кислотного состава почв, их плодородия, увлажнения и засоления, степени минерализации грунтовых вод и степени загрязнения атмосферного воздуха газообразными соединениями и т.д.

Широко доступными являются методы биоиндикации, разработанные для деревьев. В природе особи всегда отличаются разнообразием, построенным на сочетании различных генотипов особей, имеющих разное фенотипическое выражение. Традиционно в целях изучения изменчивости продуктивных признаков используется ряд макроморфологических признаков, которые успешно регистрируются в полевых условиях. Это высота растения, длина и ширина листовых пластинок, число боковых побегов на особь, число цветков, длина доли листа [4].

К настоящему моменту сложились условия, позволяющие широко использовать современные методы обработки экологических данных. Сформированы банки многолетних данных по наблюдениям за природными экосистемами; разработан и апробирован ряд методов интегральной оценки состояния различного типа экосистем; развиты аппаратные и программные информационные компьютерные технологии, позволяющие анализировать необходимые массивы экологических даны [5].

К сожалению, на данный момент, использование в качестве объектов биоиндикации высших базидиальных грибов менее известно, несмотря на повсеместное распространение данной группы живых организмов в различных регионах мира и высокую толерантность многих из них к антропогенному прессингу и, как следствие, способность использоваться как биосорбенты.

Наибольшая концентрация тяжелых металлов регистрируется в шляпках плодовых тел, и, по степени снижения данного свойства выстраивается ряд от рода *Agaricus* (шампиньон) до *Boletus* (белый гриб) [7].

С. П. Арефьев полагает, что древесные грибы связаны с процессами распада леса, где каждый вид рассматривается как проявление соответствующего ему фактора распада, численность вида рассматривается как сила этого фактора. Ученым была создана экологическая матрица сообщества древесных грибов, которая позволяет присваивать им характеристики, необходимые для расчета параметров состояния. Согласно матрице, каждый вид гриба ассоциируется с уникальным сочетанием факторов: экологическая сопряженность видов, экологический континуум, периодичность свойств видов, филогенетическая близость видов. Наличие вида гриба в экосистеме показывает действие этих факторов, а численность – их силу, в свою очередь, каждое сочетание факторов ассоциируется с определенным состоянием лесной экосистемы.

Данные матричной микоиндикации в количественных показателях могут продемонстрировать изменение качества и устойчивости лесных экосистем, увеличение или уменьшение аномальности их состояния по мере изменения антропогенной нагрузки и других факторов, однако в аспекте составления ГИС он практически не разработан. Поэтому одним из условий его успешного применения является проектирование современной базы данных по микоиндикации состояния лесных экосистем [6].

Проведение биологического мониторинга подразумевает создание банков биологических данных, характеризующих экологическое состояние изучаемых природных

объектов. Поскольку сообщества живых организмов замыкают на себе все процессы, протекающие в природе, то именно результаты биологического мониторинга являются ключевым компонентом всей информационной системы.

Так, фитоиндикация как одно из направлений биоиндикации сформировалась еще в XIX в. в связи с необходимостью решения практических задач для определения глубины залегания грунтовых вод, засоления, геохимических аномалий. Данный раздел биоиндикации может осуществляться по ответной реакции растений у видов, наиболее чувствительных к отдельным ингредиентам, или по накоплению вредных веществ в теле растений.

За последние десятилетия отечественными и зарубежными авторами накоплен значительный объем фактического материала по изучению антропогенного воздействия на различные аспекты жизнедеятельности растений. Разработаны ботанические, физиолого-биохимические, морфо-биометрические, биофизические, дендрохронологические, популяционные и биогеоценологические методы оценки влияния атмосферных загрязнителей на растительность и чистоту воздуха.

Отмечены нарушение феноритмов роста и развития растений и ускорение процессов старения организмов том числе ускорение начальных фаз распускания почек, облиствления побегов, начала цветения у древесных растений, а также пожелтения листьев при загрязнении воздуха, до 12-17 предельно допустимых концентраций (ПДК). При этом сокращается продолжительность вегетации, но полный листопад заканчивается в близкие сроки, как и в чистой среде. Указанные нарушения феноритмов и развития растений вызваны изменением микроклимата: на загрязненных территориях раньше и быстрее происходит снеготаяние и раньше среднесуточная температура воздуха достигает +5 С°, что необходимо для распускания почек.

Отмечено, что фенологические методы биоиндикации возможны для оценки достаточно высоких уровней загрязнения воздуха (10 и более ПДК). Хроническое воздействие промышленных газов на растительность вызывает серьезные изменения анатомического строения листьев и хвои растений и увеличение их ксерофитизации. В городах и промышленных центрах у растений листья более мелкие, несколько более толстые и имеют более мелкие клетки. У них меньше толщина верхнего эпидермиса, кутикулы, толщина и число слоев полисадной ткани, больше число устьиц на 1мм<sup>2</sup> поверхности листа.

Степень описанных нарушений в анатомическом строении ассимиляционных органов зависит (коррелирует) от концентрации и их токсичности, а также длительности их действия и чувствительности видов [10].

### **Заключение.**

В условиях повышенной антропогенной трансформации лесных экосистем на живые организмы воздействуют различные нарушающие факторы, что по интенсивности и продолжительности воздействия крайне отличны от обычной существующей в природе нормы. Кроме того, антропогенные факторы воздействуют с такой скоростью, что биологические системы (популяции, сообщества) не успевают адаптироваться. В результате превышения допустимой нагрузки начинают проявляться негативные процессы, связанные

со снижением продуктивности древостоев из-за массового размножения возбудителей болезней, гибелью не только отдельных деревьев, но и целых лесных массивов.

В связи с этим возникает необходимость оценки состояния лесных экосистем до начала развития деструктивных процессов и своевременное если не прекращение, то снижение антропогенного воздействия. Особенно актуально проведение подобных работ в местах, где антропогенная нагрузка наиболее интенсивная, в частности, в парках, пригородных лесах и иных антропогенно нарушенных территориях.

Таким образом, биологические методы анализа, основанные на использовании в качестве аналитического сигнала специфических отклонений индикаторных организмов от нормы, позволяют с достаточно высокой чувствительностью определять широкий круг неорганических и органических физиологически активных соединений в различных объектах окружающей среды. По чувствительности они превосходят химические методы, сопоставимы, как правило, с традиционными физическими методами анализа.

С их помощью, возможно, значительно упростить анализ самых разных, в частности природных, объектов, оценивая на первой его стадии степень общего загрязнения и общей токсичности объекта для живого организма и целесообразность его дальнейшего детального анализа другими более сложными и дорогостоящими методами.

#### **Список литературы**

1. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем [Текст] / Под ред. Р. Шуберта. – М. : Мир. – 1988. – 348 с.
2. Голосова, М.А. Биоиндикация состояния лесных экосистем по показателям экологических параметров муравейников [Текст] / М.А. Голосова // Лесной вестник. – 2008. – №3 – С. 117-121.
3. Иванов, А.И., Дунаева Т.А., О.В. Скобанева. Использование методов биоиндикации для оценки состояния лесных экосистем [Текст] / А.И. Иванов, Т. А. Дунаева, О. В. Скобанева // Известия Пензенского государственного педагогического университета имени В. Г. Белинского естественные науки. – 2011. – № 25. – С 8-14.
4. Белых, О.А. Биоиндикация состояния лесных экосистем Южного Прибайкалья с использованием характеристик травянистых мезофитов [Текст] / О. А. Белых // Известия Байкальского государственного университета. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 362-369. — DOI: 10.17150/2500-2759.2018.28(3).362-369.
5. Зинченко, Т.Д. Многолетние мониторинговые исследования малых рек волжского бассейна (методология проведения) [Текст ] / Т.Д. Зинченко // Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия. DOI: 10.24411/9999-002A-2018-10038.
6. Фомин, В. В. К разработке баз данных по микоиндикации состояния лесов Западной Сибири [Текст] / В. В. Фомин // Лесной вестник. – 20014– № 4 – С. 18-24.
7. Гордеева, И.В. Перспективы использования высших базидиальных грибов в качестве тест-объектов для биоиндикации [Текст] / И.В. Гордеева // Международный научный журнал «Инновационная наука». 2015 – № 9. – С. 30-33.
8. Беднова, О.В. К вопросу о прикладных системах биологического мониторинга [Текст ] / О.В. Беднова //Лесной вестник. – 2011. – № 4. – С. 121.

9. Андреев, Д.Н. Биоиндикация состояния окружающей среды по относительным показателям флуоресценции хлорофилла [Текст] / Д.Н. Андреев //Лесной вестник. – 2014. – № 5. – С. 6-11.
10. Неверова, О.А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения [Текст ] / О.А. Неверова // «Биосфера». – 2009. – №1. – С. 118-128.
11. Смольникова, В.В. Возможности использования почвенной мезофауны для оценки экологического состояния почвенных экосистем [Текст] / Смольникова В.В. // Проблемы рационального природопользования и экологический мониторинг. – 2010 – С. 115-119.
12. Lebedev V.G. GENETIC ENGINEERING AND GENOME EDITING FOR IMPROVING NITROGEN USE EFFICIENCY IN PLANTS/ V.G. Lebedev, K.A.Shestibratov, A.A. Popova // Cells.- 2021.V.10. № 12