

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К БИОМОНИТОРИНГУ ЛЕСНЫХ И СИНАНТРОПИЗИРОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ

С.И. Дегтярева, В.Д. Дорофеева

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия, e-mail: degtjarewa-lana@yandex.ru

**Аннотация.** Методологические подходы к изучению функционирования отдельных экосистем различны. Мы использовали качественные (структурное биоразнообразие) и количественные (относительное проективное покрытие, обилие и константность) оценочные параметры как показатели участия вида в сложении растительной ассоциации на примере лесной экосистемы и двух городских как один из вариантов целого цикла биомониторинга. В данной работе применили также традиционный сравнительный геоботанический анализ растительности. Данный анализ выявляет взаимосвязи между всеми систематическими группами растений, позволяет установить сложившиеся закономерности в структуре сообщества и интерпретировать полученные данные. Выбор дендрария и крупного городского парка неслучаен, т.к. они расположены на исторической территории Воронежской нагорной дубравы (южные кварталы дубравы, представленные естественными дубовыми лесами) и нам интересно было проследить синантропизацию флоры.

**Ключевые слова.** Биомониторинг, экосистема, качественные и количественные показатели, древесно-кустарниковая растительность, напочвенный покров.

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO BIOMONITORING OF FOREST AND SYNANTHROPIZED ECOSYSTEMS

S. I. Degtyareva, V. D. Dorofeeva

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia, e-mail: degtjarewa-lana@yandex.ru

**Abstract.** Methodological approaches to studying the functioning of individual ecosystems vary. We used qualitative (structural biodiversity) and quantitative (relative projective coverage, abundance, and constancy) evaluation parameters as indicators of the species' participation in the formation of a plant association using the example of a forest ecosystem and two urban ecosystems as one of the options for a whole cycle of biomonitoring. The traditional comparative geobotanical vegetation analysis was also used in this work. This analysis reveals the interrelationships between all systematic groups of plants, allows us to establish established patterns in the structure of the

community and interpret the data obtained. The choice of an arboretum and a large urban park is not accidental, since they are located on the historical territory of the Voronezh Upland oak forest (the southern quarters of the oak forest, represented by natural oak forests) and it was interesting for us to trace the synanthropization of the flora.

**Keywords.** Biomonitoring, ecosystem, qualitative and quantitative indicators, tree and shrub vegetation, ground cover.

Сценарии изменения планеты, разработанные Межправительственной группой экспертов по изменению климата, стали важным инструментом для анализа, моделирования и прогнозирования последствий изменения климата в будущем в различных областях исследований после более чем 30 лет разработки и совершенствования [1]. Особое внимание в данном проекте уделено биомониторингу как раз лесных экосистем.

Подходы к изучению функционирования леса в целом и других отдельных экосистем различны.

Ряд исследователей предлагают традиционные тест-объекты – эпифитные лишайники и моховидные, которые перманентно реагируют на загрязнение воздуха и изменение климата [2, 3].

Интересным и комплексным подходом является биомониторинг, основанный на трёх различных биоиндикаторах: годовых кольцах деревьев, споровых растений и конкретных поллютантов (так называемый городско-промышленный подход) [4].

Действительно, атмосферные загрязнители, переносимые на большие расстояния (или трансграничные загрязнители), включают в себя микроэлементы с изотопным соотношением и составом, которые отличаются от состава бытовых загрязнителей и представляют угрозу для экосистем. Эти различия можно использовать в качестве индикаторов.

И, конечно же, как же не упомянуть про использование искусственного интеллекта в вопросах биоиндикации. Применение его различных методов имеет решающее значение как для метагеномного анализа, так и для анализа данных изображений (с камер и дистанционного зондирования) для идентификации таксонов, взаимодействия и фенотипирования, а также для исследований биомониторинга почти во всех симбиотических ассоциациях – от бактерий, лишайников и мхов до коралловых рифов [5]. Эти методы оказываются особенно полезными, если размер выборки был небольшим, и если в ней были данные разных типов или отсутствовали значения, и их можно было применить для сокращения времени вычислений.

В данной работе мы предлагаем своё видение подхода к изучению биомониторинга крупных массивов г. Воронежа – Воронежская нагорная дубрава (далее ВНД), Центральный парк культуры и отдыха (далее ЦПКиО), дендрарий Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова (далее дендрарий),

Растительность и её структура на пробных площадках ВНД являются контролем (природная экосистема). ЦПКиО и дендрарий в прошлом были территорией дубравы, в настоящее время относятся к лесопарковой части зеленой зоны города, это синантропизированные экосистемы.

Цель работы – изучить изменения в структуре леса и пространственном распределении растительности (ВНД), структуре измененных экосистем (ЦПКиО, дендрарий), значении и стабильности всех территорий.

Мы использовали качественные (структурное биоразнообразие) и количественные (относительное проективное покрытие, обилие и константность) оценочные параметры как показатели участия вида в сложении как лесной растительной ассоциации так и выбранных городских экосистем.

Относительное проективное покрытие определяли как относительный процент площади, занятой растением, выражаемый в процентах от возможных 100 %. Обилие – это количество особей вида, приходящееся на единицу площади.

В данной работе мы приняли решение выделять три наиболее четко различимые стадии рекреации: сильная, средняя, слабая

При описании растительных ассоциаций для характеристики обилия западноевропейские и российские ботаники по-разному используют или шкалу О.Гульта-Друде, она же шкала Друде или шкалу Ж.Браун-Бланке.

Постоянство видов приводится в традиционных для направления Ж. Браун-Бланке баллах константности. Выделялось 5 классов константности: I класс – вид присутствовал не более чем на 20 % площадок, II класс – от 20 до 40 % площадок, III класс – от 40 до 60 %, IV класс – от 60 до 80 %, V класс – более 80 %.

В ЦПКиО и дендрарии больных и усыхающих деревьев нами не зарегистрировано, это связано, конечно же, с вовремя проводимыми хозяйственными мероприятиями. В лесных экосистемах своевременную вырубку ослабленного древостоя не проводят.

В составе флоры ЦПКиО зарегистрировано 70 древесно-кустарниковых пород, относящиеся к 46 родам, 18 семействам.

Из хвойных пород (4 вида) относятся к одному классу Pinopsida и 2 семействам: Pinaceae (*Picea abies* L., *Picea pungens* Engelm., *Larix sibirica* Ledeb.) и Cupressaceae (*Thuja occidentalis* L.). Выявленные лиственные породы (66 видов) относятся к 5 подклассам и 16 семействам. Широко представлены и многочисленны семейства: Rosaceae (17 видов), Salicaceae (9), Betulaceae (5), Aceraceae (5), Oleaceae (4), Caprifoliaceae (4), Ulmaceae (4), Fabaceae (4). В других семействах по 1-2 вида. Наиболее богаты видами роды: р. Salix (6), р. Acer (5), р. Ulmus (4), р. Populus (4).

Состав травянистой флоры насчитывает 91 вид. Структурное разнообразие выглядит следующим образом: семейств – 28, родов – 63. К самым многочисленным семействам относятся: Rosaceae (12 видов), Poaceae (10), Lamiaceae (7), Asteraceae (7), Fabaceae (5), Apiaceae (4), Scrophulariaceae (4), Rubiaceae (4). Ведущими родами являются: р. Festuca (4 вида), р. Poa (4), р. Potentilla (4).

В травянистом покрове 1 и 2 стадии рекреации преобладают травы широколиственных лесов: сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.) с проективным покрытием (40-44,6 %) и осока волосистая (*Carex pilosa* Scop.) – 19,8 %-29,6 %. Заметим, что оба вида также являются доминантами растительного покрова крупнейшего лесного массива города – ВНД. Видовое богатство на отдельных учётных площадках 7-8 видов, чуть больше на пробных площадках со средней стадией рекреации – 13 видов. На площадках 1, 2 стадии рекреации вообще

отсутствуют сорные виды. Это еще раз подчеркивает природную специфику парка и его историческое расположение на территории дубравы.

На территории дендрария древесно-кустарниковая растительность – интродуцированная, но присутствуют и основные лесообразующие породы РФ. Дендрарий был создан в период 1951-1953 г.г. с научно-исследовательской целью – изучение ресурсов отечественной и мировой флоры для обогащения лесного хозяйства. Видовой состав по итогам инвентаризации 2008 г. насчитывал около 270 видов и форм древесно-кустарниковой растительности, которые относятся к 97 родам и 35 семействам. Под действием повышенных рекреационных нагрузок количество древесно-кустарниковой растительности снизилось до 226 видов, относящиеся к 75 родам и 30 семействам (инвентаризация 2019 г.), к концу 2024 г. – около 200 видов. Наибольшее количество видов сосредоточено в семействах Pinaceae Lindl. (32) вида, Cupressaceae Juss. (24), Rosaceae Juss. (67) Caprifoliaceae Juss. (18), Oleaceae Hoffm. et Link. (16), Aceraceae Juss. (11).

В первом ярусе доминируют *Larix sibirica* Ldb., *Pinus strobus* L., *Picea abies* Karst., *Quercus robur* L., *Populus nigra* L. Второй ярус представляют *Tilia cordata* Mill., *Carpinus betulus* L., *Acer platanoides* L., *Phellodendron amurense* Rupr. В третьем и четвертом ярусах – подрост древесных растений и кустарники (*Sorbus aucuparia* L., *Cotinus coggygria* Scop., *Corylus avellana* L., *Carpinus orientalis* Mill., род *Berberis* L., род *Spiraea* L.), в пятом – травянистая жизненная форма. Возраст древесного яруса различен и варьирует от 5 до 66 лет.

Установлен 31 вид из травянистого напочвенного покрова, относящейся к 30 родам и 19 семействам. Отметим сразу, что выявленный флористический состав в количестве 31 вид на всей территории дендрария в полном составе проявил себя и в серии учётных площадок.

Из 16 видов на пробных площадках, где проявлено действие незначительного антропогенного вмешательства (слабая стадия рекреации), ровно половина видов (8) относится к неморальным видам, из них с высоким проективным покрытием отмечены *Aegopodium podagraria* L. (32 %) и *Glechoma hederacea* L. (19 %), остальные виды от 0, 0 5% (*Viola mirabilis* L.) до 2 % (*Geum urbanum* L.) или 4 % (*Fragaria vesca* L.). Класс обилия вида колеблется у первых двух доминантов напочвенного покрова 2-3, у всех остальных видов примерно 1.

На учётных площадках со средней степенью (2 стадия) и сильной (3 стадия) рекреации видовое богатство составило 11 видов. Число типичных неморальных видов невелико 3 (3 стадия) и 5 (2 стадия), проективное покрытие этих же видов незначительно – 3-6 %, и соответственно класс обилия низкий – 1-2. В тоже время необходимо отметить, что и у сорной растительности, проективное покрытие невысокое: *Bromus inermis* Leyss. (средняя стадия) – 13 % и *Taraxacum officinale* Wed. – 12 % (класс обилия у обоих видов – 2). Акцентируем внимание на то, что все выявленные сорные виды являются местными сорняками, а не заносными (адвентивными). Общее проективное покрытие площадок 1 стадии рекреации в целом около 87,15 %; второй стадии – 64,0 %; третьей стадии (сильная) – 52,0 %.

И еще один интересный факт мы зафиксировали, что на 3 стадии рекреационной нагрузки в дендрарии и ЦПКиО на одной трети (1/3) площадей появляется густая тропинопная сеть, но растительность, в том числе сорная не заселяет эти пространства.

Виды 5 класса, (т.е. виды, которые встречаются на всех пробных площадках) отсутствуют в обеих выделенных группах. Неморальные виды, зафиксированы нами с принадлежностью чаще всего к 4 классу – *Aegopodium podagraria* L., *Carex pilosa* Scop.; или 3 классу – *Geum urbanum* L., *Polygonatum multiflorum* L., *Stellaria holostea* L.

Сорные растения отмечены с низким классом постоянства видов 1 (редко 2), исключение составляют *Plantago major* L. (4 класс) и *Elytrigia repens* L. (3 класс).

Если судить в целом, то в дендрарии 32,3 % относятся к 0 классу обилия, в ЦПКиО (при видовом богатстве на пробных площадках 17 видов) виды с 0 классом обилия составляют 76,5 %.

Полученные данные позволяют нам засвидетельствовать следующий факт – синантропизация флоры ЦПКиО и дендрария протекает медленно, что не типично для городских насаждений, но это и хорошо для сохранения уникальности объектов.

В конце мы хотели бы отметить, что сценарии изменения климата полезны для прогнозирования будущих последствий изменения лесных экосистем, но точность моделирования нуждается в дальнейшем повышении на конкретных территориях, учётом их генезиса.

На основе предложенных исследований сама платформа биомониторинга, интегрирующая наблюдение, количественные и качественные показатели подходит для лучшего сохранения в первую очередь видового разнообразия.

### Список литературы

1. Application of climate change scenarios in the simulation of forest ecosystems: an overview // Haoyun Liu, Peng Li, Changhui Peng, Cong Liu, Xiaolu Zhou, Zhengmiao Deng, Cicheng Zhang, Zelin Liu // Environmental Reviews, 2023. – Volume 31. – Issue 3. – Pages: 565-588. // DOI: <https://doi.org/10.1139/er-2022-0111>.
2. Biomonitoring with Lichens and Mosses in Forests // Giorgio Brunialti, Luisa Frati // Forests, 2023 – Volume 14. – Issue 11. – Pages: 2265-2265. // DOI: <https://doi.org/10.3390/f14112265>.
3. Recent Trends and Future Challenges for Lichen Biomonitoring in Forests // Luisa Frati, Giorgio Brunialti // Forests, 2023. – Volume 14. – Issue 3. – Pages 647-647. // DOI: <https://doi.org/10.3390/f14030647>.
4. Integration of ecological indicators to assess a multitemporal impact of cement industries // Claudia Cocozza, Francesco Parisi, Massimo Chiari, Stefano Loppi, Silvana Munzi, Sonia Ravera // Environmental science and pollution research international, 2024. – Volume 31. – Issue 35. – Pages 48233-48249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34079-y>.
5. Survey of artificial intelligence approaches in the study of anthropogenic impacts on symbiotic organisms – a holistic view // Manju M Gupta, Akshat Gupta // Symbiosis, 2021. – Volume 84. – Issue 3. – Pages: 271-283 // DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00778-0>.

### References

1. Application of climate change scenarios in the simulation of forest ecosystems: an overview // Haoyun Liu, Peng Li, Changhui Peng, Cong Liu, Xiaolu Zhou, Zhengmiao Deng, Cicheng

Zhang, Zelin Liu // Environmental Reviews, 2023. – Volume 31. – Issue 3. – Pages: 565-588. // DOI: <https://doi.org/10.1139/er-2022-0111>.

2. Biomonitoring with Lichens and Mosses in Forests // Giorgio Brunialti, Luisa Frati // Forests, 2023 – Volume 14. – Issue 11. – Pages: 2265-2265. // DOI: <https://doi.org/10.3390/f14112265>.

3. Recent Trends and Future Challenges for Lichen Biomonitoring in Forests // Luisa Frati, Giorgio Brunialti // Forests, 2023. – Volume 14. – Issue 3. – Pages 647-647. // DOI: <https://doi.org/10.3390/f14030647>.

4. Integration of ecological indicators to assess a multitemporal impact of cement industries // Claudia Cocozza, Francesco Parisi, Massimo Chiari, Stefano Loppi, Silvana Munzi, Sonia Ravera // Environmental science and pollution research international, 2024. – Volume 31. – Issue 35. – Pages 48233-48249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34079-y>.

5. Survey of artificial intelligence approaches in the study of anthropogenic impacts on symbiotic organisms – a holistic view // Manju M Gupta, Akshat Gupta // Symbiosis, 2021. – Volume 84. – Issue 3. – Pages: 271-283 // DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00778-0>.