

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2024, Том 11, № 4 / 2024, Vol. 11, Iss. 4 <https://resources.today/issue-4-2024.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/04NZOR424.pdf>

DOI: 10.15862/04NZOR424 (<https://doi.org/10.15862/04NZOR424>)

1.6.21. Геоэкология (географические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Белякова, О. И. Оценка состояния городской среды методом лишеноиндикации / О. И. Белякова, В. В. Юшин, Ю. Ю. Курасова, К. А. Персидская, К. Н. Кожкина // Отходы и ресурсы. — 2024. — Т. 11. — № 4. — URL: <https://resources.today/PDF/04NZOR424.pdf> DOI: 10.15862/04NZOR424

For citation:

Belyakova O.I., Yushin V.V., Kurasova Yu.Yu., Persian K.A., Kozhikina K.N. Assessment of the state of the urban environment by the lichenoindication method. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2024;11(4): 04NZOR424. Available at: <https://resources.today/PDF/04NZOR424.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/04NZOR424

УДК 574.21

Белякова Ольга Ивановна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия
Доцент кафедры «Охраны труда и окружающей среды»
Кандидат биологических наук, доцент
E-mail: belyakova-olga1210@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=273359

Юшин Василий Валерьевич

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия
Заведующий кафедрой «Охраны труда и окружающей среды»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: ushinvv@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=488058

Курасова Юлия Юрьевна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия
Аспирант
E-mail: kurasova.ulia@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1228203

Персидская Ксения Андреевна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия
E-mail: ksenipersi@bk.ru

Кожкина Ксения Николаевна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Россия
E-mail: kkaziji@mail.ru

Оценка состояния городской среды методом лишеноиндикации

Аннотация. Проведенные исследования были направлены на оценку степени загрязнения атмосферного воздуха города Курска методом лишеноиндикации. В результате исследования было выявлено, что биоиндикация, в частности с использованием лишайников, является эффективным инструментом для оценки состояния городской среды. Лишайники,

являясь чувствительными индикаторами изменений качества воздуха, отражают экологические изменения и уровень антропогенного воздействия. В ходе оценки экологической обстановки в городе были собраны данные, демонстрирующие уровень загрязнения воздуха, а также влияние различных факторов на состояние экосистем. Выявлено, что проведенная оценка площади проективного покрытия лишайниками стволов деревьев дает возможность установить связь между их распространением и концентрацией загрязняющих веществ. При этом, выявленная зависимость подтверждает, что увеличение содержания загрязняющих веществ в атмосфере негативно сказывается на состоянии лишайников, а составленная карта зонирования территории города Курска по показателям качества окружающей среды позволяет визуализировать экологическую ситуацию в городе.

Таким образом, результаты данного исследования подчеркивают важность применения биоиндикации в системах экологического мониторинга и могут использоваться для определения зон с высоким уровнем загрязнения, разработки планов по улучшению качества атмосферного воздуха и охраны окружающей среды, а также помочь в планировании озеленения, необходимости проведения мероприятий по снижению выбросов вредных веществ и информирования населения о текущем состоянии экологии в городе, что имеет ключевое значение для сохранения биоразнообразия и здоровья населения.

Ключевые слова: атмосферный воздух; загрязнение атмосферного воздуха; биоиндикация; лишеноиндикация; оксид углерода; диоксид азота; зонирование территорий

Введение

Атмосферный воздух представляет собой жизненно важную субстанцию, окружающую нашу планету, и обеспечивающую жизнедеятельность всех живых организмов. Любые изменения, происходящие в составе атмосферного воздуха и сопровождающиеся попаданием в него различных вредных веществ, приводящих к ухудшению качества воздуха и создающих неблагоприятные условия для здоровья человека, называются загрязнением атмосферного воздуха¹. На сегодняшний день основной причиной загрязнения атмосферного воздуха в городах являются автотранспортные выбросы и выбросы промышленных предприятий. Каждый день миллионы автомобилей выходят на дороги, выбрасывая в атмосферу значительное количество углерода, оксида азота и других вредных веществ [1]. Эти загрязнители не только ухудшают качество воздуха, но и воздействуют на здоровье людей, вызывая респираторные заболевания и аллергические реакции. Поэтому, проблема загрязнения атмосферного воздуха относится к числу наиболее острых глобальных проблем современности, а мониторинг загрязнения атмосферы становится все более важным в условиях роста урбанизации и повышения антропогенной нагрузки на окружающую среду [2; 3].

Одним из самых простых и доступных методов контроля степени загрязнения атмосферного воздуха является метод биоиндикации, позволяющий оценить интенсивность антропогенного воздействия на окружающую среду. Исследование загрязнения атмосферного воздуха методом лишеноиндикации представляет собой важный инструмент экологического мониторинга, позволяющий оценить качество окружающей среды [4]. Лишайники, являясь полифилитической несистематической группой своеобразных симбиотических организмов, встречаются в различных экосистемах и обладают уникальной способностью к накоплению загрязняющих веществ. Их высокая чувствительность к изменениям в качестве воздуха делает их эффективными биоиндикаторами. В результате исследования различных видов лишайников

¹ Об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс]: федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ // Справочно-правовая система «Консультант Плюс». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/ (дата обращения: 05.09.2024).

получают информацию о концентрации тяжелых металлов, углекислого газа и других вредных веществ. Кроме того, лишайники могут служить индикаторами изменений в экологии, позволяя отслеживать влияние антропогенной деятельности на природные экосистемы [5].

В результате проведенного исследования были получены данные о распределении эпифитных лишайников в различных округах города Курска. Для каждой зоны были зафиксированы показатели площади покрытия лишайниками стволов деревьев, что позволяет оценить уровень загрязненности атмосферного воздуха и его влияние на экосистему города.

Материалы и методы

Метод палетки является эффективным инструментом для выявления взаимоотношений между качеством атмосферного воздуха и состоянием лесных экосистем. Конечной целью исследования является создание карты зонирования территории города по показателям качества окружающей среды. Важным аспектом работы является возможность применения полученных результатов для мониторинга качества воздуха в будущем, что позволит своевременно реагировать на изменения в состоянии окружающей среды [6]. Комбинирование данных о распространении лишайников с другими экологическими параметрами может предоставить более полное представление о состоянии городской экосистемы в целом.

Таблица 1

Основные районы исследования

№	Район исследования
1	Пр-т. Анатолия Дериглазова
2	Ул. Тропинка
3	Ул. Институтская
4	Ул. Стрелецкая
5	Ул. Казацкая
6	1-я Моква
7	Ул. Ольшанского
8	Пр-т. Надежды Плевицкой
9	Ул. Звездная
10	Ул. Энгельса
11	Пр. Победы
12	Ул. Ленина
13	Красная площадь
14	Ул. Дзержинского
15	Ул. 50 лет Октября
16	Прибор
17	Пр-т. Дружбы
18	Пр-т. Вячеслава Клыкова
19	Ул. Сумская
20	Озеро Ермошкино
21	ПЛК
22	Пр-т. Кулакова
23	Льговский поворот
25	ЦЧГЗ
26	Боевка
27	Остановка «Родина»
28	Остановка «Полет»
29	Ж/Д Вокзал
30	Пр-д. Магистральный

Разработано авторами

Для изучения экологической обстановки в городе были выделены участки, состоящий из 30 зон, в каждой из которых проводили измерение площади проективного покрытия лишайниками стволов деревьев с помощью так называемого «метода палетки». Основной принцип данного метода заключается в сравнении участков ствола дерева, покрытых лишайниками, и участков, свободных от них. Проективное покрытие, представляющее собой отношение площади, занятой лишайниками, к общей площади поверхности ствола, может дать ценную информацию о экосистеме, в которой растёт дерево, а полученные данные могут использоваться для мониторинга состояния лесов и оценки влияния окружающей среды на деревья [7].

Выбранные нами районы исследования представлены в таблице 1.

Площадь проективного покрытия определялась в двух вариантах: возле автомобильной дороги (относительно загрязненная зона) и в придворовой зоне (относительно чистая зона). Результаты измерений были внесены в журнал и на основе этих данных, была составлена диаграмма средней площади покрытия лишайниками стволов деревьев.

Средние значения площади лишайников на всех участках представлены на рисунке 1.

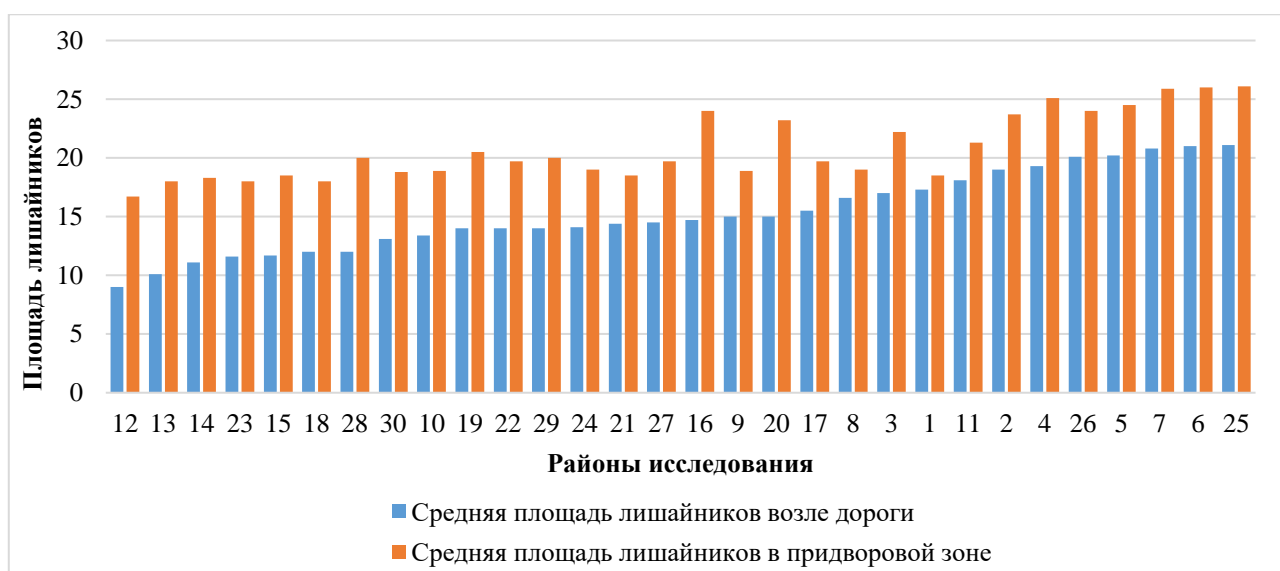


Рисунок 1. Диаграмма средних значений площади лишайников на всех участках города (разработано авторами)

Результаты и обсуждение

На основании анализа представленных данных можно сделать вывод о том, что площадь лишайников в исследуемых районах города зависит от уровня загрязнения атмосферного воздуха, которое в свою очередь связано с интенсивностью автомобильного движения. В ряде участков, таких как «Моква», ул. Ольшанское, ул. Стрелецкая, ул. Казацкая и «Боевка», наблюдается наибольшее сосредоточение лишайников. Это может свидетельствовать о том, что эти районы менее подвержены загрязнению, в отличие от центральных улиц города, где зафиксирована наименьшая площадь лишайников.

Центральные улицы, такие как ул. Ленина, Красная площадь, ул. Дзержинского и Льговский поворот, характеризуются высокой интенсивностью движения, что ведет к большому количеству выбросов загрязняющих веществ. Таким образом, можно предположить, что наличие лишайников является индикатором чистоты воздуха, так как они чувствительны к загрязнению и могут не выживать в условиях повышенной степени загрязненности.

Пример проективного покрытия лишайниками стволов деревьев в районе ул. Тропинка представлен на рисунке 2.



Рисунок 2. Участок в районе ул. «Тропинка» (фото авторов)

Для определения содержания вредных загрязняющих веществ в черте города использовали газоанализатор ЭЛАН. Данный прибор предназначен для определения массовой концентрации одного из компонентов загрязняющих веществ, таких как: CO, NO, NO₂, SO₂, H₂S, Cl₂, NH₃, O₃ или объемной доли O₂ в воздухе.²

Измерения на участках проводили по несколько раз для определения среднего, более точного показателя содержания CO и NO₂ в окружающей среде [8]. Пример измерения содержания CO в черте города представлен на рисунке 3.



Рисунок 3. Определение содержания CO в атмосферном воздухе города (фото авторов)

На основе проведенного исследования можно выделить несколько ключевых аспектов, касающихся уровня загрязнения воздуха в различных районах города. Центральные улицы, такие как ул. Ленина, ул. 50 лет Октября, Красная площадь, ул. Дзержинского и ул. Сумская,

² Газоанализаторы ЭЛАН [Электронный ресурс]. URL: <https://eco-intech.com/product/portativnyye-avtomaticheskie-gazoanalizatory-dlya-rabochey-i-zhiloy-zony-elan/> (дата обращения: 10.10.2024).

характеризуются высоким уровнем загрязнения, что связано с интенсивным транспортным потоком. Это подтверждает предположение о том, что уровень выбросов CO и NO₂ в значительной мере зависит от автомобильного движения.

В то же время, улицы, такие как ул. Ольшанского, ул. Стрелецкая и пр-т. Анатолия Дериглазова, показали наилучшие результаты по содержанию CO и NO₂, что делает их менее загрязненными. Особенно стоит отметить ул. Ольшанского и пр-т. Надежды Плевицкой, где зафиксировано минимальное содержание NO₂.

Интересно, что данные по загрязнению в придворовой зоне и на дороге могут не совпадать. Например, на пр-те. Анатолия Дериглазова обнаружено относительно чистое содержание CO на дороге, тогда как в придворовой зоне ситуация противоположная. Это подчеркивает важность комплексного подхода к мониторингу качества воздуха, учитывающего как транспортную нагрузку, так и особенности местоположения.

Примеры содержания CO и NO₂ на разных улицах города представлены на рисунках 4, 5.

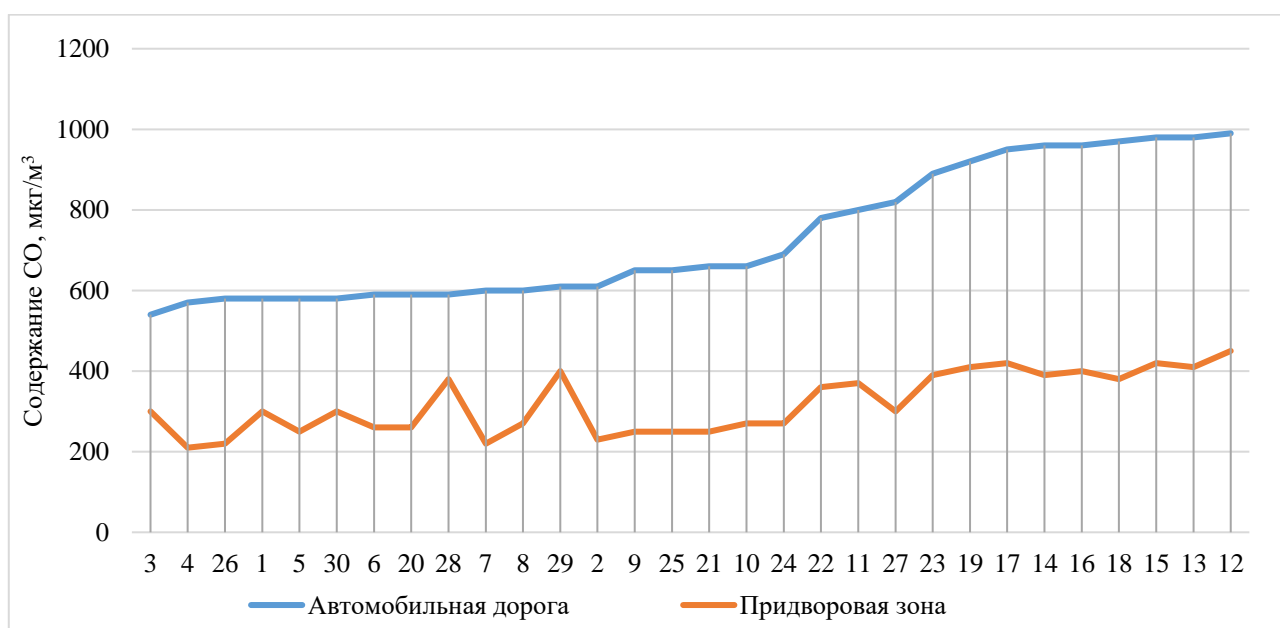


Рисунок 4. Содержание CO на разных улицах города (разработано авторами)

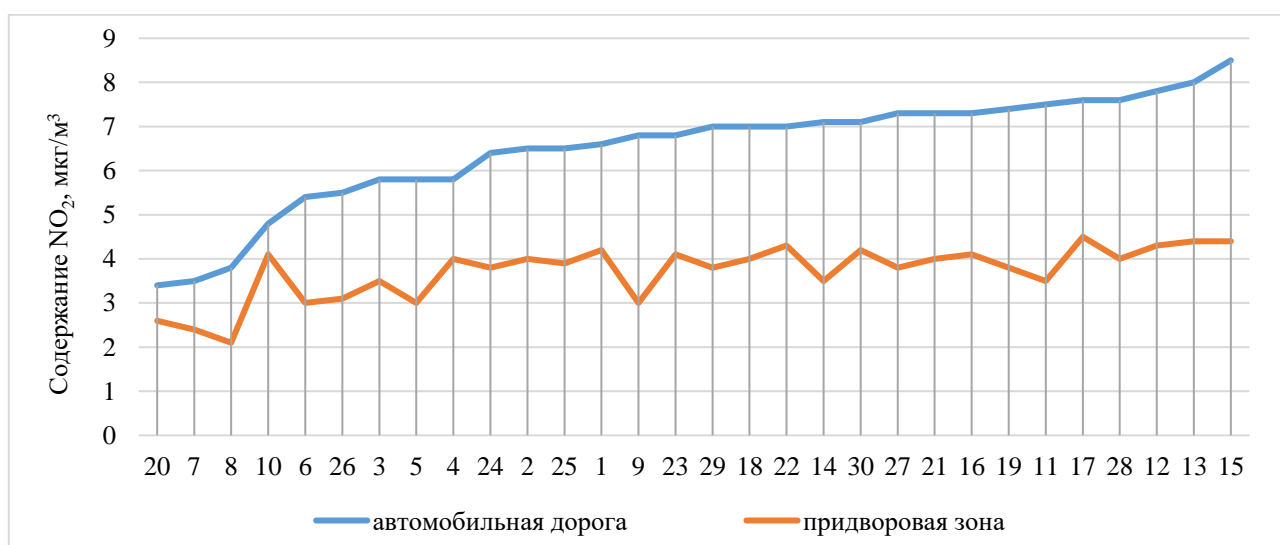


Рисунок 5. Содержание NO₂ на разных улицах города (разработано авторами)

Для выявления зависимости между площадью лишайников и содержанием в атмосферном воздухе CO и NO₂ была выстроена последовательность из участков по количеству лишайников возле дороги и в придворовой зоне (рис. 6, 7) [9]. На графиках видно, что количество лишайников уменьшается при увеличении концентрации CO и NO₂ в атмосферном воздухе, о чем свидетельствуют и линии трендов соответствующих показателей.

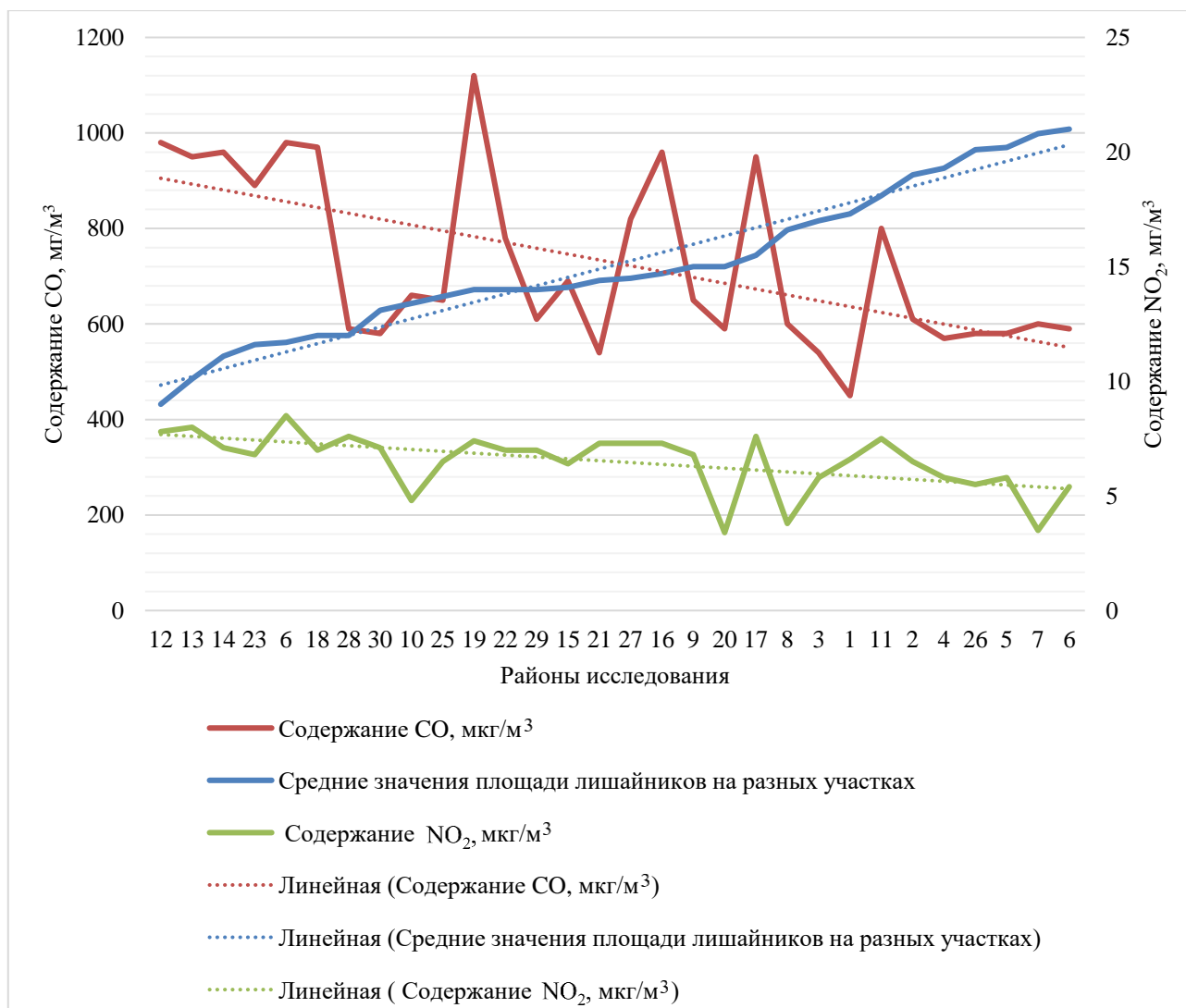


Рисунок 6. Динамика средней площади лишайников и содержания CO и NO₂ в атмосферном воздухе возле автомобильной дороги в порядке увеличения средней площади лишайников (разработано авторами)

Уравнения линейной регрессии представлены в таблице 2.

Таблица 2

Уравнения линейной регрессии динамики средней площади лишайников и содержания CO и NO₂ в атмосферном воздухе возле автомобильной дороги в порядке увеличения средней площади лишайников

Показатели	Уравнения	Достоверность R ²
Площадь лишайников	$y = -11,84x + 919,52$	0,359
Содержание CO	$y = 0,3616x + 9,4722$	0,9579
Содержание NO ₂	$y = -0,0742x + 7,6074$	0,272

Разработано авторами

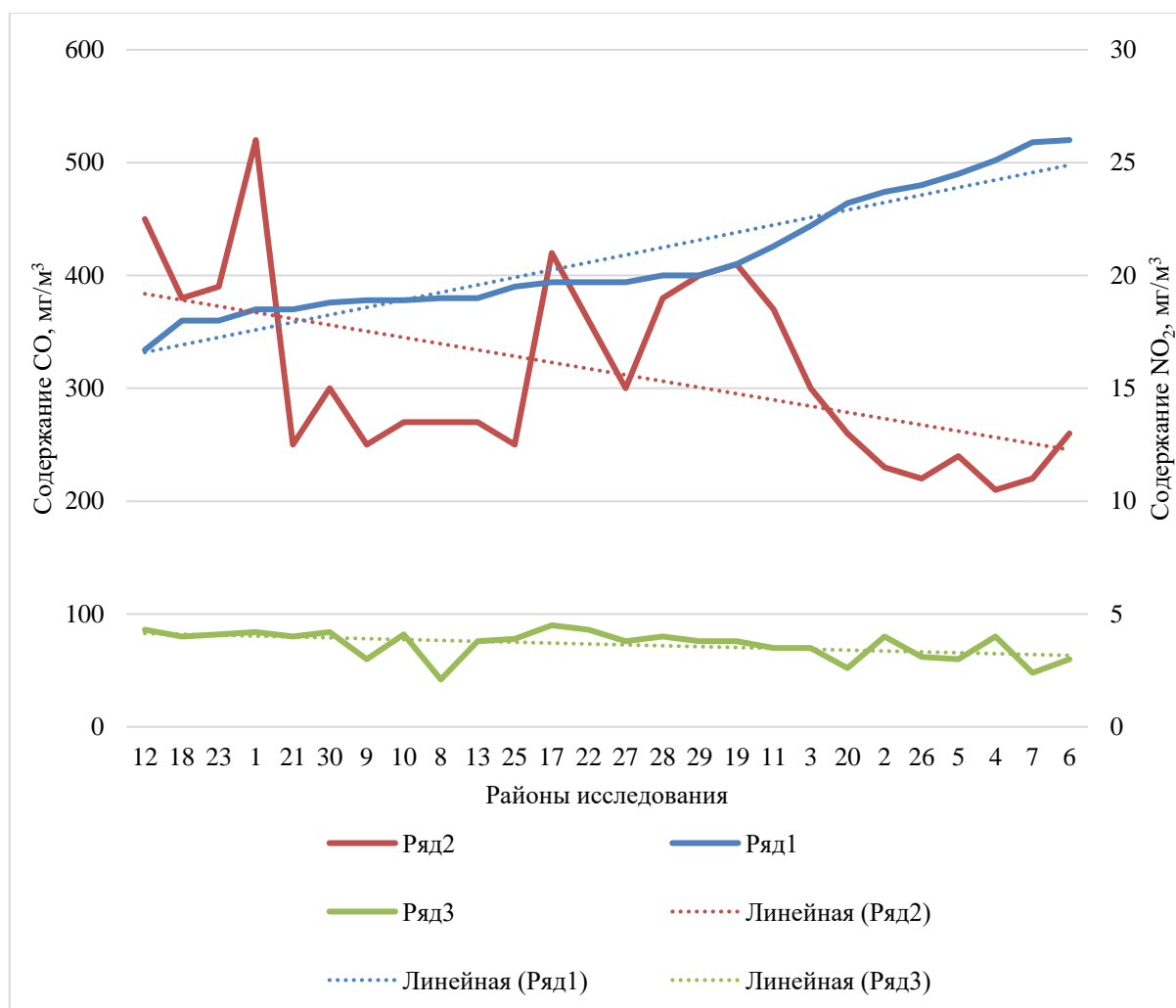


Рисунок 7. Динамика средней площади лишайников и содержания CO и NO₂ в атмосферном воздухе в придворовой зоне в порядке увеличения средней площади лишайников (разработано авторами)

Уравнения линейной регрессии представлены в таблице 3.

Таблица 3

Уравнения линейной регрессии динамики средней площади лишайников и содержания CO и NO₂ в атмосферном воздухе в придворовой зоне в порядке увеличения средней площади лишайников

Показатели	Уравнения	Достоверность R ²
Площадь лишайников	$y = -4,1669x + 384,25$	0,2393
Содержание CO	$y = 0,2871x + 16,153$	0,8919
Содержание NO ₂	$y = -0,0331x + 4,2271$	0,2194

Разработано авторами

Для более точной оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха произвели оценку интегрального показателя качества среды (табл. 4) [10].

На основании полученных данных была составлена карта зонирования территории города Курска по показателям качества окружающей среды.

Пример карты исследования представлен на рисунке 8.

Таблица 4

Итоговые показатели качества среды

№	Район исследования	Показатель качества среды, балл
1	Пр-т. Анатолия Дериглазова	2 (относительно чисто)
2	Ул. Тропинка	1 (чисто)
3	Ул. Институтская	2 (относительно чисто)
4	Ул. Стрелецкая	1 (чисто)
5	Ул. Казацкая	2 (относительно чисто)
6	1-я Моква	1 (чисто)
7	Ул. Ольшанского	1 (чисто)
8	Пр-т. Надежды Плевицкой	2 (относительно чисто)
9	Ул. Звездная	3 (загрязнено)
10	Ул. Энгельса	3 (загрязнено)
11	Пр. Победы	3 (загрязнено)
12	Ул. Ленина	3 (загрязнено)
13	Красная площадь	3 (загрязнено)
14	Ул. Дзержинского	3 (загрязнено)
15	Ул. 50 лет Октября	3 (загрязнено)
16	Прибор	3 (загрязнено)
17	Пр-т. Вячеслава Клыкова	3 (загрязнено)
18	Ул. Сумская	2 (относительно чисто)
19	Озеро Ермошкино	3 (загрязнено)
22	ПЛК	3 (загрязнено)
23	Пр-т. Кулакова	3 (загрязнено)
24	Льговский поворот	2 (относительно чисто)
25	ЦЧГЗ	1 (чисто)
26	Боевка	2 (относительно чисто)
27	Остановка «Родина»	2 (относительно чисто)
28	Остановка «Полет»	2 (относительно чисто)
29	Ж/Д Вокзал	2 (относительно чисто)
30	Пр-д. Магистральный	3 (загрязнено)

Разработано авторами

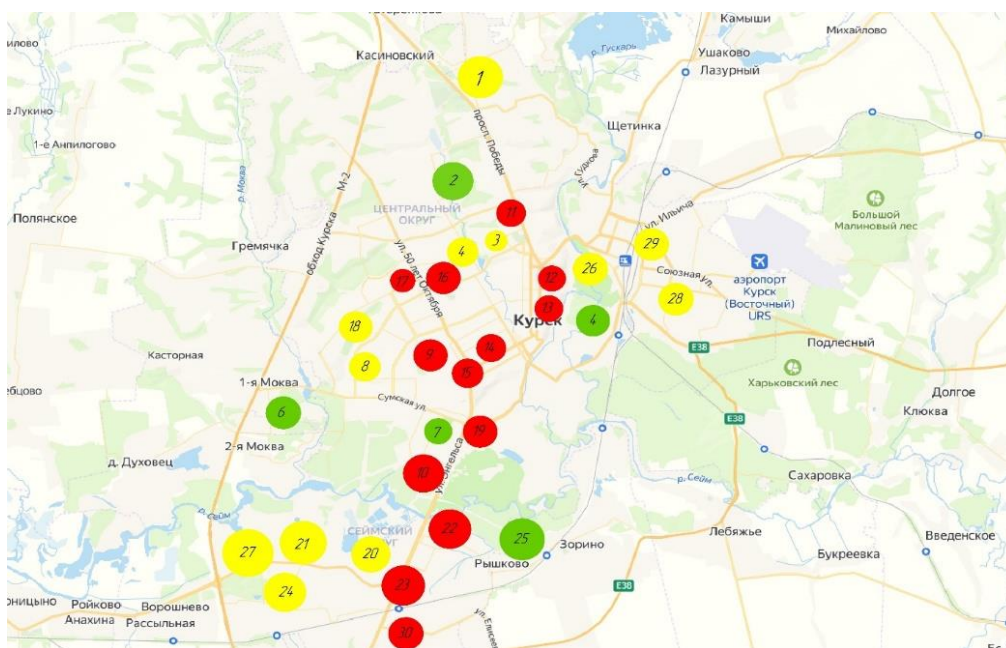


Рисунок 8. Зонирование территории города Курска по показателям качества окружающей среды (разработано авторами на основе сервиса «Яндекс карты»)

Заключение

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что лишайники, будучи чувствительными индикаторами атмосферного загрязнения, часто служат биологическими маркерами для оценки состояния экосистем и качества воздуха. Количество видов лишайников и площадь их проективного покрытия прямо пропорциональны расстоянию от предполагаемого загрязнителя (автодороги), т. е. чем сильнее загрязнен воздух на данной территории, тем меньше встречается в нем видов лишайников, тем меньшую площадь покрывают они на стволах деревьев и других субстратов.³

Наиболее загрязненными участками оказались ул. Ленина, ул. 50 лет Октября, Красная площадь, ул. Дзержинского и ул. Сумская. Данные улицы являются центральными улицами города, и количество выбросов от автомобилей на этих улицах превосходит многие районы исследования, это связано с большим потоком транспортных средств. Наименее загрязнены по СО ул. Ольшанского, ул. Стрелецкая, Моква, пр-т. Анатолия Дериглазова, ул. Казацкая, ул. Тропинка, ул. Институтская, пр-т. Надежды Плевицкой и ул. Звездная.

Это объясняется тем, что во дворах воздействие СО и NO₂ на лишайники нивелируется рядом дополнительных факторов, таких, как количество и густота растительности, экранирование атмосферного воздуха во дворе самими зданиями, направлениями воздушных потоков [11].

Несмотря на то, что в районах исследования превышений ПДУ концентрации вредных веществ не было выявлено, можно сделать вывод о том, что, судя по трендам, наблюдается закономерное уменьшение средней площади лишайников на стволах деревьев при увеличении концентрации СО и NO₂. Таким образом, метод лишеноиндикации можно применять для первичного контроля качества окружающей среды в городе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вирченко Д.С. Лишеноиндикация как один из методов оценки загрязнения природной среды / Д.С. Вирченко // Студенческая наука: взгляд молодых: материалы студенческой научно-практической конференции, Майкоп, 22–26 апреля 2024 года. — Майкоп: Кучеренко В.О., 2024. — С. 123–124.
2. Преликова Е.А. Устойчивое развитие города / Е.А. Преликова // Актуальные проблемы экологии и охраны труда. сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. — Курск, 2022. — С. 184–187.
3. Рассадина Е.В. Биоиндикация и ее место в системе мониторинга окружающей среды / Е.В. Рассадина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. — 2007. — С. 48–53.
4. Данько А.А. Сравнительная оценка загрязнения воздуха Центрального района г. Волгограда и природных парков «Волго-Ахтубинская пойма» и «Усть-Медведицкий» методом лишеноиндикации / А.А. Данько, Е.Н. Проколова // Актуальные вопросы теории и практики биологического и химического образования: материалы XIII-й всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвящённой международному году периодической таблицы химических элементов, Волгоград, 01–30 апреля 2019 года. — Волгоград: Планета, 2019. — С. 75–81.

³ Мировой опыт применения лишайников как биоиндикаторов [Электронный ресурс]. URL: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013008741> (дата обращения: 15.10.2024).

5. Инсарова И.Д. Сравнительные оценки чувствительности эпифитных лишайников различных видов к загрязнению воздуха / И.Д. Инсарова, Г.Э. Инсаров // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 1989. — Т. 12. — С. 113–175.
6. Волкодаева М.В. О развитии системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха / М.В. Волкодаева, А.В. Киселев // Записки Горного института: научный журнал. — 2017. — № 227. — С. 264–267.
7. Белякова О.И. Использование метода лишеноиндикации для оценки качества окружающей среды / О.И. Белякова, Ю.Ю. Курасова, Н.О. Мозгов // Актуальные проблемы экологии и охраны труда: сборник статей XV Международной научно-практической конференции / редкол.: Л. В. Шульга [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. — Курск, 2023 — 53 с.
8. Жиромская О.Ф. Исследование загрязнённости атмосферного воздуха методом лишеноиндикации / О.Ф. Жиромская, С.В. Жиромский, В.А. Кашковский // Научные горизонты. — 2021. — № 4(44). — С. 73–80.
9. Мазуркин П.М. Закономерности фитоиндикации загрязнений городской среды максимальной шириной листьев березы повислой / П.М. Мазуркин, А.И. Кудряшова // Успехи современного естествознания. — 2019. — № 8. — С. 50–55.
10. Белякова О.И. Оценка качества окружающей среды в разных районах города Курска методом флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой и липы мелколистной / О.И. Белякова, А.А. Тулупова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. — 2016. — № 2(19). — С. 68–74.
11. Султанова С. Использование лишеноиндикации для оценки загрязнения воздуха города Таганрога / С. Султанова, О.В. Назаренко // Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — № 4(142). — С. 31–37.

Belyakova Olga Ivanovna

Southwest State University, Kursk, Russia
E-mail: belyakova-olga1210@yandex.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=273359

Yushin Vasily Valerievich

Southwest State University, Kursk, Russia
E-mail: ushinvv@mail.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=488058

Kurasova Yulia Yurievna

Southwest State University, Kursk, Russia
E-mail: kurasova.ulia@yandex.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1228203

Persian Ksenia Andreevna

Southwest State University, Kursk, Russia
E-mail: ksenipersi@bk.ru

Kozhikina Ksenia Nikolaevna

Southwest State University, Kursk, Russia
E-mail: kkaziji@mail.ru

Assessment of the state of the urban environment by the lichenoidication method

Abstract. The conducted studies were aimed at assessing the degree of atmospheric air pollution in the city of Kursk by the method of lichenoidication. As a result of the study, it was revealed that bioindication, in particular with the use of lichens, is an effective tool for assessing the state of the urban environment. Lichens, being sensitive indicators of changes in air quality, reflect environmental changes and the level of anthropogenic impact. During the assessment of the environmental situation in the city, data were collected demonstrating the level of air pollution, as well as the impact of various factors on the state of ecosystems. It was revealed that the assessment of the area of the projective lichen cover of tree trunks makes it possible to establish a link between their distribution and the concentration of pollutants. At the same time, the revealed dependence confirms that an increase in the content of pollutants in the atmosphere negatively affects the condition of lichens, and the compiled map of the zoning of the territory of the city of Kursk in terms of environmental quality allows you to visualize the ecological situation in the city.

Thus, the results of this study emphasize the importance of using bioindication in environmental monitoring systems and can be used to identify areas with high levels of pollution, develop plans to improve atmospheric air quality and environmental protection, as well as help in planning landscaping, the need to take measures to reduce emissions of harmful substances and inform the public about the current state of the environment in the city, which is of key importance for the conservation of biodiversity and public health.

Keywords: atmospheric air; atmospheric air pollution; bioindication; lichenoidication; carbon monoxide; nitrogen dioxide; zoning of territories