

Секция 2

Биологические науки

2.1 Экология

Научная статья

УДК 58.02

ББК 28.080.1

ГРНТИ 34.35.15

ВАК 1.5.15

PACS 87.23.-n

OCIS 000.1430

MSC 92C80

Анализ загрязнения атмосферного воздуха на территории города Ульяновска с помощью методов биоиндикации

Ю. А. Анашкина , Е. С. Растемяшина , Е. Ю. Истомина  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071,

Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 15 февраля 2024 года

После переработки 20 февраля 2024 года

Опубликована 12 марта 2024 года

Аннотация. Приведены результаты определения интенсивности автотранспортной нагрузки и степени загазованности воздуха в Железнодорожном и Заволжском районах города Ульяновска с помощью методов биоиндикации и методики балльной системы качества среды обитания. Из-за высокой автомобильной нагрузки на выбранные участки, наблюдается асимметрия листовых пластинок *Betula pendula* Roth, произрастающих в придорожной зоне. Приведены рекомендации для минимизации воздействия на окружающую среду и снижению загрязнения территорий, расположенных вдоль автомобильных дорог.

Ключевые слова: атмосферный воздух, степень загазованности воздуха, автотранспорт, автотранспортная нагрузка, асимметрия листовой пластинки, флуктуирующая асимметрия, *Betula pendula* Roth, биоиндикация, мониторинг, концентрация, концентрация вредных примесей, стационарные посты

¹E-mail: istominaeyu@yandex.ru

Введение

В настоящее время атмосферный воздух подвергается высокой антропогенной нагрузке, представленной, главным образом, большим количеством предприятий, транспортной загруженностью. Последнее вызвано развитием транспортных магистралей и высоким разнообразием автомобилей, численность которых с каждым годом возрастает в прямой зависимости от роста населения.

Целью работы является определение степени загрязненности атмосферного воздуха на территории города Ульяновск на примере Железнодорожного и Заволжского районов с помощью биоиндикации. Для реализации цели поставлены следующие задачи: установить интенсивность автотранспортной нагрузки и степень загазованности воздуха в Железнодорожном и Заволжском районах города Ульяновска; выявить степень загрязненности воздуха на выбранных участках с помощью флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* Roth.

Объектом исследования является процесс мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в городе Ульяновске с помощью методов биоиндикации и его влияние на здоровье населения и состояние окружающей среды. Предметом исследования является система контроля качества атмосферного воздуха города Ульяновска как инструмент анализа загрязнения атмосферного воздуха с помощью методов биоиндикации для выявления основных источников загрязнения, оценки степени загрязнения, и выработки мер по снижению загрязнения атмосферного воздуха города Ульяновска.

Новизна научного исследования состоит в использовании системы контроля качества атмосферного воздуха с помощью методов биоиндикации для комплексного анализа загрязнения атмосферного воздуха города Ульяновска и разработки мер по его снижению загрязнения атмосферного воздуха на основе карт, характеризующих расположение источников загрязнения атмосферного воздуха города Ульяновска.

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать систему контроля качества атмосферного воздуха с помощью методов биоиндикации для анализа данных загрязнения атмосферного воздуха города Ульяновска, то можно выявить основные источники загрязнения, определить меры по снижению выбросов и улучшению состояния атмосферного воздуха города Ульяновска.

Теоретическая значимость исследования заключается в исследовании методов анализа данных системы контроля качества атмосферного воздуха городов для определения основных источников загрязнения и выработки мер по снижению их негативного воздействия на здоровье населения и окружающую среду, а также обобщении и систематизации информации о состоянии атмосферного воздуха в городе Ульяновске, полученной с помощью системы контроля качества атмосферного воздуха, для подготовки рекомендаций по улучшению экологической ситуации в городе Ульяновске. Практическая значимость исследования заключается в создании базы данных о состоянии атмосферного воздуха в городе Ульяновске с использованием системы контроля качества атмосферного воздуха в процессе оперативного мониторинга и прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха для последующего проведения мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ от промышленных предприятий и автотранспорта для улучшения экологической ситуации в городе Ульяновске.

В качестве метода исследования используется статистический анализ данных системы контроля качества атмосферного воздуха для определения степени и характера загрязнения атмосферного воздуха для выявления тенденций и закономерностей изменения уровня загрязнения атмосферного воздуха во времени и пространстве. Материалом исследования является набор данных системы контроля качества атмосферного воздуха о выбросах загрязняющих веществ и состоянии атмосферного воздуха по районам города Ульяновска на картах источников загрязнения атмосферного воздуха.

Обзор

Проведём анализ российского опыта в области контроля и мониторинга атмосферного воздуха для адаптации лучших практик в условиях города. Автомобильный транспорт оказывает в настоящее время огромное воздействие на придорожные зоны. Как отмечено Е. В. Бондаренко и Г. П. Дворниковым, индикаторами комплексного экологического воздействия на окружающую среду являются экосистемы придорожных зон (наземных, почвенных и водных). Загрязняющие вещества, образующиеся в результате выбросов автомобильного транспорта, оказывают воздействие, как на человека, так и растительный покров — одного из главных элементов городской экосистемы. Для оценки уровня антропогенной нагрузки и экологического состояния придорожной растительности широко используется биоиндикация. Внимание к использованию *Betula pendula* Roth в качестве биоиндикатора увеличилось сравнительно недавно. Одной из первых работ, проведенной на территории города Чапаевска Самарской области, в которой *Betula pendula* Roth являлась индикатором химического загрязнения среды, была проведена А. И. Федоровой и А. Н. Никольской @auxrussian@auxrussian[1]. В ходе работы [1] была предпринята попытка оценить устойчивость развития берёзы в серии выборок, из точек, которые находятся на разном удалении от источника химического загрязнения. Чапаевск — бывший центр по производству химического и других видов оружия. В ряде работ этот вид используют в качестве биоиндикатора в городской среде, в том числе для оценки устойчивости развития берёзы в зависимости от источника загрязнения.

Использованию метода флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz) посвящён ряд работ В. Ю. Солдатовой и Е. Г. Шадринной [2]. Исследования проводились как в природных биотопах Якутии, так и в условиях городской среды [2]. Обнаружено, что самый высокий показатель флуктуирующей асимметрии характерен для улиц Якутска с большой транспортной нагрузкой (центр города, районы промышленного производства), а низкие — в рекреационных и дачных районах. Отмечена так же зависимость величины показателя флуктуирующей асимметрии не только от величины транспортной нагрузки, но и от близости проезжей части и загрязнения почвы тяжёлыми металлами.

Преимущества биологической оценки окружающей среды с помощью флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* Roth отмечают А. А. Гуртяк и В. В. Углёв [3]. В работе [3] представлена динамика изменения с 2003 года по 2008 год на территории города Ханты-Мансийска и составлена соответствующая карта. В работе [3] установлена аналогичная закономерность: чем выше автотранспортная нагрузка и плохое состояние среды — тем выше отклонения в симметрии листовой пластинки данного вида.

В работе Г. Р. Хузиной [4] отмечена надёжность растений для индикации загрязнения окружающей среды. В работе [4] для исследования были определены четыре участка: участок 1 и участок 2 — на территории города Ижевска, а участок 3 и участок 4 — на территории города Воктинска, на которых проведены морфометрический анализ листьев *Betula pendula* Roth. Установлено, что наблюдаются различные отклонения в пропорциях листовой пластинки в условиях городской среды, в том числе увеличение длины в условиях техногенного загрязнения.

В южных регионах исследования флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth были проведены Ю. А. Мандра и Р. С. Еременко [5]. В работе [5] охвачены все основные типы природно-ландшафтных и антропогенно-ландшафтных комплексов города Кисловодска. Результаты исследований показали, что больше половины изучаемых признаков листовой пластинки имели явную асимметрию. Наибольшая степень отклонения наблюдается в районах интенсивного транспортного движения (автовокзалы и

железнодорожные вокзалы) и функционирования промышленных предприятий. Показатели флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth, полученные с тридцати пробных площадок города, варьируются от 0.027 до 0.045 [5].

Аналогичные исследования были проведены в 7 точках с различной техногенной нагрузкой и интенсивностью транспортного потока на территории города Кирова Т. Л. Егошиной, Л. С. Савинцевой и В. В. Ширяевым [6]. В работе [6] была подтверждена закономерность, выявленная предыдущими исследователями, об увеличении показателя флуктуирующей асимметрии листьев березы и антропогенной нагрузки. С увеличением расстояния от растения до проезжей части наблюдается снижение показателя флуктуирующей асимметрии.

В соседних для Ульяновской области регионах подобные исследования проводились в Саранске и Казани. На территории города Саранска было проведено исследование флуктуирующей асимметрии *Betula verrucosa* Ehrh на 24 участках. По полученным данным на 10 участках наблюдается существенное отклонение от нормы и критическое состояние, вызванное высоким антропогенным воздействием [7].

Комплексная оценка экологического состояния придорожных зон города Казани, в том числе методом флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* Roth была проведена Л. М. Кустовой в 2013 году. Были заложены 7 пробных площадок в придорожных полосах автомобильных дорог в каждом из административных районов города. На шести интегральный показатель флуктуирующей асимметрии свидетельствует о критическом состоянии среды, минимальный показатель характеризуется в одной точке, оценивается как условно нормальное [8].

Одно из современных исследований в данной области было проведено В. В. Абраменко и Н. П. Буньковой в городе Екатеринбурге [9]. В работе [9] Было изучено 13 лесопарков. Устойчивые показатели флуктуирующей асимметрии имеют только четыре, тогда как остальные демонстрируют высокие показатели отклонения, что свидетельствует о значительном антропогенном и рекреационном воздействии.

Таким образом, методика изучения флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth получила широкое распространение для оценки качества природной и городской среды в разных регионах России. В работах, использующих данный метод, наблюдается закономерность: при увеличении влияния изучаемого фактора увеличивался показатель флуктуирующей асимметрии, и наблюдалось нарушение стабильности развития *Betula pendula* Roth.

Проведённый анализ литературы показал актуальность исследования загрязнения атмосферного воздуха на территории городов с помощью методов биоиндикации.

Методы и материалы

Город Ульяновск является областным центром, расположенным в Среднем Поволжье. В городе Ульяновске сосредоточены и развиты такие отрасли промышленности, как авиастроение и автомобилестроение, производство электрических изделий, осуществляется выпуск продукции для нужд оборонно-промышленного комплекса. Современный город Ульяновск — крупный транспортный центр, в котором большое значение имеет развитое автомобильное сообщение. Через город Ульяновск проходят автотрассы федерального значения: А151 Ульяновск — Цивильск, въезд на федеральную трассу М7, Р178 Саранск — Сурское — Ульяновск, Р228 Ульяновск — Сызрань — Саратов — Волгоград, Р241 Ульяновск — Буинск — Казань [10].

По данным официального сайта ГИБДД Министерства внутренних дел Российской Федерации по Ульяновской области на 1 января 2023 года в городе Ульяновске зарегистрировано 461.5 тысяча автомототранспортных средств. Высокая доля автомобильного транспорта оказывает большое влияние на воздух города Ульяновска. Особенно силь-

но это влияние ощущается на крупных автомобильных дорогах таких, как Московское шоссе, улица Рябикова, проспект Гая, проспект Туполева и у светофоров. Мониторинг за состоянием атмосферы на территории города Ульяновска проводится на стационарных постах государственной службы наблюдений: пост наблюдений за загрязнением атмосферы № 1, расположенный по адресу: город Ульяновск, Ленинский район, бульвар Новый Венец, пост наблюдений за загрязнением атмосферы № 3, расположенный по адресу: город Ульяновск, Засвияжский район, улица Полбина, 46А, пост наблюдений за загрязнением атмосферы № 4, расположенный по адресу: город Ульяновск, Железнодорожный район, улица Варейкиса, 2Г, пост наблюдений за загрязнением атмосферы № 5, расположенный по адресу: город Ульяновск, Заволжский район, улица Краснопролетарская, 22А, пост наблюдений за загрязнением атмосферы № 6, расположенный по адресу: город Ульяновск, Заволжский район, 25 метрах северо-западнее средней школы № 75, пост наблюдений за загрязнением атмосферы № 7, расположенный по адресу: город Ульяновск, Засвияжский район, улица Промышленная, в 55 метрах северо-восточнее жилого дома № 22, пост наблюдений за загрязнением атмосферы № 8, расположенный по адресу: город Ульяновск, Заволжский район, проспект Зырина. Наблюдения за качеством атмосферного воздуха проводятся в соответствии требованиями Государственной наблюдательной сети. Метрологическое обеспечение работ соответствует положениям ГОСТ 8.589-2001 «Контроль загрязнения окружающей природной среды. Метрологическое обеспечение. Основные положения».

Согласно государственному докладу министерства природных ресурсов и экологии Ульяновской области «О состоянии и охране окружающей среды Ульяновской области в 2022 году» случаев экстремально высокого (превышение предельной допустимой концентрации в 50 раз) и высокого (превышение предельной допустимой концентрации в 10 раз) загрязнения атмосферного воздуха на территории Ульяновской области в 2022 году не зарегистрировано. Исходя из данных сведений о стационарных постах наблюдения по районам Ульяновска в 2022 году было выявлено в воздухе: в Железнодорожном районе города Ульяновска (пост наблюдений за загрязнением атмосферы № 4) — взвешенные вещества (пыль), оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы, формальдегид, безопорен и аммиак; в Заволжском районе (пост наблюдений за загрязнением атмосферы № 6) — взвешенные вещества (пыль), оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы, оксид азота, формальдегид, фенол и гидрохлорид. По сравнению с 2021 годом в целом по городу в 2022 году отмечен рост уровня загрязнения атмосферы гидрохлоридом и аммиаком; снижение — взвешенными веществами и фенолом. Содержание диоксида азота, оксида углерода и оксида азота стабильно. В выбросах автомобильного транспорта значительно преобладает угарный газ, содержатся также углеводороды и оксиды азота. Доля всех остальных загрязняющих веществ, присутствующих в выбросах незначительна. Как известно, нормы предельных допустимых концентраций разработаны сугубо для безопасности здоровья человека. Многие живые организмы более чутко реагируют на присутствие тех или иных химических компонентов в окружающей среде. Предпринята попытка оценить влияние транспортной нагрузки на загазованность атмосферного воздуха с помощью биоиндикации. Для этого использовали *Betula pendula* Roth, произрастающую вдоль автомобильных дорог города Ульяновска.

Результаты

Воздух для растений, как и для множества других живых организмов, необходим для дыхания. Газообмен у них очень интенсивный за счёт использования всей листовой пластинки. Многие виды деревьев имеют высокую чувствительность к качеству и газовому составу атмосферного воздуха, что отчетливо отражается в их морфологии, росте и развитии. Основным органом, осуществляющим газообмен — лист, поэтому он служит

индикатором загрязнений атмосферного воздуха. Изменения могут быть различными: изменение окраски, пятна, проявление водянистости, некроз тканей, изменение формы листа по сравнению с формой у растений, произрастающих в ненарушенных природных местообитаниях. Каждый вид модификаций обязательно связан с тем или иным поллютантом. Оценку чистоты атмосферного воздуха по величине автотранспортной нагрузки проводили по общепринятой методике экспресс-оценки качества среды [11]. Цель данного метода состоит в том, чтобы изучить роль различных групп автомашин в загрязнении атмосферного воздуха. Далее с помощью общепринятой методики экспресс-оценки качества среды [11, 12] по флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* Roth провели оценку качества среды обитания. Принцип метода основан на выявлении нарушений симметрии развития листовой пластинки березы повислой. Исследования проводились в сентябре 2023 года в период с 16 до 17 часов местного времени. В ходе исследования были выбраны участки магистралей, имеющих большую площадь автотранспортной нагрузки: в Железнодорожном районе это кольцевой перекрёсток с улицей 12 сентября на улицу Пушкинскую (далее — участок 1), а в Заволжском районе — проспект Туполева (далее — участок 2) (рис. 1, 2).



Рис. 1. Карта изучаемой местности, кольцевой перекрёсток с улицы 12 сентября на улицу Пушкинскую Железнодорожного района города Ульяновска.

На выбранных участках был осуществлён подсчёт единиц автотранспорта разного типа за 20 минут, а затем расчёты за 1 час. Далее определили общее количество сожженного топлива каждого вида транспорта на выбранных участках. Опишем расход топлива разными видами автотранспорта на изучаемых участках за исследуемый период времени. На участке 1 количество легковых автомобилей составляет 911, которые сжигают двигателями количество топлива, равное 5.54 литра. На участке 2 количество легковых автомобилей составляет 1239, которые сжигают двигателями количество топлива, равное 74.3 литра. На участке 1 количество грузовых автомобилей составляет 67, которые сжигают двигателями количество топлива, равное 10.69 литра. На участке 2 количество грузовых автомобилей составляет 21, которые сжигают двигателями количество топлива, равное 3.3 литра. На участке 1 количество автобусов составляет 98, которые сжигают двигателями количество топлива, равное 20.79 литра. На участке 2 количество автобусов составляет 66, которые сжигают двигателями количество топли-



Рис. 2. Карта изучаемой местности, проспект Туполева в Заволжском районе города Ульяновска.

ва, равное 13.7 литра. На участке 1 количество дизельного автотранспорта составляет 180, которые сжигают двигателями количество топлива, равное 28.8 литра. На участке 2 количество дизельного автотранспорта составляет 255, которые сжигают двигателями количество топлива, равное 40.8 литра. На участке 1 количество всех видов транспорта составляет 1256, которые сжигают двигателями количество топлива, равное 114.82 литра. На участке 2 количество всех видов транспорта составляет 1581, которые сжигают двигателями количество топлива, равное 132.1 литра.

Проведём оценку качества воздуха по количеству автотранспорта.

Среди показателей экологического состояния атмосферы на участке 1 количество угарного газа равно 54.49 л, масса угарного газа равно 68.11 г, количество воздуха для разбавления угарного газа равно 22.7 л, значение предельно-допустимой концентрации угарного газа равно 3 мг/м^3 , количество диоксида азота равно 4.59 л, масса диоксида азота равно 9.42 г, количество воздуха для разбавления диоксида азота равно 235.64 л, значение предельно-допустимой концентрации диоксида азота равно 0.04 мг/м^3 , количество углеводородов равно 9.47 л, масса углеводородов равно 30.4 г, количество воздуха для разбавления углеводородов равно 1.217 л, значение предельно-допустимой концентрации углеводородов равно 25 мг/м^3 .

Среди показателей экологического состояния атмосферы на участке 2 количество угарного газа равно 58.86 л, масса угарного газа равно 73.6 г, количество воздуха для разбавления угарного газа равно 24.53 л, значение предельно-допустимой концентрации угарного газа равно 3 мг/м^3 , количество диоксида азота равно 5.28 л, масса диоксида азота равно 10.85 г, количество воздуха для разбавления диоксида азота равно 271.25 л, значение предельно-допустимой концентрации диоксида азота равно 0.04 мг/м^3 , количество углеводородов равно 10.35 л, масса углеводородов равно 33.34 г, количество воздуха для разбавления углеводородов равно 1.33 л, значение предельно-допустимой концентрации углеводородов равно 25 мг/м^3 .

Исходя из полученных данных, на наблюдаемых участках дорог автотранспортная

нагрузка достаточно высокая. Этот фактор оказывает неблагоприятное воздействие на экосистему города и придорожную растительность. В среднем за час на первом участке проезжает 1256 транспортных средств, а на втором участке проезжает 1581 транспортных средств. Согласно классификации транспортных перегонов, предложенной Е. В. Коровиной [13], первый участок относится к категории умеренной интенсивности (500–1300 автомобилей), а второй к высокой (1300–2500 автомобилей). При этом доля транспортных средств с дизельными двигателями составляет 14.3 % на первом и 16.5 % на втором участке. В связи с тем, что легковые автомобили преобладают по сравнению с другими автотранспортными средствами, то они образуют и наибольшее количество сжигаемого топлива — 54.54 л (47.5 % от всего сжигаемого топлива) на первом участке и 74.3 л (56.2 %) на втором. Таким образом, установлено, что выбранные участки дорог имеют интенсивное автомобильное движение и выделяют в атмосферный воздух 68.55 л (участок 1) и 74.49 л (участок 2) вредных выбросов, содержащих угарный газ, диоксид азота и углеводороды. Данные газообразные вещества в первую очередь воздействуют на придорожную растительность, расположенную непосредственно около дорог.

В дальнейшем с помощью методики экспресс-оценки качества среды по флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* Roth нами проведена оценка качества среды обитания на изучаемых участках. Согласно данной методике, по нарушению симметрии листовой пластинки можно судить о наличии и степени антропогенного воздействия на растительность. Для проведения сравнительной оценки экологического состояния выбранных участков было суммарно взято по 120 проб листьев *Betula pendula* Roth с каждого участка на протяжении всей дорожной полосы. Выбираемые деревья находились на расстоянии примерно 5 метров друг от друга, что позволило полноценно охватить придорожные территории для изучения. Далее опишем результаты статистической обработки полученных данных по листовым пластинам на двух участках.

В результате статистической обработки листовых пластин на участке 1 получили, что среднее значение ширины листовой половинки равно 23 мм, среднее значение длины второй жилки равно 35 мм, среднее значение расстояния между основанием первой и второй жилки равно 3 мм, среднее значение расстояния между концами первой и второй жилки равно 17 мм, среднее значение угла между основанием первой и второй жилки равно 41 мм. В результате статистической обработки листовых пластин на участке 1 получили, что минимальное значение ширины листовой половинки равно 12 мм, минимальное значение длины второй жилки равно 16 мм, минимальное значение расстояния между основанием первой и второй жилки равно 1 мм, минимальное значение расстояния между концами первой и второй жилки равно 5 мм, минимальное значение угла между основанием первой и второй жилки равно 19 мм. В результате статистической обработки листовых пластин на участке 1 получили, что максимальное значение ширины листовой половинки равно 37 мм, максимальное значение длины второй жилки равно 57 мм, максимальное значение расстояния между основанием первой и второй жилки равно 11 мм, максимальное значение расстояния между концами первой и второй жилки равно 40 мм, максимальное значение угла между основанием первой и второй жилки равно 66 мм.

В результате статистической обработки листовых пластин на участке 2 получили, что среднее значение ширины листовой половинки равно 25 мм, среднее значение длины второй жилки равно 41 мм, среднее значение расстояния между основанием первой и второй жилки равно 2 мм, среднее значение расстояния между концами первой и второй жилки равно 19 мм, среднее значение угла между основанием первой и второй жилки равно 45 мм. В результате статистической обработки листовых пластин на участке 2 получили, что минимальное значение ширины листовой половинки равно 16 мм, мини-

мальное значение длины второй жилки равно 27 мм, минимальное значение расстояния между основанием первой и второй жилки равно 0 мм, минимальное значение расстояния между концами первой и второй жилки равно 8 мм, минимальное значение угла между основанием первой и второй жилки равно 30 мм. В результате статистической обработки листовых пластинок на участке 2 получили, что максимальное значение ширины листовой половинки равно 41 мм, максимальное значение длины второй жилки равно 60 мм, максимальное значение расстояния между основанием первой и второй жилки равно 5 мм, максимальное значение расстояния между концами первой и второй жилки равно 34 мм, максимальное значение угла между основанием первой и второй жилки равно 66 мм.

При визуальном осмотре листовых пластинок с исследуемых участков, наблюдали нарушение пропорций листа. Оно выражалось, главным образом, в слабом развитии первой жилки и отклонении развития второй жилки. Например, на втором участке, длина второй жилки значительно больше по сравнению со стандартным листом и с листом с первого участка. Образцы листьев с двух участков имеют нетипичную форму для этого растения, показанную на рис. 3 и рис. 4.



Рис. 3. Примеры листовых пластинок березы с первого участка (фото Ю. А. Анашкиной).

По результатам статистической обработки, наибольшие различия между листовыми пластинками *Betula pendula* Roth проявились в длине второй жилки (в среднем на первом участке — 35 мм, а на втором — 41 мм; минимальная длина на первом участке — 16 мм, тогда как на втором — 27 мм). Чаще всего на первом участке встречались пластинки с длиной 26 мм, а на втором — 34 мм. Затем был рассчитан интегральный показатель асимметрии по методике В. М. Захарова [14]. На месте сбора образцов листовых пластинок на участке 1 интегральный показатель асимметрии составил 0.067, что соответствует 5 баллам состояния. На месте сбора образцов листовых пластинок на участке 2 интегральный показатель асимметрии составил 0.066, что соответствует 5 баллам состояния. Для обоих участков интегральный показатель оказался значительно больше 0.054. Данное значение интегрального показателя асимметрии было переведено в бальную систему.

При оценке используется методика бальной системы качества среды обитания, согласно которой 1 балл состояния соответствует значению интегрального показателя асимметрии меньше 0.040 (условная норма), 2 балла состояния соответствует значению

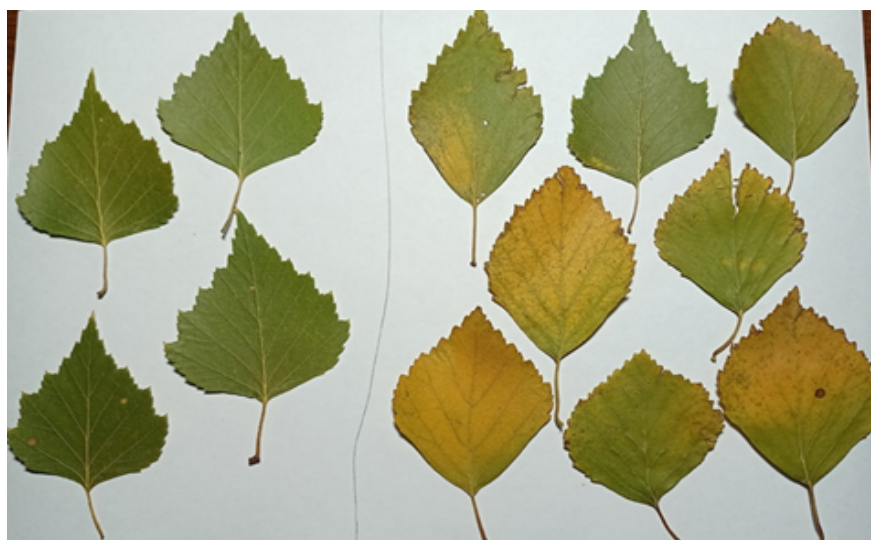


Рис. 4. Примеры листовых пластинок березы со второго участка (фото Е. С. Растемяшиной).

интегрального показателя асимметрии в диапазоне от 0.040 до 0.044, 3 балла состояния соответствует значению интегрального показателя асимметрии в диапазоне от 0.045 до 0.049, 4 балла состояния соответствует значению интегрального показателя асимметрии в диапазоне от 0.050 до 0.054, 5 баллов состояния соответствует значению интегрального показателя асимметрии более 0.054 (критическое состояние). Согласно балльной шкале, пятый балл — это неблагоприятные условия среды, критические условия, когда растения находятся в сильно угнетённом состоянии. Данный факт свидетельствует о значительном воздействии автомобильных выбросов на придорожные экосистемы города.

Заключение

На участке в Железнодорожном районе города Ульяновска за час проезжает 1257 транспортных средств, а в Заволжском районе города Ульяновска за час проезжает 1581 транспортное средство, что относится к категории участков с умеренной и высокой интенсивностью соответственно. Объём выбросов за 1 час показал преобладание угарного газа – 54.49 литров (участок 1) и 58.86 литров (участок 2). Из-за высокой автомобильной нагрузки на выбранные участки, наблюдается явно выраженная асимметрия листовой пластинки *Betula pendula* Roth, произрастающих в придорожной зоне. Изменяются пропорций листа, сокращается количество жилок первого порядка, что соответствует сильному загрязнению атмосферного воздуха.

На наш взгляд, данные официальных источников информации по загрязнению атмосферного воздуха и результаты биоиндикации расходятся, так как мониторинговые службы учитывают, главным образом, данные по стационарным источникам выбросов. Автомобильные выбросы оценить сложнее, так как они подвижны в пространстве, зависят от разного вида топлива, сезона года (газовый состав может варьировать) и периодичности и интенсивности автомобильного движения. Кроме того, стационарные посты наблюдений за загрязнением атмосферы расположены в удалении от дорог. В свою очередь, биоиндикация помогает решить эту проблему, так как растения чутко реагируют на малейшее изменение состава воздуха, что отражается в их морфологическом и физиологическом изменении. Методы биоиндикации имеют и экономические преимущества, так как не требуют дорогостоящего оборудования и реактивов, а полученные данные основаны на более чуткой реакции растений.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать систему контроля качества атмосферного воздуха с помощью методов биоиндикации для анализа данных загрязнения атмосферного воздуха города Ульяновска, то можно выявить основные источники загрязнения, определить меры по снижению выбросов и улучшению состояния атмосферного воздуха города Ульяновска, подтверждена полностью.

Для минимизации воздействия на окружающую среду и снижению загрязнения придорожных территорий предлагаются следующие рекомендации: высаживать на придорожных территориях более газоустойчивые породы деревьев (например, ясень обыкновенный, тополь бальзамический), уменьшить продолжительность стоянок транспортных средств на светофорах, обеспечив создание «зелёных коридоров» для общественного транспорта. Данная рекомендация предлагается в связи с тем, что автомобили выделяют наибольшее количество выхлопных газов при работе автомобиля на холостом ходу. Необходимо проведение дальнейших мониторинговых работ по изучению объёма выделяющихся газов от автомобильного транспорта на территории Ульяновска и их воздействия на окружающую среду в целом, так и на растительность города. Это поможет более точно определить долю автомобильных выбросов и принять меры, необходимые для минимизации автомобильных выбросов.

Список использованных источников

1. Фёдорова А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды. — Москва : ВЛАДОС, 2001. — 288 с.
2. Солдатова В. Ю., Шадрина Е. Г. Показатели флуктуирующей асимметрии *Betula platyphylla* Sukacz в условиях антропогенного воздействия, на примере города Якутска // Экологический мониторинг. — 2007. — С. 70–74.
3. Гуртяк А. А., Углев В. В. Оценка состояния среды городской территории с использованием березы повислой в качестве биоиндикатора // Известия Томского политехнического университета. — 2010. — Т. 317, № 1. — С. 200–204. — URL: <https://www.elibrary.ru/mvmakt>.
4. Хузина Г. Р. Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. — 2010. — № 3. — С. 53–57. — URL: <https://www.elibrary.ru/mutwtr>.
5. Еременко Р. С., Мандра Ю. А. Биоиндикационная оценка состояния окружающей среды города Кисловодска на основе анализа флуктуирующей асимметрии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2010. — Т. 12, № 1 (8). — С. 1991–1994. — URL: <https://www.elibrary.ru/lvtgit>.
6. Егошина Т. Л., Савинцева Л. С., Ширяев В. В. Оценка качества урбаноcреды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth) // Вестник Удмуртского университета. — 2012. — № 2. — С. 31–37. — URL: <https://www.elibrary.ru/paentn>.
7. Дубровин Е. Г., Дубровина Т. А., Тарасова О. Ю. Применение метода флуктуирующей асимметрии для оценки состояния окружающей среды города Саранска // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2013. — Т. 15, № 3-2. — С. 631–634. — URL: <https://www.elibrary.ru/rvshfb>.

8. Кустова Л. М. Применение методов флуктуирующей асимметрии листовой пластинки берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) для оценки экологического состояния придорожных полос города Казани. — Казань : Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2013. — 112 с.
9. Абраменко В. В., Бунькова Н. П. Состояние среды лесопаркового кольца города Екатеринбурга методом флуктуирующей асимметрии // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса / Под ред. Л. В. Малютина. — Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2021. — С. 10–14. — URL: <https://www.elibrary.ru/lhsnj0>.
10. Егоров В. Н. Ульяновская — Симбирская энциклопедия. — Ульяновск : Симбирская книга, 2004. — Т. 2. — 592 с.
11. Учебно-методическое пособие по биомониторингу и биоиндикации / Е. Ю. Истомина [и др.]. — Ульяновск : Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова, 2023. — 156 с. — URL: https://els.ulspu.ru/?page_id=13711.
12. Алексеева С. В., Груздева Н. В., Гущина Э. В. Экологический практикум школьника: учебное пособие. — Самара : Корпорация «Федоров»: учебная литература, 2005. — 301 с.
13. Коровина Е. В., Голунков Ю. В. Структура транспортных потоков города Ульяновска и оценка загрязнения атмосферы города выбросами автотранспорта // Успехи современного естествознания. — 2007. — № 9. — С. 93–94. — URL: <https://www.elibrary.ru/ijja0j>.
14. Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И. Здоровье среды: методика оценки. — Москва : Центр экологической политики России, 2000. — 318 с.

Сведения об авторах:

Юлия Анатольевна Анашкина — студент бакалавриата естественно-географического факультета ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: maela.loivissa@yandex.ru

ORCID iD  0009-0003-2414-2249

Web of Science ResearcherID  JZE-0767-2024

Екатерина Сергеевна Растемяшина — студент бакалавриата естественно-географического факультета ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.


E-mail: katerinarastemasina@gmail.com

ORCID iD  0009-0004-5875-6131

Web of Science ResearcherID  JZE-0199-2024

Елена Юрьевна Истомина — кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и химии ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: istominaeyu@yandex.ru

ORCID iD  0000-0002-3748-1456

Web of Science ResearcherID  KBA-8136-2024

Original article
 PACS 87.23.-n
 OCIS 000.1430
 MSC 92C80

Analysis of atmospheric air pollution in the city of Ulyanovsk using bioindication methods

Yu. A. Anashkina , E. S. Rastemyashina , E. Yu. Istomina 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted February 15, 2024
 Resubmitted February 20, 2024
 Published March 12, 2024

Abstract. The results of determining the intensity of vehicle traffic load and the degree of air pollution in the Zheleznodorozhny and Zavolzhsky districts of the city of Ulyanovsk using bioindication methods and the methodology of a scoring system for habitat quality are presented. Due to the high traffic load on the selected areas, there is an asymmetry of the leaf blades of *Betula pendula* Roth growing in the roadside area. Recommendations are given to minimize the impact on the environment and reduce pollution of areas located along highways.

Keywords: atmospheric air, degree of air pollution, motor transport, motor transport load, asymmetry of the leaf blade, fluctuating asymmetry, *Betula pendula* Roth, bioindication, monitoring, concentration, concentration of harmful impurities, stationary posts

@auxrussian@auxenglish

References

1. Fedorova A. I. Workshop on ecology and environmental protection. — Moscow : VLA-DOS, 2001. — 288 p.
2. Soldatova V. Yu., Shadrina E. G. Indicators of fluctuating asymmetry of *Betula platyphylla* Sukacz under conditions of anthropogenic impact, using the example of the city of Yakutsk // Environmental monitoring. — 2007. — P. 70–74.
3. Gurtyak A. A., Uglev V. V. Assessment of the environmental condition of an urban area using silver birch as a bioindicator // News of Tomsk Polytechnic University. — 2010. — Vol. 317, no. 1. — P. 200–204. — URL: <https://www.elibrary.ru/mvmakt>.
4. Khuzina G. R. The influence of the urban environment on the morphometric parameters of silver birch (*Betula pendula* Roth) leaves // Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. — 2010. — no. 3. — P. 53–57. — URL: <https://www.elibrary.ru/mutwtr>.
5. Eremenko R. S., Mandra Yu. A. Bioindicative assessment of the state of the environment of the city of Kislovodsk based on the analysis of fluctuating asymmetry // News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. — 2010. — Vol. 12, no. 1 (8). — P. 1991–1994. — URL: <https://www.elibrary.ru/lvtgit>.

6. Egoshina T. L., Savintseva L. S., Shiryayev V. V. Assessment of the quality of the urban environment of the city of Kirov based on the analysis of the fluctuating asymmetry of the leaf blade of silver birch (*Betula pendula* Roth) // Bulletin of Udmurt University. — 2012. — no. 2. — P. 31–37. — URL: <https://www.elibrary.ru/paentn>.
7. Dubrovin E. G., Dubrovina T. A., Tarasova O. Yu. Application of the fluctuating asymmetry method to assess the state of the environment in the city of Saransk // News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. — 2013. — Vol. 15, no. 3-2. — P. 631–634. — URL: <https://www.elibrary.ru/rvshfb>.
8. Kustova L. M. Application of methods of fluctuating asymmetry of the leaf blade of silver birch (*Betula pendula* Roth) to assess the ecological state of roadside strips in the city of Kazan. — Kazan : Kazan (Volga Region) Federal University, 2013. — 112 p.
9. Abramenko V. V., Bunkova N. P. State of the environment of the forest park ring of the city of Yekaterinburg using the fluctuating asymmetry method // An effective response to modern challenges, taking into account the interaction of man and nature, man and technology: socio-economic and environmental problems of the forestry complex / Ed. by L. V. Malyutina. — Yekaterinburg : Ural State Forestry University, 2021. — P. 10–14. — URL: <https://www.elibrary.ru/lhsnjo>.
10. Training manual on biomonitoring and bioindication / E. Yu. Istomina [et al.]. — Ulyanovsk : Ulyanovsk State Pedagogical University, 2023. — 156 p. — URL: https://els.ulspu.ru/?page_id=13711.
11. Alekseeva S. V., Gruzdeva N. V., Gushchina E. V. Environmental workshop for schoolchildren: textbook. — Samara : Fedorov Corporation: educational literature, 2005. — 301 c.
12. Egorov V. N. Ulyanovsk — Simbirsk Encyclopedia. — Ulyanovsk : Simbirsk book, 2004. — Vol. 2. — 592 p.
13. Korovina E. V., Golunkov Yu. V. Structure of transport flows in the city of Ulyanovsk and assessment of air pollution in the city from vehicle emissions // Advances of modern natural science. — 2007. — no. 9. — P. 93–94. — URL: <https://www.elibrary.ru/ijjaoj>.
14. Zakharov V. M., Baranov A. S., Borisov V. I. Environmental health: assessment methodology. — Moscow : Russian Environmental Policy Center, 2000. — 318 p.

Information about authors:

Yulia Anatolyevna Anashkina — student of the Faculty of Natural Geography of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: maela.loivissa@yandex.ru

ORCID iD  0009-0003-2414-2249

Web of Science ResearcherID  JZE-0767-2024

Ekaterina Sergeevna Rastemyashina — student of the Faculty of Natural Geography of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: katerinarastemasina@gmail.com

ORCID iD  0009-0004-5875-6131

Web of Science ResearcherID  JZE-0199-2024

Elena Yuryevna Istomina — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biology and Chemistry of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: istominaeyu@yandex.ru

ORCID iD  0000-0002-3748-1456

Web of Science ResearcherID  KBA-8136-2024