

Экологическая оценка загрязнения воздушной среды крупного промышленного города биоиндикационными методами

М. А. Клевцова , П. М. Виноградов, А. А. Кириллова, Е. А. Луныкина

Воронежский государственный университет, Российская Федерация
(394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1)

Аннотация. Цель настоящих исследований заключалась в оценке состояния воздушной среды города Воронежа с использованием биоиндикационных методов.

Материалы и методы. В течение периода вегетации 2023 года было проведено обследование 25 пунктов на территории города с последующим отбором растительного материала. Видом-индикатором являлся тополь итальянский (*Populus italica* (Du Roi) Moench). Определены следующие биогеохимические параметры: зольность и кислотность коры, а также площадь и запыленность листовых пластинок.

Результаты и обсуждение. Зафиксировано уменьшение площади листовых пластинок тополя итальянского и увеличение количества осаждаемой пыли в промышленно-транспортной зоне. Установлена достоверная отрицательная корреляционная связь средней силы между площадью листовых пластинок и их запыленностью: чем меньше площадь листьев, тем больше на них пыли. Изменение кислотности коры тополя итальянского колеблется в широких пределах. Отмечено подщелачивание коры на пересечениях некоторых крупных улиц, подкисление зафиксировано в окрестностях АО «Воронежсинтезкаучук». Зольность коры почти во всех пунктах превышает фоновые значения.

Выводы. Совокупность биоиндикационных параметров может быть использована для оценки состояния воздушной среды на урбанизированных территориях. При этом такие показатели, как площадь листьев и количество пыли, накопившиеся на их поверхности, используются только в вегетационный период, а кислотность и зольность коры доступны в течение длительного времени.

Ключевые слова: биоиндикация, загрязнение, воздушная среда, древесные растения, запыленность, зольность, город Воронеж.

Источник финансирования: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-17-00172, <https://rscf.ru/project/20-17-00172/>

Для цитирования: Клевцова М. А., Виноградов П. М., Кириллова А. А., Луныкина Е. А. Экологическая оценка загрязнения воздушной среды крупного промышленного города биоиндикационными методами // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 2, с. 143-151. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/127-134>

ВВЕДЕНИЕ


За прошедшее столетие во всем мире произошла значительная миграция из сельской местности в города. Так, с конца 50-х годов XX века доля городского населения в России стала превышать сельское население, и на данный момент более 75% жителей страны проживает в городских поселениях. Стремительный рост урбанизации порождает серьезные экологические проблемы, связанные с техногенным загрязнением среды обитания. В связи с этим существует необходимость поиска путей сокращения экологического риска для здоровья населения и создания благоприятных условий для жизни в городских населенных пунктах.

Воронеж – крупный индустриально-развитый город Центрального Черноземья. В последние десятилетия высокая концентрация населения (1767,84 чел./км²) привела к увеличению транспортной загруженности

практически всех районов города. В связи с этим загрязнение воздушной среды стало одной из актуальных экологических проблем. Согласно официальным данным в последние годы в Воронеже сохраняется высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха. В 2022 году наблюдалось превышение ПДК по диоксиду азота (1,3 ПДК), формальдегиду (до 3,0 ПДК), содержание взвешенных веществ находилось на уровне 1,0 ПДК¹.

Мониторинг состояния атмосферного воздуха проводится различными официальными службами с использованием инструментальных методов, что нашло отражение и в ряде научно-исследовательских работ [11, 12]. При этом наряду с указанными весьма информативными являются методы биоиндикации, т.е. оценка состояния окружающей среды на основе ответной реакции биосистем разного иерархического уровня.

© Клевцова М. А., Виноградов П. М., Кириллова А. А., Луныкина Е. А., 2024

 Клевцова Марина Александровна, e-mail: marin-m@yandex.ru

¹Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2022 год. – URL: http://voeikovmgo.ru/images/stories/publications/2023/ejegodnik_zagr_atm_2022+.pdf (дата обращения: 10.11.2023). – Текст: электронный.



На территории города Воронежа исследования в данной области проводятся нами с 2004 года, что нашло отражение в ряде работ [6-8]. Оценка состояния городской среды с использованием методов биоиндикации прослеживается в трудах и других ученых, например, В. Б. Голуба [3]. Следует отметить, что рассматриваемая проблематика изучается и в других населенных пунктах России: городе Архангельске [1], городе Йошкар-Оле [14], городе Тольятти [2] и других.

Целью настоящих исследований являлась оценка загрязнения воздушной среды на территории города Воронежа с использованием методов биоиндикации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследований служили древесной тополя итальянского (*Populus italica* (Du Roi) Moench), произрастающие в разных функциональных зонах города. Выбор данного вида объясняется тем, что он удовлетворяет всем основным требованиям, предъявляемым к видам-индикаторам [10]. В летний период 2023 года на рассматриваемой территории города были проведены исследования в 25 пунктах, представленных в таблице 1. Фоновая точка расположена на северо-западе Воронежа на относительном удалении от стационарных и передвижных источников.

Таблица 1

Перечень пунктов проведения биоиндикационных исследований
[Table 1. List of bioindication research sites]

№ пункта / Number	Местоположение/ Location	Функциональная зона / Functional area
1-10	стационарные посты*: ул. 9 Января, 49; ул. Л. Рябцевой, 51б; передвижной пост*: Ростовская, 58/4; др. пункты: ул. Г. Стратосферы, 18б; ул. Красный Октябрь, 2/1; ул. Менделеева, 1л/1; ул. Циолковского, 27; ул. Лебедева, 2д; ул. Б. Хмельницкого, 35; ул. 9 января, 180	промышленная
11-19	стационарный пост*: ул. Лебедева, 2; передвижные посты*: ул. 60-й Армии, 27; пр-т Патриотов, 24; ул. Дарвина, 1; перекрестки: Московского пр-та и ул. Хользунова; ул. 9 Января и ул. Антонова-Овсеенко; Бульвара Победы и ул. 60-й Армии; пр-та Труда и пер. Комбикормового; др. пункт: ул. Хользунова, 102	транспортная
20-24	ул. Вл. Невского, 53; ул. Лизюкова, 73а; ул. Ломоносова, 114/4; ул. Депутатская, 10; ул. Циолковского, 127	жилая
25	санаторий им. Горького	рекреационная (фон)

Примечание. *) Посты наблюдений за состоянием атмосферного воздуха: стационарные (Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды) и передвижные (Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области)

[*Note.* *) Observation posts for the state of atmospheric air: stationary (Voronezh Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring) and mobile (Center for Hygiene and Epidemiology in the Voronezh Region)]

В выборку включались только средневозрастные деревья, которые не подвергались обрезке. В каждом пункте отбора образцов произрастает не менее 10 экземпляров. Кору отбирали на высоте 1,5 м от уровня почвы, а листья – на высоте 2-2,5 м со всех сторон дерева. При этом в лаборатории готовили среднюю пробу по каждому пункту исследования. Анализы проводились на базе аттестованной эколого-аналитической лаборатории Воронежского госуниверситета. Были определены следующие биоиндикационные параметры: длина, ширина, площадь листовых пластинок, а также количество накопившейся на их поверхности пыли; зольность и кислотность коры.

Для оценки площади листа сканировали и обрабатывали в программе APFill Ink&Toner Coverage Meter, а затем рассчитывали показатель по специальной формуле [5]. Запыленность определяли гравиметрическим методом путем смыва пыли на фильтровальную бумагу [6]. Метод оценки зольности коры основан на определении несгораемого остатка неорганических веществ, остающегося после сжигания и прокаливания сырья².

Все данные были обработаны с помощью статистических методов анализа в программе Statistica 10.0 и Microsoft Excel 2016, картосхемы построены в MapInfo Professional 11.5.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В наших исследованиях в качестве тест-органов, по реакции которых судили о загрязнении воздушной среды, служили листовые пластинки и кора деревьев.

Площадь листовых пластинок является одним из информативных и легко определяемых морфологических параметров у древесных растений (рис. 1). Средние значения показателя изменяются в пределах от 15,44 (пункт №3) до 24,95 см² (пункт №5). Почти во всех пунктах наблюдается уменьшение размеров фотосинтезирующего аппарата по сравнению с фоном.

Минимизация параметров органов объясняется более экстремальными условиями произрастания по сравнению с оптимальными, что является ответной реакцией на стрессовые факторы. Это подтверждено и в других исследованиях. Например, группа ученых [13]

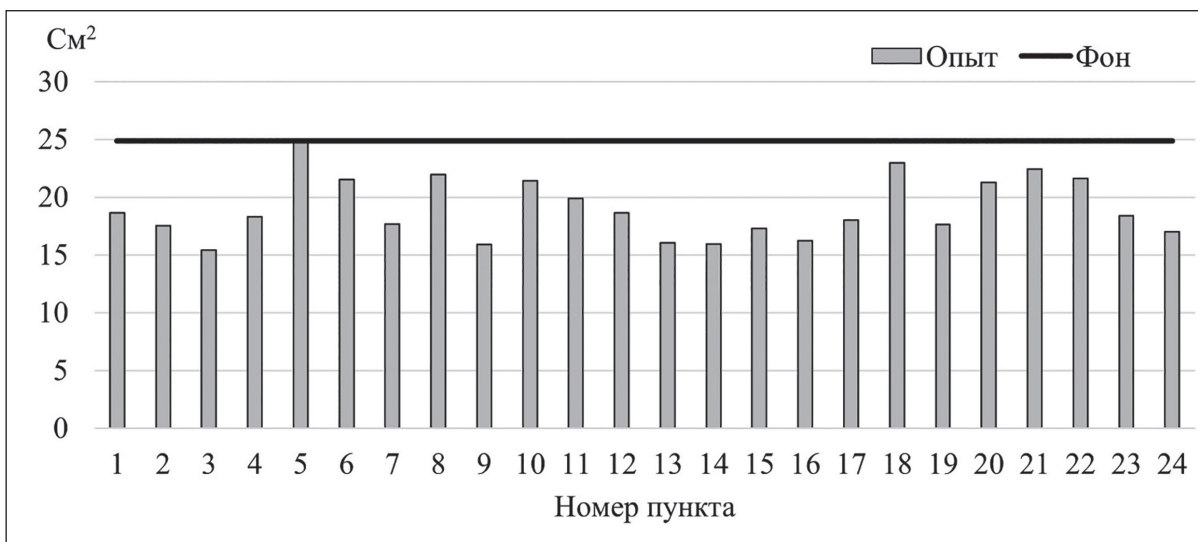


Рис. 1 Средние значения площади листовых пластинок тополя итальянского (август 2023 года)
[Fig. 1. Average values of the area of the leaf blades of the *Populus italica* (August 2023)]

при исследовании территории города Арзамаса установила уменьшение площади листьев ряда видов древесных растений, произрастающих в городской среде, по сравнению с контрольными участками.

Известно, что листовые пластинки аккумулируют на своей поверхности пылевидные частицы, по количеству которых можно судить о загрязнении воздушной среды. Представители рода *Populus* широко распространены не только в России, но и на территории европейских стран. Так, исследования группы ученых в городе Клуж-Напока (Румыния), показали, что листья тополя черного (*Populus nigra* L.) аккумулируют твердые частицы PM_{10} (63%), а также вместе с ними и тяжелые металлы. Основными выявленными антропогенными источниками металлов в листьях тополя были выбросы автотранспорта и сжигание отходов (Cu, Zn), осаждение дорожной пыли (Fe, Pb, Mn, Co) и загрязнение почвы (Pb, Cu, Ni) [20]. Пылеулавливающая способность древесных растений зависит от видовых особенностей, в частности от морфологического строения листа (структуры поверхности, наличия опушения и т.п.) [1, 4]. Так представители рода *Populus* обладают хорошей пылезадерживающей функцией.

Следует отметить, что на количество пыли существенно влияют метеорологические условия. Поэтому до отбора образцов должно пройти не менее трех суток после выпадения осадков. Таким образом, чем более длительный период «без дождя», тем больше пылевидных частиц оседает на листовых пластинках. В нашем случае до отбора прошло 72 часа, что было учтено при расчете скорости осаждения пыли.

Как отмечает А. Ж. Жумадилова [4] при изучении пылеулавливающей способности десяти видов древесных растений на территории города Алма-Аты, количество осаждаемой пыли на листьях зависит от условий

среды обитания и наличия источников загрязнения. Логично предположить, что вблизи источника пылевое загрязнение проявляется обычно в наибольшей степени. В нашем случае наиболее высокая запыленность листовых пластинок тополя итальянского отмечается вблизи улиц с высокой транспортной загруженностью, а также в промышленных зонах города Воронежа. Минимальное содержание пылевидных частиц зафиксировано в рекреационных зонах, а также на придомовых территориях с закрытым типом дворов. Данная закономерность подтверждается и рядом исследователей в других городах России [2, 14].

Особенно выделяется левобережная промышленно-транспортная зона вблизи АО «Воронежсинтезкаучук» (пункты №№ 3, 13-17). Определение скорости осаждения пыли на этой территории показало значения более $0,05 \text{ г/дм}^2 \cdot \text{сут}$, что в десять раз превышает фон. Минимальное количество отмечено в районе ул. Ломоносова и ул. Дарвина (не более $0,01 \text{ г/дм}^2 \cdot \text{сут}$). На рисунке 2 показано количество пыли, осаждаемое листовыми пластинками тополя итальянского на момент исследования.

Нами установлена достоверная отрицательная корреляционная связь ($r = -0,60$) средней силы между площадью листовых пластинок и их запыленностью: чем меньше площадь листьев, тем больше на них пыли. Это справедливо примерно для 33% случаев. Сопряженные результаты по многим исследуемым точкам нами были получены и в начале летнего периода [7].

Таким образом, мы наблюдали различия в запыленности листовых пластинок тополя итальянского, произрастающего в разных функциональных зонах города. Наличие источника загрязнения играет ключевую роль в накоплении пылевидных частиц. При этом необходимо учитывать и погодные условия – длитель-

²ГОСТ 24027.2-80 Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1980, с. 119-126.

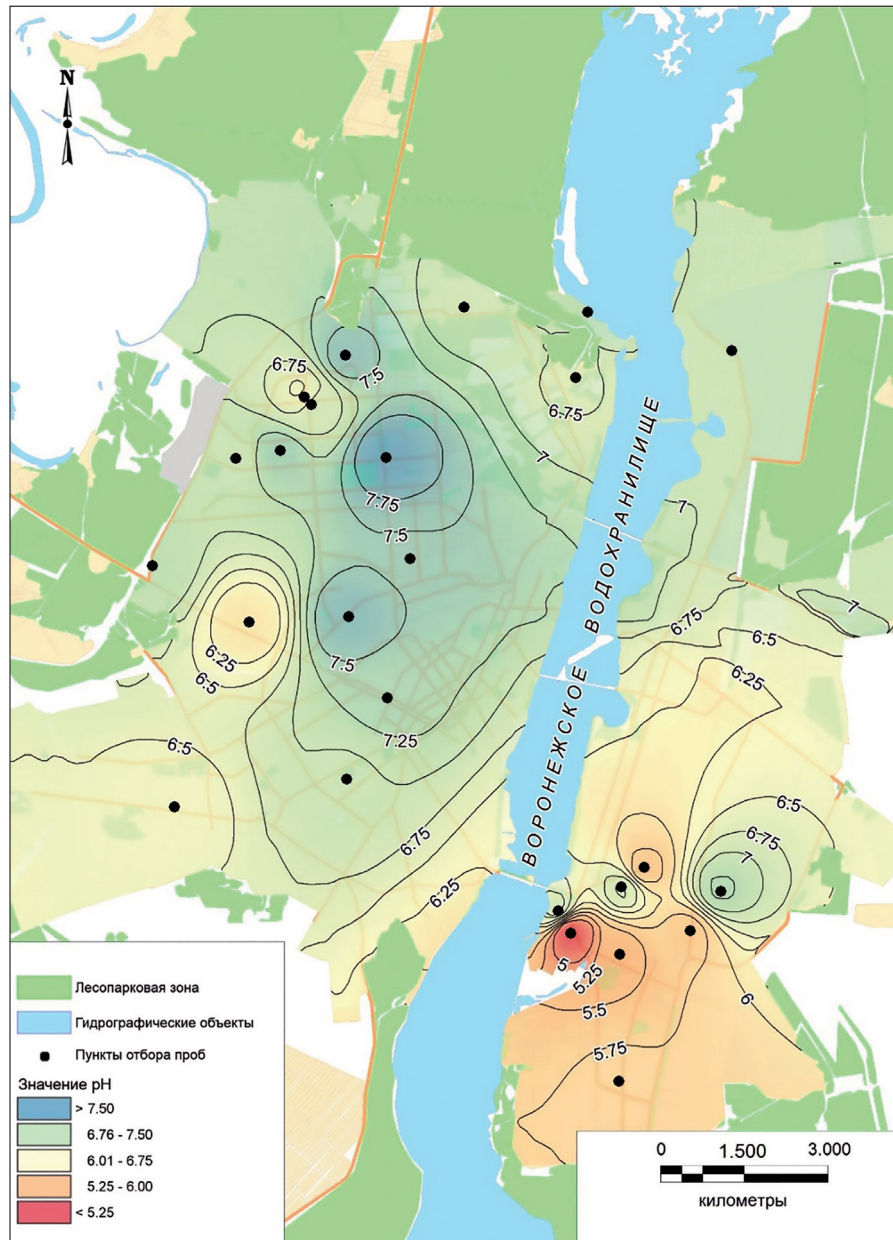


Рис. 2. Запыленность листовых пластинок тополя итальянского (август 2023 года)
 [Fig. 2. Dustiness of the leaf blades of the *Populus italica* (August 2023)]

ное отсутствие атмосферных осадков способствует накоплению пыли в наибольших количествах.

Помимо исследования листовых пластинок мы определяли зольность и кислотность коры тополя итальянского. Кора древесных растений испытывает влияние загрязнителей в течение многих лет. Кора состоит из нескольких слоев: внутреннего слоя (флоэмы или феллодермы), пробкового слоя (феллогена) и внешнего слоя (феллемы). Внешняя кора дерева (корка) является особенно хорошим тест-объектом, поскольку она состоит из мертвых клеток, не участвующих в процессах метаболизма и роста.

Установлено, что существует два способа обогащения коры загрязняющими веществами: внешний (через атмосферное осаждение) и внутренний (через корневую систему). Причем внешний слой коры накапливает поллютанты из воздуха либо пассивно на своей поверхно-

сти, либо за счет процессов ионного обмена во внешних частях отмершего пробкового слоя. В то время как во внутренние слои коры поступление происходит преимущественно через корневую систему из почвы [15].

Следовательно, кора деревьев является отличным адсорбентом переносимых по воздуху загрязнителей, что подтверждено многими исследователями. Так, группа бразильских ученых установила накопление в коре *Tiupaia tupa* (Benth.) Kuntze химических элементов в зависимости от выбросов транспортных средств, что позволило провести классификацию улиц города Сан-Паулу по уровню загрязнения [19]. А.Н. Berlizov с коллегами [18] указывает на то, что кора тополя черного (*Populus nigra* L.) является хорошим биоиндикатором загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами сравнимым с эпифитными лишайниками.

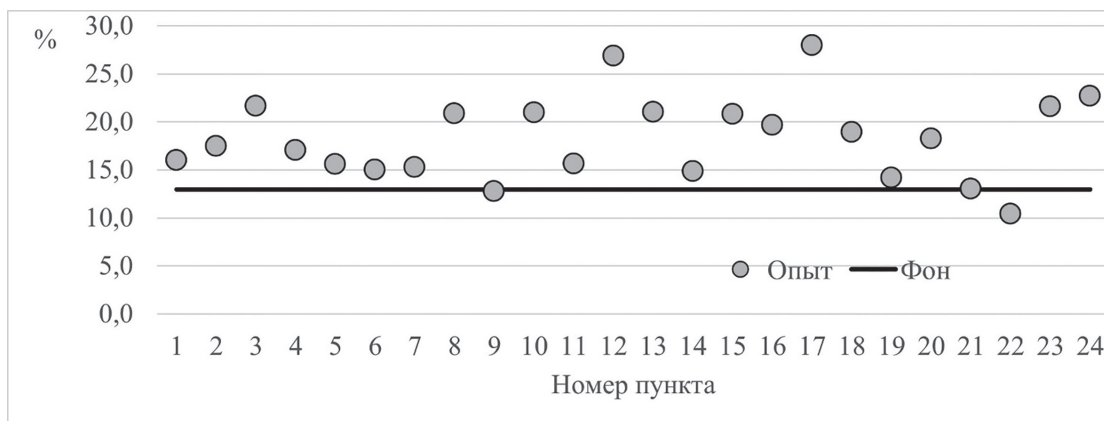


Рис. 3. Средние значения зольности коры тополя итальянского
[Fig. 3. Average ash content of bark of the *Populus italica*]

V. Rimondi с коллегами исследовала содержание ртути в коре сосны черной (*Pinus nigra* JF Arnold) в заброшенном районе добычи ртути на горе Амиата (Южная Тоскана, Италия) и в его окрестностях. Было установлено, что содержание ртути в коре коррелировало с содержанием ртути в почве. Следовательно, кора аккумулирует, как газообразные соединения ртути в воздухе, так и переносимые ветром ртутьсодержащие частицы [16]. Группа ученых подтвердила сопряженность индекса качества воздуха с индексом биоаккумуляции при исследовании элементного состава коры дуба *Quercus* в городе Штасфурте и его окрестностях (Саксония-Анхальт, Германия) [15].

Показатель зольности коры (общее содержание золы) тополя итальянского на территории города Воронежа изменяется в пределах от 10 % до 28 % (рис. 3). Почти во всех точках наблюдается превышение фоновых значений (12,94%). Минимальные значения отмечены в пунктах №№ 9, 19, 21, 22. Высокое содержание золы зафиксировано для образцов из пунктов №№ 12, 17, расположенных в транспортной зоне.

Для более полной картины об источниках загрязнения необходимо проводить анализ содержания химиче-

ских элементов в коре деревьев, что является альтернативной процедурой для выявления пространственной неоднородности загрязнения воздушной среды.

Для всех образцов коры мы определяли кислотность. pH водной вытяжки изменялась от 4,48 до 8,04. На крупных перекрестках (пункты №№ 8 и 12) наблюдается явное подщелачивание коры, а в окрестностях АО «Воронежсинтезкаучук» зафиксировано подкисление до pH 4,5-5,5. Изменение кислотности коры тополя в широких пределах отмечается и в других исследованиях, например, по городу Ставрополю [9].

Еще в 70-е годы XX века К. Grodzińska [17] обнаружила корреляцию между подкислением коры деревьев (*Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Pinus sylvestris*) и концентрацией SO₂ в воздухе Неполомицкой пуши (Польша), расположенной в 20 км от крупного сталеплавильного завода и в 40 км от города Кракова. Это указывает на то, что газообразные загрязнители влияют на кислотность коры. Причем изменения могут быть как в сторону увеличения pH, так и уменьшения в зависимости от действующих веществ.

Следует отметить, что согласно официальным данным совокупный вклад в валовый выброс в атмосфере-

Таблица 2

Статистические характеристики биогеохимических параметров*
[Table 2. Statistical characteristics of biogeochemical parameters]

Показатель / Indicator	M±m _M	X _{min}	X _{max}	Me	±σ	K _{as} /m _{as}	E/m _E	V, %	P _r , %
Зольность коры, %	18,04±0,87	10,41	27,95	17,44	4,36	0,14/ 0,46	-0,04/ 0,92	24,17	4,83
Кислотность коры	6,72±0,17	4,48	8,04	6,91	0,85	-0,23/ 0,46	0,60/ 0,92	12,63	2,53
Площадь листьев, см ²	19,28±0,57	15,44	24,95	18,41	2,83	0,31/ 0,46	-0,76/ 0,92	14,66	2,93

*)Примечание. M±m_M – среднее арифметическое ± ошибка среднего арифметического;

X_{min} – минимальное значение показателя; X_{max} – максимальное значение показателя; Me – медиана;

±σ – среднее квадратическое отклонение; K_{as}/m_{as} – коэффициент асимметрии/ошибка; E/m_E – эксцесс/ошибка;

V – коэффициент вариации; P_r – точность опыта.

[Note. M±m_M – arithmetic mean ± error of the arithmetic mean; X_{min} – minimum value of the indicator; X_{max} – maximum value of the indicator; Me – mediana; ±σ – mean square deviation; K_{as}/m_{as} – coefficient of asymmetry/error; E/m_E – kurtosis/ error; V – coefficient of variation; P_r – The accuracy of the experience]

ный воздух по городу Воронежу от углерода оксида, азота диоксида, серы диоксида, взвешенных веществ, составляет около 70%. Все изученные биоиндикационные параметры были проверены на соответствие закону нормального распределения (распределения Гаусса-Лапласа). В таблице 2 приведены основные характеристики описательной статистики, которые указывают на достоверность полученных данных.

Степень варьирования показателей средняя (11-30%), точность достаточная ($P_r \leq 5\%$). Асимметрия несущественна, что подтверждено с помощью критерия Стьюдента, кроме того, K_{as} и E более чем в три раза превышают свои ошибки (m_{as} и m_E), следовательно, опытные данные соответствуют закону нормального распределения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что с одной стороны, древесные растения могут служить маркером загрязнения воздушного бассейна города, а с другой – могут быть использованы для оздоровления среды в качестве аккумулятора загрязнителей. Поэтому на участках с высокой степенью техногенной нагрузки необходимо дополнительно создавать защитные пояса из древесных растений для снижения экологических рисков для населения.

Уменьшение размеров ассимилирующих органов является ответной реакцией на стрессовое воздействие условий среды обитания. Во всех пунктах исследования на территории города Воронежа отмечено уменьшение площади листьев по сравнению с фоном (менее 24,88 см²). Увеличение запыленности листовых пластинок наблюдается в промышленно-транспортных зонах по сравнению с рекреационными и жилыми микрорайонами.

Зольность коры деревьев может быть использована для долгосрочного наблюдения за состоянием воздушной среды, а кислотность коры может показывать краткосрочное воздействие загрязняющих веществ. Общее содержание золы в 92% случаев превышает фоновые значения. Показатель рН водной вытяжки изменяется в довольно широких пределах (рН = 4,48-8,04): как в сторону подкисления в районе АО «Воронежсинтезкаучук», так и в сторону подщелачивания, в особенности на перекрестках многих крупных улиц.

Таким образом, можно утверждать, что методы биоиндикации с использованием вида-индикатора тополя итальянского могут эффективно применяться для оценки загрязнения воздушной среды на урбанизированных территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Ю. В. Пылеудерживающая способность листьев боярышника // *Материалы I Национальной конференции по итогам научной и производственной работы преподавателей и студентов в области ландшафтной архитектуры и лесного дела*, 2019, с. 8-11.
2. Беляева Ю. В. Анализ влияния пылевой нагрузки на популяцию *Betula pendula* Roth. (Тольятти, Самарская область) // *Сборник статей Международной научной конференции «История ботаники в России. К 100-летию юбилею РБО»*, 2015, с. 28-32.

3. Голуб В. Б., Семенова В. А. Биоиндикация антропогенной пресса в некоторых районах г. Воронежа // *Материалы Международной научной конференции «Современные проблемы биоразнообразия»*, 2009, с. 97-102.

4. Жумадилова А. Ж. Пылеудерживающая способность древесных и кустарниковых растений // *Новости науки Казахстана*, 2014, № 2 (120), с. 38-48.

5. Клевцова М. А. Создание тематической геоинформационной системы «Городская биота» / этапы, методика, критерии оценки // *Региональная экологическая диагностика состояния воздушной среды промышленных городов*, 2020, с. 148-161.

6. Клевцова М. А., Доброва Е. А. Биоиндикационная оценка пылеулавливающей способности листовых пластинок тополя итальянского в условиях техногенного загрязнения городской среды // *Оценка и геоинформационное картографирование медико-экологической ситуации на территории города Воронежа*, 2019, с. 147-160.

7. Клевцова М. А., Михеев А. А. Биоиндикационная оценка техногенного загрязнения урбанизированной среды по реакциям тополя итальянского (*Populus italica* (Du Roi) Moench) // *Региональные геосистемы*, 2023, т. 47, № 3, с. 472-488.

8. Клевцова М. А., Якунин А. И., Михеев А. А. Эколого-геохимическая диагностика загрязнения территории по реакции древесных растений // *Медико-экологическая диагностика состояния окружающей среды города Воронежа*, 2017, с. 113-124.

9. Мовсесова В. В., Блужина А. С., Бакуменко И. А. Экологическая оценка содержания сульфатов в воздушной среде г. Ставрополя методами биоиндикации // *Наука. Инновации. Технологии*, 2020, № 1, с. 141-149.

10. Опекунова М. Г. *Биоиндикация загрязнений*. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2016. 298 с.

11. Организация мониторинга канцерогенов в атмосферном воздухе города и оценка риска для здоровья / О. В. Клепиков, Ю. И. Степкин, С. А. Куролап, С. А. Епринцев // *Санитарный врач*, 2020, № 11, с. 19-28.

12. Оценка влияния метеорологических параметров на техногенное загрязнение канцерогенноопасными химическими веществами воздушного бассейна города Воронежа / Куролап С. А., Петросян В. С., Клепиков О. В., и др. // *Экология и промышленность России*, 2021, т. 25, № 2, с. 60-65.

13. Ростунов А. А., Кончина Т. А. Влияние техногенных загрязнений на физиологические показатели листьев древесных растений на примере г. Арамаса // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология*, 2016, т. 15, с. 68-79.

14. Соколова М. И., Сарбаева Е. В. Пылеулавливающая способность древесных растений, произрастающих в условиях г. Йошкар-Олы // *Сборник статей Всероссийской научной конференции «Современные проблемы медицины и естественных наук»*, 2017, с. 228-230.

15. Birke M., Uwe Rauch U., Hofmann F. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany // *Journal of Geochemical Exploration*, 2018, vol. 187, pp. 97-117.

16. Black pine (*Pinus nigra*) barks: A critical evaluation of some sampling and analysis parameters for mercury biomonitoring purposes / V. Rimondi, P. Costagliola, R. Benesperi et al. // *Ecological Indicators*, 2020, vol. 112, 106110.

17. Grodzińska K. Tree bark – sensitive biotest for environment acidification // *Environment International*, 1979, vol. 2, iss. 3, pp. 173-176.

18. Testing applicability of black poplar (*Populus nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions / A. N. Berlizov, O. B. Blum, R. H. Filby et al. // *Science of The Total Environment*, 2007, vol. 372, iss. 2-3, pp. 693-706.

19. The use of tree barks to monitor traffic related air pollution: a case study in São Paulo–Brazil / T. C. L. Moreira, L. F. Amato-Lourenço, G. T. da Silva et al. // *Frontier Environmental Science*, 2018, vol. 6, 72.

20. Use of black poplar leaves for the biomonitoring of air pollution in an urban agglomeration / L. Levei, O. Cadar, V. Balau-Fuss et al. // *Plants*, 2021, 10, 548.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 07.03.2024

Принята к публикации: 28.05.2024

UDC 504.05:581.5 (470. 324)

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/127-134>

Ecological assessment of air pollution in a large industrial city by bioindication methods

M.A. Klevtsova , P.M. Vinogradov, A.A. Kirillova, E.A. Lunyakina

Voronezh State University, Russian Federation
(1, Universitetskaya sq., Voronezh, 394018)

Abstract. The purpose of the present research was to assess the state of the air environment of the city of Voronezh using bio-indication methods.

Materials and Methods. During the 2023 growing season, 25 sites within the city were surveyed and plant material was sampled. The indicator species was Italian poplar (*Populus italica* (Du Roi) Moench). The following biogeochemical parameters were determined: ash content and acidity of bark, as well as area and dustiness of leaf plates.

Results and discussion. A decrease in leaf plate area of Italian poplar and an increase in the amount of deposited dust in the industrial and transportation zone were recorded. A reliable negative correlation of medium strength between the area of leaf plates and their dustiness was established: the smaller the leaf area, the more dust on them. The change in the acidity of Italian poplar bark varies widely. Bark alkalization was noted at the intersections of some major streets, acidification was recorded in the vicinity of JSC "Voronezhskintezkauchuk". Bark ash content exceeds background values in almost all points.

Conclusions. The aggregate of bioindication parameters can be used to assess the state of the air environment in urbanized areas. At the same time, indicators such as leaf area and the amount of dust accumulated on their surface are used only during the growing season, while bark acidity and ash content are available for a long time.

Keywords: bioindication, pollution, air environment, woody plants, dustiness, ash content, Voronezh city.

Funding: The research was funded by the Russian Science Foundation grant No. 20-17-00172, <https://rscf.ru/project/20-17-00172/>.

For citation: Klevtsova M.A., Vinogradov P.M., Kirillova A.A., Lunyakina E.A. Ecological Assessment of Air Pollution in a Large Industrial City by Bioindication Methods. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografya. Geoekologiya*, 2024, no. 2, pp. 143-151. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/127-134>

REFERENCES

1. Aleksandrova Yu. V. Pyleuderzhivayushchaya sposobnost' list'ev boyaryshnika [The dust-retaining ability of hawthorn leaves]. *Materialy I Natsional'noy konferentsii po itogam nauchnoy i proizvodstvennoy raboty prepodavateley i studentov v oblasti land-shaftnoy arkhitektury i lesnogo dela*, 2019, pp. 8-11. (In Russ.)

2. Belyaeva Yu. V. Analiz vliyaniya pylevoy nagruzki na populyatsiyu *Betula pendula* Roth. (Tolyatti, Samarskaya oblast') [Analysis of the effect of dust load on the population of *Betula pendula* Roth. (Tolyatti, Samara region)]. *Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Istoriya botaniki v Rossii. K 100-letnemu yubileyu RBO»*, 2015, pp. 28-32. (In Russ.)


3. Golub V.B., Semenova V.A. Bioindikatsiya antropogennogo pressa v nekotorykh rayonakh g. Voronezha [Bioindication of anthropogenic press in some areas of Voronezh]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Sovremennyye problemy bioraznoobraziya»*, 2009, pp. 97-102. (In Russ.)

4. Zhumadilova A. Zh. Pyleuderzhivayushchaya sposobnost' drevesnykh i kustarnikovyykh rasteniy [Dust-retaining ability of woody and shrubby plants]. *Novosti nauki Kazakhstana*, 2014, no. 2 (120), pp. 38-48. (In Russ.)

5. Klevtsova M.A. Sozdanie tematicheskoy geoinformatsionnoy sistemy «Gorodskaya biota»: etapy, metodiki, kriterii otsenki [Creation of the thematic geoinformation system «Urban biota» / stages, methods, evaluation criteria]. *Regional'naya ekologicheskaya diagnostika sostoyaniya vozdukhnoy sredy promyshlennykh gorodov*, 2020, pp. 148-161. (In Russ.)

6. Klevtsova M.A., Dobrova E.A. Bioindikatsionnaya otsenka pyle-ulavlivayushchey sposobnosti listovykh plastinok topolya ital'yanskogo v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya gorodskoy sredy [Bioindication assessment of the dust-trapping ability of Italian poplar leaf plates in conditions of technogenic pollution of the urban environment]. *Otsenka i geoinformatsionnoe kartografirovanie mediko-ekologicheskoy situatsii na territorii goroda Voronezha*, 2019, pp. 147-160. (In Russ.)

© Mezhova L.A., Letin A.L., 2024

 Marina A. Klevtsova, e-mail: marin-m@yandex.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

7. Klevtsova M. A., Mikheev A. A. Bioindikatsionnaya otsenka tekhnogenogo zagryazneniya urbanizirovannoy sredy po reaktsiyam topolya ital'yanskogo (*Populus italica* (Du Roi) Moench.) [Bioindicative assessment of technogenic pollution of the urbanized environment according to the reactions of *Populus italica* (Du Roi) Moench.]. *Regional Geosystems*, 2023, vol. 47, no. 3, pp. 472–488. (In Russ.)
8. Klevtsova M. A., Yakunin A. I., Mikheev A. A. Ekologo-geokhimicheskaya diagnostika zagryazneniya territorii po reaktsii drevesnykh rasteniy [Ecological and geochemical diagnostics of pollution of the territory by the reaction of woody plants]. *Mediko-ekologicheskaya diagnostika sostoyaniya okruzhayushchey sredy goroda Voronezha*, 2017, pp. 113–124. (In Russ.)
9. Movsesova V. V., Bluzhina A. S., Bakumenko I. A. Ekologicheskaya otsenka sodержaniya sulfatov v vozduшной среде g. Stavropolya metodami bioindikatsii [Ecological assessment of sulfate content in the air environment of Stavropol by bioindication methods] *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*, 2020, no. 1, pp. 141–149. (In Russ.)
10. Opekunova M. G. *Bioindikatsiya zagryazneniy* [Bioindication of pollution: a textbook]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 2016. 298 p. (In Russ.)
11. Organizatsiya monitoringa kantserogenov v atmosferenom vozdukhе goroda i otsenka riska dlya zdorov'ya [Organization of monitoring of carcinogens in the atmospheric air of the city and assessment of health risks] / O. V. Klepikov, Yu. I. Stepinkin, S. A. Kurolap, S. A. Eprintsev. *Sanitarnyy vrach*, 2020, no. 11, pp. 19–28. (In Russ.)
12. Otsenka vliyaniya meteorologicheskikh parametrov na tekhnogennoe zagryaznenie kantserogennoopasnymi khimicheskimi veshchestvami vozdušnogo basseyna goroda Voronezha [Assessment of the influence of meteorological parameters on technogenic pollution by carcinogenically dangerous chemicals in the air basin of the city of Voronezh] / Kurolap S. A., Petrosyan V. S., Klepikov O. V., i dr. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 60–65. (In Russ.)
13. Rostunov A. A., Konchina T. A. Vliyanie tekhnogennykh zagryazneniy na fiziologicheskie pokazateli list'ev drevesnykh rasteniy na primere g. Arzamasa [Influence anthropogenic pollution on the physiological parameters of leaves of woody plants on the example of Arzamas]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya*, 2016, vol. 15, pp. 68–79. (In Russ.)

Received: 07.03.2024

Accepted: 28.05.2024

Клевцова Марина Александровна
кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2947-4993, e-mail: marin-m@yandex.ru

Виноградов Павел Михайлович
кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-6978-8463, e-mail: vinpaul89@gmail.com

Кириллова Алина Александровна
студент 4 курса факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0009-0070-7316-3133, e-mail: alina.kirillova02@mail.ru

Лунякина Екатерина Александровна
студент 4 курса факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0009-0005-6758-157X, e-mail: lunyakina.ekaterina@yandex.ru

Marina A. Klevtsova
Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof. at the Department of Geocology and Environmental Monitoring, Faculty of Geography, Geocology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2947-4993, e-mail: marin-m@yandex.ru

Pavel M. Vinogradov
Cand. Sci. (Geogr.), Senior Lecturer at the Department of Geocology and Environmental Monitoring, Faculty of Geography, Geocology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-6978-8463, e-mail: vinpaul89@gmail.com

Alina A. Kirillova
4th year student at the Faculty of Geography, Geocology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0009-0070-7316-3133, e-mail: alina.kirillova02@mail.ru

Ekaterina A. Lunyakina
4th year student at the Faculty of Geography, Geocology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0009-0005-6758-157X, e-mail: lunyakina.ekaterina@yandex.ru