ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА
FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

УДК 58.01/.07 DOI: 10.5281/zenodo.20417867 EDN: FFSCDY

© **Н.С. Мирненко**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЫЛЬЦЕВЫХ СПЕКТРОВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ И ПРИРОДНЫХ БИОТОПОВ ДОНБАССА

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46

Мирненко Н. С. **Сравнительный анализ пыльцевых спектров урбанизированных и природных биотопов Донбасса. –** В работе представлены результаты сравнительного анализа пыльцевых спектров урбанизированных и природных биотопов Донбасса на основе обобщения многолетних исследований (2018–2025 гг.). Объекты изучения: комплекс сорно-рудеральных растений (10 доминирующих таксонов), инвазивный вид *Ambrosia artemisiifolia* L. и аборигенный вид *Diplotaxis muralis* (L.) DC. Материал собран на 17 мониторинговых точках, разделенных по уровню антропогенной нагрузки. Методами световой микроскопии проведены морфометрические измерения пыльцевых зерен, оценка их фертильности и степени дефектности (СДП). Статистическая обработка включала корреляционный анализ (по Спирмену) и метод главных компонент. Установлено, что в урбанизированных биотопах достоверно снижаются размеры пыльцевых зерен (на 5–10 %), падает фертильность (на 10–15 %) и возрастает доля морфологических аномалий (в 2–4 раза) по сравнению с природными территориями.

Ключевые слова: экология, палиноиндикация, фертильность, биоиндикация, мониторинг, Донбасс.

Введение

Донбасс представляет собой регион с уникальным сочетанием высокой степени урбанизации, концентрации промышленных объектов и сложных природно-климатических условий, характерных для степной зоны Северного Причерноморья. Многолетняя техногенная нагрузка, усугубляемая в последние годы дополнительными факторами, связанными с военными действиями, приводит к значительной трансформации естественных местообитаний. В городской среде преобладают повышенные температуры, измененный газовый состав атмосферы и наличие поллютантов, что в совокупности создает специфические условия для произрастания растений и неизбежно отражается на их репродуктивных стратегиях, в первую очередь на качестве пыльцы [1, 5, 8, 11].

Ранее проведенные нами исследования были посвящены отдельным аспектам этой проблемы: изучению сезонной динамики пыльцевых спектров сорно-рудеральных растений в условиях г. Донецка, анализу качества пыльцы инвазивного вида *Ambrosia artemisiifolia* L. как индикатора городской среды, а также оценке адаптационных стратегий репродуктивной системы *Diplotaxis muralis* (L.) DC. в стрессовых условиях степной зоны [11, 12, 14, 16]. Полученные данные свидетельствуют о высокой вариабельности палинологических показателей и их тесной связи с уровнем антропогенной нагрузки. Однако до настоящего времени не было проведено комплексного сравнительного анализа пыльцевых спектров растений, произрастающих в контрастных условиях – на урбанизированных территориях с высоким техногенным прессом и в условно природных биотопах, выполняющих роль рекреационных зон.

Необходимость такого сравнения является важным элементом в количественной оценке степени трансформации репродуктивных особенностей растений под влиянием городской среды. Выявление общих закономерностей и видоспецифичных реакций позволит не только углубить фундаментальные представления об адаптационных механизмах растений в антропогенно-трансформированной среде, но и разработать практические рекомендации для

© **Мирненко Н. С., 2026**

экологического мониторинга и прогнозирования состояния урбоэкосистем. Особую значимость исследования приобретают в контексте профилактики поллинозов, так как пыльца растений является одним из сильнейших аллергенов, а ее качественные и количественные характеристики напрямую влияют на здоровье населения [6, 16, 18, 20].

Целью работы является проведение сравнительного анализа морфометрических параметров, фертильности и спектра структурных аномалий пыльцевых зерен модельных видов растений, репрезентативных для урбанизированных и природных биотопов Донбасса, для установления корреляционных связей между палинологическими показателями и степенью антропогенной трансформации среды. В рамках работы предполагается интегрировать данные, полученные ранее для *Ambrosia artemisiifolia* L., *Diplotaxis muralis* (L.) DC. и комплекса сорно-рудеральных видов, унифицировать методы их статистической обработки и выявить наиболее информативные палиноиндикационные критерии для оценки экологического состояния региона.

Материал и методы исследования

Для достижения поставленной цели в качестве объектов исследования были выбраны модельные виды растений, репрезентативные для флоры Донбасса и ранее изученные нами в контексте палиноиндикации [11–13, 19, 20, 24, 25]: *Senecio vulgaris* L., *Consolida arvensis*Opiz., *Salvia stepposa* L., *Urtica dioica* L., *Tanacetum vulgare* L., *Fumaria officinalis* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Euphorbia stepposa* Zoz ex Prokh., *Trifolium pratense* L., инвазивный вид *Ambrosia artemisiifolia* L. (амброзия полыннолистная), проявляющий высокую толерантность к антропогенному прессу [11], аборигенный вид *Diplotaxis muralis* (L.) DC. (двурядник стенный), произрастающий как в нарушенных, так и в условно-природных местообитаниях и характеризующийся четкой реакцией репродуктивной системы на экологический стресс [12].

Выбор данных объектов обусловлен их широким распространением, различной экологической стратегией и наличием репрезентативных данных за период 2018–2025 гг.

Исследования проводили на территории Донецкой Народной Республики, характеризующейся умеренно-континентальным климатом с жарким засушливым летом и высокой степенью техногенной нагрузкой. Для сравнительного анализа все точки отбора проб были разделены на две группы: **урбанизированные биотопы** (с высокой антропогенной нагрузкой) и **условно-природные биотопы** (рекреационные зоны с минимальным техногенным влиянием). Общая схема точек представлена в таблице 1.

Сбор материала осуществляли в вегетационные сезоны 2018–2025 гг. в период массового цветения исследуемых видов (апрель–сентябрь). Для морфологического анализа и оценки фертильности: с 25 одновозрастных неповрежденных особей на каждой пробной площадке отбирали соцветия (бутоны и раскрывающиеся цветки) [10]. Для аэропалинологического анализа: часть материала отбирали гравитационным методом (осаждение пыльцы под действием силы тяжести) на предметные стекла, покрытые глицерин-желатиновой смесью, экспонируемые в течение суток [10, 11]. Собранные соцветия фиксировали в 70 % растворе этилового спирта для последующей лабораторной обработки либо высушивали в бумажных пакетах [10, 12]. Качественное состояние пыльцевых зерен определяли с использованием йодного метода (реакция на крахмал). Пыльцу с пыльников переносили на предметное стекло в каплю йодного раствора (йод-крахмальный тест). Фертильные зерна, содержащие крахмал, окрашивались в темно-фиолетовый или коричневый цвет; стерильные (без крахмала) и оболочки зерен оставались неокрашенными [4, 6, 12]. В случае с данными за 2020–2022 гг. также применяли ацетокарминовый метод, выявляющий активность ферментов [13]. Измерение размеров пыльцевых зерен (полярная и экваториальная оси) и анализ конфигурации апертур проводили с помощью микроскопа Primo Star (Carl Zeiss) при увеличениях 40×10 и 90×10 с использованием окуляр-микрометра. Для идентификации таксонов использовали информационную систему МГУ [9].

Таблица 1

Точки отбора проб

Группа биотопов	Расположение точек отбора	Характеристика мониторинговых точек
Урбанизированные	г. Донецк, пересечение пр. Мира и ул. Набережная (точка 1)	центральная магистраль г. Донецка, интенсивный транспортный поток
	г. Донецк, бульвар Шевченко, остановка Калининский рынок (точка 2)	высокая транспортная нагрузка и интенсивное движение
	г. Донецк, пр. Ильича, остановка Медицинский университет (точка 3)	транспортная магистраль г. Донецка
	г. Донецк, пр. Дзержинского, остановка Автомобильная академия (точка 4)	примагистральная территория
	г. Донецк, пересечение ул. Артема и пр. Гринкевича (точка 5)	перекресток в центре г. Донецка
	г. Донецк, пересечение ул. Щорса и пр. Ватутина (точка 6)	район с интенсивным движением
	г. Донецк, Ленинский пр., остановка Молокозавад (точка 7)	юго-восточный район г. Донецка, селитебная зона
	г. Донецк, пр. Богдана Хмельницкого и пр. Ватутина (точка 8)	транспортная магистраль
	г. Донецк, пр. Павших Коммунаров, остановка Гор. ГАИ (точка 9)	зона влияния Донецкого металлургического завода
	г. Донецк, пгт. Новый Свет, ул. Промышленная (точка 10)	зона влияния Старобешевской ТЭС
	г. Донецк, пгт. Новый Свет, ул. Энергетическая (точка 11)	зона влияния Старобешевской ТЭС, берег Старобешевского водохранилища
	г. Донецк, пгт. Новый Свет, ул. Энгельса (точка 12)	зона влияния Старобешевской ТЭС, берег Старобешевского водохранилища
	г. Донецк, пр. Киевский (точка 13)	селитебная зона, район примыкания к зоне активных боевых действий
	г. Донецк, ул. Пролетарская (точка 14)	спальный район, селитебная зона
Условно-природные	г. Донецк, Макеевское шоссе (дендрарий Донецкого ботанического сада) (точка 15)	крупная рекреационная зона вблизи прудов
	пгт. Старобешево (точка 16)	изолированный участок, удаленный от промзон
	пгт. Старобешево (точка 17)	изолированный участок, удаленный от промзон

При микроскопировании регистрировали все морфологические аномалии пыльцевых зерен: нарушения формы (вмятины, выросты), скульптуры экзины (разрыхление, сглаживание), образование конгломератов (слипшихся и сросшихся зерен), нарушения числа и расположения апертур. Рассчитывали показатель степени дефектности (СДП) – отношение количества зерен с дефектами к общему числу просмотренных зерен, выраженное в процентах [17].

Для *D. muralis* проводили подсчет количества пыльцевых зерен в пыльнике (в камере Горяева) и числа семязачатков в завязи под бинокуляром для расчета соотношения Pollen/Ovule [23]. Для каждого образца и каждой точки отбора анализ проводили в 3–5 полях зрения, общее количество просчитанных пыльцевых зерен составляло не менее 1 000 на точку [5, 23].

Для обеспечения корректности сравнительного анализа и выявления скрытых закономерностей все полученные данные были унифицированы и обработаны с использованием пакета статистических программ (Statistica 12.0, MS Excel). Для каждого палинологического параметра (размер пыльцы, % фертильности, % стерильности, % дефектности) в каждой группе биотопов рассчитывали среднее арифметическое (M), ошибку среднего (m) и коэффициент вариации (CV, %) [23].

Проверку распределения признаков в выборках проводили с использованием критерия Шапиро-Уилка. Для оценки достоверности различий между урбанизированными и условно-природными биотопами использовали t-критерий Стьюдента (для параметрических данных) и U-критерий Манна-Уитни (для непараметрических). Для выявления связи между степенью антропогенной нагрузки и палинологическими показателями, а также для оценки взаимосвязи между самими показателями (например, «размер пыльцы – фертильность») применяли ранговый коэффициент корреляции Спирмена (r_s).

С целью интегральной оценки сходства и различий исследованных биотопов по комплексу палинологических признаков был применен метод главных компонент (PCA) и кластерный анализ (метод Варда, евклидово расстояние).

Результаты и обсуждение

Таксономический состав и обилие продуцентов пыльцы. В результате идентификации пыльцевых спектров на 18 мониторинговых точках, разделенных на урбанизированные (n=14) и условно-природные (n=4) биотопы, было зарегистрировано 18 таксонов сорно-рудеральных растений, относящихся к 15 семействам. Доминирующий комплекс, формирующий основу пыльцевого спектра (суммарный вклад >0,5 % от общего годового содержания пыльцы), включал 10 видов: *S. vulgaris, C. arvensis, S. stepposa, U. dioica, T. vulgare, F. officinalis, T. officinale, E. repens, E. stepposa, T. pratense*.

Анализ встречаемости по шкале Друде показал, что в урбанизированных биотопах (точки 1–14) доля видов сорно-рудеральной фракции была выше (в среднем Cop1-Sp), чем в природных (Sol-Sp), что согласуется с концепцией синантропизации флоры в условиях антропогенного пресса. В природных биотопах (точки 15–17) отмечено большее участие аборигенных степных видов, однако пыльцевой спектр на 60–70 % формировался за счет рудералов, что указывает на общую тенденцию к унификации флоры региона.

Сезонная динамика пыления. Установлено, что максимальное таксономическое разнообразие (до 12–14 видов) и пик концентрации пыльцы в воздухе приходятся на первую-вторую декаду июня. Этот период характеризуется также наивысшей фертильностью пыльцы у большинства видов (табл. 3). В урбанизированных биотопах отмечено смещение начала цветения на 3–5 дней раньше по сравнению с природными, что, вероятно, связано с эффектом «острова тепла» в городе.

Морфометрический анализ пыльцевых зерен модельных видов. Для сравнительного анализа были выбраны два индикаторных вида, которые имеют максимальное распространение по шкале Друде и имеющие различие по экологической стратегии: *A. artemisiifolia* (инвазивный аллерген), *D. muralis* (аборигенный рудерал) и усредненные показатели по комплексу сорно-рудеральных видов. В таблице 2 представлены средние значения полярной оси пыльцевых зерен (мкм) в двух группах биотопов.

Таблица 2

Размеры пыльцевых зерен (полярная ось, мкм) модельных видов в различных биотопах

Вид	Урбанизированные биотопы	Природные биотопы	Достоверность различий (p)
	M ± m		
Ambrosia artemisiifolia L.	22,4 ± 1,2	24,1 ± 0,9	<0,05
Diplotaxis muralis (L.) DC.	24,8 ± 1,5	27,2 ± 1,1	<0,01
Комплекс сорно-рудеральных видов растений	29,4 ± 1,3	38,9 ± 1,8	<0,001

Установлено, что у *A. artemisiifolia* и *D. muralis* средний размер пыльцевых зерен достоверно ниже в урбанизированных биотопах ($p<0,05$ и $p<0,01$ соответственно). Это может

быть следствием ингибирования роста микроспор под воздействием поллютантов и водного дефицита, приводящего к преждевременной дегидратации тапетума. Коэффициент вариации (CV) размера пыльцы в урбанизированных биотопах был выше (в среднем CV = 12–18 %), чем в природных (CV = 6–10 %), что свидетельствует о дестабилизации морфогенеза в стрессовых условиях. Наибольшая вариабельность отмечена для *D. muralis* в точках вблизи Старобешевской ТЭС (CV до 21%).

Фертильность и стерильность. Доля фертильных пыльцевых зерен (окрашенных йодом или ацетокармином) значимо различалась между группами биотопов (табл. 3).

Таблица 3

Фертильность пыльцы (%) модельных видов в различных биотопах

Вид	Урбанизированные биотопы	Природные биотопы	Достоверность различий (p)
	M ± m		
Ambrosia artemisiifolia L.	78,4 ± 3,2	92,1 ± 2,1	<0,001
Diplotaxis muralis (L.) DC.	82,5 ± 4,1	95,6 ± 1,8	<0,01
Комплекс сорно-рудеральных видов растений	81,7 ± 2,9	89,5 ± 2,3	<0,05

Наиболее резкое снижение фертильности в условиях города отмечено для *A. artemisiifolia* (до 78 % против 92 % в природе), что подтверждает высокую чувствительность этого инвазивного вида даже при его общей толерантности к загрязнению. У *D. muralis* в максимально-неблагоприятных условиях (точки 10–12) стерильность достигала 65 %, что связано с нарушениями в развитии тапетума и дегидратацией археспориальной ткани.

Типология аномалий. При микроскопическом анализе зарегистрированы следующие типы морфологических дефектов: выросты экзины, вмятины, дополнительные поры, разрыхление и сглаживание скульптурных элементов, образование конгломератов из 2–4 слипшихся зерен, а также полное разрушение оболочек. Наиболее разнообразные аномалии наблюдались у *A. artemisiifolia* в точках с высокой транспортной нагрузкой (точка 5 – перекресток ул. Артема и пр. Гринкевича).

Степень дефектности (СДП). Показатель СДП (доля зерен с аномалиями) оказался наиболее контрастным индикатором (табл. 4).

Таблица 4

Степень дефектности пыльцы (%) в различных биотопах

Вид	Урбанизированные биотопы	Природные биотопы	Достоверность различий (p)
	M ± m		
Ambrosia artemisiifolia L.	17,5 ± 2,8	5,2 ± 1,1	<0,001
Diplotaxis muralis (L.) DC.	12,3 ± 2,1	3,8 ± 0,9	<0,01
Комплекс сорно-рудеральных видов растений	9,8 ± 1,5	4,1 ± 0,7	<0,01

Комплекс сорно-рудеральных растений минимальная СДП зафиксирована в природных биотопах (точки 15–17), максимальная – в центральных районах Донецка (точки 1, 5, 7) и вблизи ТЭС (точка 10). Это указывает на прямую связь – нарушений микроспорогенеза с уровнем атмосферного загрязнения. Для оценки силы связи между палинологическими показателями и степенью антропогенной нагрузки (бинарный фактор: 0 – природный,

1 – урбанизированный биотоп) был проведен корреляционный анализ по Спирмену. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5

Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (r_s) между палинологическими показателями и типом биотопа

Вид	*Ambrosia artemisiifolia L.*	*Diplotaxis muralis (L.) DC.*	Комплекс сорно-рудеральных видов растений
Размер пыльцы	– 0,64*	– 0,71**	– 0,58*
Фертильность	– 0,82***	– 0,77**	– 0,69**
Степень дефектности (СДП)	+ 0,88***	+ 0,79**	+ 0,72**

Примечание: * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.

Наиболее сильная корреляция с урбанизацией выявлена для СДП у *A. artemisiifolia* (r_s = +0,88), что позволяет рекомендовать этот показатель как высокочувствительный индикатор качества городской среды. С целью интегральной классификации биотопов по комплексу палинологических признаков (размер, фертильность, СДП) был выполнен метод главных компонент (PCA). Таким образом, многомерная статистика объективно подтверждает, что различия в пыльцевых параметрах между двумя типами биотопов носят системный характер и могут служить основой для биоиндикации. Полученные данные демонстрируют, что пыльцевые зерна растений чутко реагируют на комплекс антропогенных факторов. Снижение фертильности, уменьшение размеров и рост числа тератоморф являются неспецифическими реакциями на стресс, однако их выраженность видоспецифична.

Инвазивный вид *A. artemisiifolia*, несмотря на высокую экологическую пластичность и способность захватывать нарушенные местообитания, показал максимальную СДП в городе. Это говорит о том, что даже для конкурентно-устойчивых видов городская среда является физиологически дискомфортной, что может сдерживать их репродуктивный потенциал, хотя и не препятствует распространению плодов за счет огромного количества продуцируемой пыльцы.

Аборигенный рудерал *D. muralis* в условиях жесткого стресса (ТЭС, засуха) демонстрирует стратегию энергосбережения: сокращение числа пыльцевых зерен и увеличение стерильности при сохранении жизнеспособности семязачатков. Выявленные случаи андромоноэции (цветки без тычинок) могут рассматриваться как крайняя мера адаптации к дефициту ресурсов.

Комплекс сорно-рудеральных видов в целом сохраняет относительно стабильные показатели в природных биотопах, но в урбанизированных зонах также реагирует ухудшением качества пыльцы. Это подтверждает применимость палинологических параметров для интегральной оценки состояния растительных сообществ. Положительные корреляции СДП и фертильности с градиентом урбанизации позволяют предложить использовать эти показатели в качестве дополнительных критериев при экологическом мониторинге и зонировании территории. Особую значимость исследования имеют для прогноза поллинозной опасности, так как дефектная пыльца может обладать измененной аллергенностью.

Выводы

1. В результате сравнительного анализа палинологических параметров на 17 мониторинговых точках установлены достоверные различия между урбанизированными и природными биотопами Донбасса. В городских условиях выявлено устойчивое снижение размеров пыльцевых зерен (на 5–10 %), падение фертильности (на 10 – 15 %) и увеличение степени дефектности (в 2–4 раза) у всех исследованных групп растений – инвазивного вида *A artemisiifolia*, аборигенного вида *D. muralis* и комплекса сорно-рудеральных видов.

Наиболее чувствительным индикатором антропогенной нагрузки признана степень дефектности пыльцы *A. artemisiifolia*, продемонстрировавшая сильную положительную корреляцию с градиентом урбанизации ($r_s = +0,88$; $p<0,001$)..

2. Методами многомерной статистики (метод главных компонент и кластерный анализ) подтверждено четкое разделение урбанизированных и природных биотопов по комплексу палинологических показателей. Внутри группы городских территорий выделен кластер точек с максимальной антропогенной нагрузкой (центральные перекрестки и зона влияния ТЭС), характеризующийся наиболее низкими значениями фертильности и высокой степенью дефектности пыльцы.

3. Выявлены видоспецифичные адаптационные стратегии репродуктивной системы растений в условиях антропогенного стресса: инвазивный *A. artemisiifolia* реализует стратегию количественной компенсации сниженного качества пыльцы за счет высокой пыльцевой продуктивности, тогда как аборигенный *D. Muralis* демонстрирует энергосберегающую стратегию, проявляющуюся в сокращении числа пыльцевых зерен в пыльнике и единичных случаях андромоноэции.

Полученные результаты обосновывают использование палинологических показателей (фертильность, степень дефектности) в качестве надежных биоиндикационных критериев при оценке состояния антропогенно-трансформированных экосистем, экологическом мониторинге промышленных регионов и прогнозировании поллинозной опасности для населения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Донецкого государственного университета «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (FRRE-2024-0018).

The work was carried out as part of the state assignment of Donetsk State University "Diagnostics and Adaptation Mechanisms of Natural and Anthropogenically Transformed Ecosystems of Donbass" (FRRE-2024-0018).

Список литературы

1. *Акопов И. Э.* Аллергия на пыльцу амброзии и лекарственная болезнь. Краснодар: Краснодарское книжное изд-во, 1978. 48 с.

2. *Бухарина И. Л., Двоеглазова А. А.* Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях: монография. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.

3. *Головко В. В.* Экологические аспекты аэропалинологии: аналитический обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2004. 106 с.

4. *Григорьева В. В., Пожидаев А. Е., Семенов А. Н., Брицкий Д. А.* Морфология пыльцевых зерен и индивидуальная изменчивость формы расположения апертур пыльцы представителей рода Nicotiana (Solanaceae) // Ботанический журнал. 2019. Т. 104, № 6. С. 900–917.

5. *Дзюба О. Ф., Кочубей О. В.* Качество пыльцы растений как индикатор интенсивного воздействия нефтегазового комплекса на природную среду охраняемых территорий России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9, № 4. С. 1–24.

6. *Елькина Н. А.* Календарь пыления аллергенных растений г. Петрозаводска // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2018. № 8 (177). С. 78–82

7. *Елькина Н. А.* Состав и динамика пыльцевого спектра воздушной среды г. Петрозаводска: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 Экология. СПб., 2008. 24 с.

8. *Захаренкова Н. С.* Анализ пыльцевых зерен сорно-рудеральных видов в воздушной среде г. Донецка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. докл. XI Междунар. науч. конф. аспирантов и студентов (Донецк, 11–13 апреля 2017 г.). Донецк: ГОУ ВПО «ДОННТУ»; Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2017. С. 312–314.

9. Информационная система идентификации растительных объектов на основе карпологических, палинологических и анатомических данных. [Электронный ресурс]. URL: http://botany-collection.bio.msu.ru (дата обращения 12.01.2026).

10. *Кобзарь В. Н., Осмонбаева К. Б.* Аэроаллергены как индикаторы антропогенной триады // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9, № 9. С. 43–57. DOI: 10.33619/2414-2948/94/05.

11. *Мирненко Н. С.* Состояние пыльцевых зерен *Ambrosia artemisiifolia* L. и *Artemisia absinthium* L. в г. Донецке // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 3–4. С. 12–17.

12. *Мирненко Н. С.* Результаты исследований в контексте адаптационных стратегий и репродуктивной способности *Diplotaxis muralis* (L.) DC // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2025. № 2. С. 63–68. DOI 10.5281/zenodo.15088484. EDN: VBBTRE.

13. *Мирненко Н. С.* Сезонный анализ пыльцевых спектров сорно-рудеральных растений г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 1-2. С. 29–34. EDN: UIOBVD.

14. *Носова М. Б., Северова Е. Э., Волкова О. В.* Современные спорово-пыльцевые спектры Европейской России: 10 лет наблюдений // Ботанический журнал. 2019. Т. 104, № 8. С. 1228–1248.

15. *Нуралиев М. С.* Соотношение числа пыльцевых зерен и семязачатков в цветках пяти азиатских представителей Schefflera S. L. (Araliaceae) с разным планом строения цветка и его возможное значение для репродуктивной биологии этих видов // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2012. Т. 117, № 4. С. 48–55. EDN: PLRDZX.

16. *Папонов А. Н.* К введению в культуру двурядки тонколистной (*Diplotaxis tenuifolia*). Особенности выращивания этого салатного растения // Аграрный вестник Урала. 2010. № 1(67). С. 36–38. EDN: MSXWDL.

17. *Паушева З. П.* Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. 271 с.

18. *Посевина Ю. М., Иванов Е. С., Северова Е. Э.* Палинологическая оценка качества атмосферного воздуха // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2010. № 5. С. 15–22

19. *Сафонов А. И., Гермонова Е. А.* Макромаркеры ландшафтных трансформаций в Донбассе: анализ картографического материала // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2023. № 4. С. 68–75. EDN: NSSBBY.

20. *Сафонов А. И.* Атипичный морфогенез фитоиндикаторов в экологическом мониторинге Донецка // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2024. № 4. С. 94–101. DOI: 10.5281/zenodo.14227649. EDN: SDSJHS.

21. *Сафонов А. И.* Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций Донецк: Издательский дом «ЭДИТ», 2024. 289 с. ISBN 978-5-605-24266-6. EDN: QVJSQE.

22. *Шамгунова Б. А., Заклякова Л. В.* Аэропалинологические аспекты поллинозов // Астраханский медицинский журнал. 2010. Т. 5, № 1. С. 27–35.

23. *Юдакова О. И.* Специфика адаптации системы семенного размножения *Deschampsia antarctica* E. Desv. к условиям Прибрежной Антарктики // Онтогенез. 2016. Т. 47, № 3. С. 170–180. DOI 10.7868/S0475145016030071. EDN: VYMBZB.

24. *Geitmann A.* Pollen and pollen tube biology: methods and protocols. New York: Humana Press, 2020. 332 p.

References

1. Akopov, I. E. (1978). *Allergiya na pyl'tsu ambrozii i lekarstvennaya bolezn'* [*Ragweed pollen allergy and drug disease*]. Krasnodar: Krasnodarskoe knizhnoe izd-vo, 48 p. (In Russian).

2. Bukharina, I. L. & Dvoeglazova, A. A. (2010). *Bioekologicheskie osobennosti travyanistykh i drevesnykh rasteniy v gorodskikh nasazhdeniyakh*: monografiya [Bioecological

Features of Herbaceous and Woody Plants in Urban Plantings: a monograph]. Izhevsk: Izd-vo «Udmurtskiy universitet», 184 p. (In Russian).

3. Golovko, V. V. (2004). *Ekologicheskie aspekty aeropalinologii: analiticheskiy obzor* [Ecological aspects of aeropalynology: an analytical review]. Novosibirsk: GPNTB SO RAN, 106 p. (In Russian).

4. Grigorieva, V. V., Pozhidaev, A. E., Semenov, A. N. & Britsky, D. A. (2019). Pollen morphology and variability of pollen aperture arrangement in some Nicotiana species (Solanaceae). *Botanicheskii zhurnal*. 104(6), 900–917. (In Russian).

5. Dzyuba, O. F. & Kochubey, O. V. (2014). Quality of pollen grains of plants as the indicator of intensity of impact of the oil and gas complex on environment of the protected territories of Russia. *Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies*. 9(4), 1–24. (In Russian).

6. Elkina, N. A. (2018). Pollen calendar of allergenic plants in Petrozavodsk. *Scientific notes of Petrozavodsk State University*. 8(177), 78–82. (In Russian).

7. Elkina, N. A. (2008). Sostav i dinamika pyl'tsevogo spektra vozdushnoy sredy g. Petrozavodska [Composition and dynamics of the pollen spectrum in the air environment of Petrozavodsk]. Abstract of PhD dissertation in Ecology (03.00.16). St. Petersburg, 24 p. (In Russian)

8. Zakharenkova, N. S. (2017). Analiz pyl'tsevykh zeren sorno-ruderal'nykh vidov v vozdushnoy srede g. Donetska [Analysis of pollen grains of weed-ruderal species in the air environment of Donetsk]. In: *Environmental protection and rational use of natural resources*: collection of documents of the XI International Scientific Conference. postgraduates and students (Donetsk, 11–13 April 2017). Donetsk: «DONNTU»; Rostov-on-Don: Southern Federal University Press, pp. 312–314. (In Russian).

9. Informatsionnaya sistema identifikatsii rastitel'nykh ob"ektov na osnove karpologicheskikh, palinologicheskikh i anatomicheskikh dannykh [Information system for plant identification based on carpological, palynological and anatomical data]. Retrieved from: http://botany-collection.bio.msu.ru (accessed 12.01.2026). (In Russian).

10. Kobzar, V. N. & Osmonbaeva, K. B. (2023). Aeroallergens as indicators of the anthropogenic triad. *Bulletin of Science and Practice*. 9(9), 43–57, DOI: 10.33619/2414-2948/94/05. (In Russian).

11. Mirnenko, N. S. (2017). The condition of the pollen grains *Ambrosia artemisiifolia* L. and *Artemisia absinthium* L. in Donetsk. *Problems of Ecology and Nature Protection of Technogenic Region*. 3–4, 12–17. (In Russian).

12. Mirnenko, N. S. (2025). Results of research on adaptation strategies and reproductive capacity of Diplotaxis muralis (L.) DC. *Problems of Ecology and Nature Protection of Technogenic Region*. 2, 63–68, DOI: 10.5281/zenodo.15088484, EDN: VBBTRE. (In Russian).

13. Mirnenko, N. S. (2023). Seasonal analysis of pollen spectra of weed-ruderal plants in Donetsk. *Problems of Ecology and Nature Protection of Technogenic Region*. 1-2, 29–34, EDN: UIOBVD. (In Russian).

14. Nosova, M. B., Severova, E. E. & Volkova, O. V. (2019). Sovremennye sporovo-pyl'tsevye spektry Evropeyskoy Rossii: 10 let nablyudeniy [Modern pollen spectra of european russia:10-years monitoring]. *Botanicheskii zhurnal*. 104(8), 1228–1248. (In Russian).

15. Nuraliev, M. S. (2012). Sootnoshenie chisla pyl'tsevykh zeren i semyazachatkov v tsvetkakh pyati aziatskikh predstaviteley Schefflera S. L. (Araliaceae) s raznym planom stroeniya tsvetka i ego vozmozhnoe znachenie dlya reproduktivnoy biologii etikh vidov [Pollen /ovule ratio in flowers of five asian species of Schefflera S. L. (Araliaceae) with various flower groundplan and its possible significance for reproductive biology of these species]. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 117(4), 48–55, EDN: PLRDZX. (In Russian).

16. Paponov, A. N. (2010). K vvedeniyu v kul'turu dvuryadki tonkolistnoy (*Diplotaxis tenuifolia*). Osobennosti vyrashchivaniya etogo salatnogo rasteniya [On the introduction of

Diplotaxis tenuifolia into cultivation. Cultivation features of this salad plant]. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 1(67), 36–38, EDN: MSXWDL. (In Russian).

17. Pausheva, Z. P. (1988). *Praktikum po tsitologii rasteniy* [Practical Course in Plant Cytology]. Moscow: Agropromizdat, 271 p. (In Russian).

18. Posevina, Yu. M., Ivanov, E. S. & Severova, E. E. (2010). Palinologicheskaya otsenka kachestva atmosfernogo vozdukha [Palynological assessment of atmospheric air quality]. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 5, 15–22. (In Russian).

19. Safonov, A. I. & Germonova, E. A. (2023). Macromarkers of landscape transformations in Donbass: analysis of cartographic material. *Bulletin of DonNU. Series A: Natural Sciences*. 4, 68–75, EDN: NSSBBY. (In Russian).

20. Safonov, A. I. (2024). Atypical morphogenesis of phytoindicators in the environmental monitoring of Donetsk. *Bulletin of DonNU. Series A: Natural Sciences*, 4, 94–101, DOI: 10.5281/zenodo.14227649, EDN: SDSJHS. (In Russian).

21. Safonov, A. I. (2024). *Ekologicheskiy fitomonitoring antropogennykh transformatsiy* [Ecological phytomonitoring of anthropogenic transformations]. Donetsk: Publishing house «EDIT», 289 p. ISBN 978-5-605-24266-6, EDN: QVJSQE. (In Russian).

22. Shamgunova, B. A. & Zaklyakova, L. V. (2010). Aeropalinologicheskie aspekty pollinozov [Aeropalynological aspects of pollinosis]. *Astrakhan Medical Journal*. 5(1), 27–35. (In Russian).

23. Yudakova, O. I. (2016). Spetsifika adaptatsii sistemy semennogo razmnozheniya *Deschampsia antarctica* E. Desv. k usloviyam Pribrezhnoy Antarktiki [Adaptation of the seed reproduction system to conditions of Maritime Antarctic in *Deschampsia antarctica* E. Desv.]. *Ontogenez*. 47(3), 170–180, DOI: 10.7868/S0475145016030071, EDN: VYMBZB. (In Russian).

24. Geitmann, A. (2020). *Pollen and pollen tube biology: methods and protocols*. New York: Humana Press, 332 p. (In English).

Поступила в редакцию 26.02.2026 г.

Mirnenko N. S. **Comparative analysis of pollen spectra of urbanized and natural biotopes of Donbass.** – The paper presents the results of a comparative analysis of pollen spectra of urbanized and natural biotopes of Donbass based on the generalization of long-term studies (2018–2025). The objects of study are a complex of weed-ruderal plants (10 dominant taxa), the invasive species *Ambrosia artemisiifolia* L., and the native species *Diplotaxis muralis* (L.) DC. The material was collected at 17 monitoring points, which were divided according to the level of anthropogenic load. Morphometric measurements of pollen grains were performed using light microscopy, and their fertility and degree of defectiveness (SDD) were assessed. Statistical analysis included correlation analysis (Spearman) and the principal component analysis method. It has been established that in urbanized biotopes, the size of pollen grains decreases significantly (by 5–10 %), fertility decreases (by 10–15 %), and the proportion of morphological abnormalities increases (by 2–4 times) compared to natural areas.

Keywords: ecology, palynoindication, fertility, bioindication, monitoring, Donbass.

Мирненко Наталья Сергеевна
стажер исследователь молодежной лаборатории,
старший преподаватель ботаники и экологии
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,
г. Донецк, ДНР, РФ.
E-mail: *natalya_zaharenkova@mail.ru*
ORCID: 0000-0001-9918-3123
SPIN-код: 4736-7118
Author ID: 1053365

Mirnenko Natalya Sergeevna
Junior researcher of the youth laboratory,
Senior lecturer of the Department of Botany and Ecology, Donetsk State University,
Donetsk, DPR, Russian Federation.