

БИОИНДИКАЦИЯ ПАРКОВЫХ ЭКОСИСТЕМ Г. КИЕВА ПО РЕАКЦИИ ПЫЛЬЦЫ *TARAXACUM OFFICINALE* WIGG.

© 2021 М.Ю. Мазура

ГУ «Институт эволюционной экологии Национальной академии наук Украины»,
г. Киев (Украина)

Поступила 17.08.2020

Мазура М.Ю. Биоиндикация парковых экосистем г. Киева по реакции пыльцы *Taraxacum officinale* Wigg. В работе исследовалась мужская генеративная система популяций *T. officinale*, произрастающих в парковых экосистемах разных административных районах Киева, с неодинаковым уровнем антропогенной нагрузки. Установлено, что с увеличением загрязнения окружающей среды, повышается продукция стерильной пыльцы *T. officinale*. У растений контрольной зоны зафиксирован невысокий уровень стерильности – 11,5%, на экспериментальных тест-полигонах продукция abortивной пыльцы возрастала в зависимости от уровня антропогенного воздействия в 1,7 и 2,2 раза. Наиболее показательными из всех предложенных индексов чувствительности пыльцы *T. officinale* в условиях загрязнения окружающей среды оказались: индекс стерильности и палинотоксического эффекта, их рекомендовано использовать для биологической оценки парковых экосистем мегаполиса.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, стерильность пыльцы, палинотоксический эффект, коэффициент чувствительности.

Mazura M.Yu. Bioindication of park ecosystems in Kiev by pollen reaction of *Taraxacum officinale* Wigg. The work investigated the male generative system of populations of *T. officinale* growing in park ecosystems of different administrative districts of Kiev, with an unequal level of anthropogenic load. It was found that with an increase in environmental pollution, the production of sterile pollen increases. The plants of the control zone showed a low level of sterility – 11,5%, on experimental test sites, the production of abortive pollen increased by 1.7 and 2.2 times depending on the level of anthropogenic influence. The most indicative of all the proposed indices of sensitivity of *T. officinale* pollen under environmental pollution were: the index of sterility and palynotoxic effect, they are recommended to be used for biological assessment of park ecosystems of a megacity.

Key words: anthropogenic load, pollen sterility, palynotoxic effect, sensitivity coefficient.

На сегодняшний день рост антропогенного прессинга в городских экосистемах сопровождается техногенным загрязнением окружающей среды, негативное влияние которого проявляется деструктивными изменениями в функционировании биотических групп, деградацией природных биотопов и ухудшением здоровья людей [2, 3]. В первую очередь, в городах – это загрязнение атмосферного воздуха из-за функционирования предприятий и увеличение нагрузки городским транспортом [17]. Территория Киева с одной стороны характеризуется сложным рельефом, в условиях которого формируются воздушные массы с высокой концентрацией загрязняющих веществ, а с другой – имеет мощную систему зеленых насаждений и объектов природно-заповедного фонда.

Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Киеве как одно из последствий урбанизации представляет угрозу здоровью населения и окружающей природной среде (далее ОПС). Аэротехногенное загрязнение города обусловлено выбросами стационарных (промышленные предприятия, ТЭЦ) и передвижных источников (речной и автотранспорт, авиационная техника). Объемы выбросов аэрополлютантов от стационарных и передвижных источников свидетельствуют о ежегодном росте вредных выбросов в атмосферу [10]. По этой причине мониторинг ОПС проводится прежде всего с целью контроля антропогенного влияния на биосферу [15, 18]. Биоиндикация, как элемент мониторинга, занимается проблемой оценивания экологических факторов или экосистем, их состояния и изменений по биотическим признакам. Наиболее чувствительными к изменениям окружающей среды являются растения-биоиндикаторы, которым свойственна резко выраженная приспособ-

Мазура Марина Юрьевна, исполняющий обязанности научного сотрудника, кандидат биологических наук, marinamazura1978@gmail.com

ляемость к определённым условиям ОПС, с их помощью можно качественно оценивать условия внешней среды [4]. Одним из наиболее перспективных и доступных подходов в определении состояния окружающей среды рассматривается изменение репродуктивных структур растений (пыльцы), которые проявляют значительную чувствительность к загрязнителям [8].

Серия зарубежных и отечественных публикаций, которые свидетельствуют о возможности использования палиноиндикации как единицы системы мониторинга состояния окружающей среды. На примере нескольких мест Северо-Западного региона Европейской части России О. Дзюба продемонстрировала, что характер патологий пыльцевых зёрен у 36 видов покрытосеменных растений, это – следствие загрязнения ОПС [6]. В своих работах Т. Чипиляк, Р. Матяшук, М. Мазура рассматривают возможность использования цветочно-декоративных культур (*Нemerocallis L.*, *Canna L.*) для определения влияния поллютантов на генеративные органы растений [9, 19]. Изменения размеров пыльцевых зёрен используется как один из показателей адаптации растений семейства *Brassicaceae* к техногенным условиям среды [1]. В связи с этим пыльцу растений можно использовать в научных и экспериментах исследованиях в качестве биомаркеров к негативному воздействию различных поллютантов по их гаметоцидному действию. В Украине работы, в которых пыльцу *Taraxacum officinale* используют как объект исследования единичны. Например, А. Дычко, Т. Демьяненко классифицировали урбосистемы г. Черкасы по реакции пыльцы *T. officinale* [7]. В своих исследованиях Н. Хомич усовершенствовала тест «Стерильность пыльцы растений-биоиндикаторов» на примере *T. officinale* [18]. Приведенный краткий анализ литературы свидетельствует, что одним из приоритетных и доступных подходов в биологической индикации окружающей среды является характер изменения репродуктивных структур растений под влиянием загрязнения разного уровня.

В нашей работе для биоиндикационной оценки состояния парковых экосистем г. Киев, объектом выбрали показатели чувствительности пыльцы *Taraxacum officinale* к уровню антропогенной нагрузки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследований были взяты тест-полигоны в трёх административных районах города Киева, которые отличались между собой по уровню загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов, насыщенностью территории города улично-дорожной сетью и т.п. [10]. Голосеевский

район расположен на окраине города и граничит с его «зеленым поясом» лесопарков, индекс антропогенной нагрузки (Jan) составляет 1,66, Risk-оценка (0,84), экологическая ситуация в районе характеризуется как очень хорошая, в парке памятка садово-паркового искусства «Феофания» (далее ППСИ «Феофания») – контроль, выбран тест-полигон № 1, который расположен от автодороги на расстоянии около 1000 метров. Хорошая экологическая ситуация по числовым значениям индекса (Jan – 3,64) и Risk-оценка (4,70) в Дарницком районе, который расположен на левом берегу реки Днепр, в парке Победы находится тест-полигон № 2, расстояние от автодороги составляет приблизительно 80 метров. Самыми неблагоприятным являются центральные районы города, к ним относится Шевченковский в нем расположено 71 предприятие, он занимает первое место по количеству твердых бытовых отходов и является густонаселенным [12, 16]. Показатели антропогенной нагрузки самые высокие в Киеве: (Jan – 12,82) и Risk-оценка (32,70), экологическая ситуация характеризуется как плохая, в урочище Бабин Яр выбран тест-полигоном № 3, который находится в 5-6 метрах от центральной дороги (рис.).

Для исследования пыльцу *T. officinale* отбирали (на стадии массового цветения) и переносили в каплю йодного раствора. Учитывая, что фертильные и стерильные клетки пыльцы растений отличаются по содержанию крахмала, качество пыльцы определяли йодным методом (окраска по Граму) [14], лабораторные исследования проводили с помощью микроскопа Nikon ECLIPSE E100.

Стерильность пыльцы рассчитывали по формуле 1:

$$M = \frac{G}{N} \times 100\% \quad (1)$$

Коэффициент стерильности, который определяет, во сколько раз частота индуцированного уровня стерильности превышает уровень спонтанной стерильности в контроле, рассчитывали по формуле 2:

$$K_{сп} = \frac{C_{рл}}{C_{к}} \quad (2)$$

где: $K_{сп}$ – коэффициент стерильности пыльцы; $C_{рл}$ – стерильность пыльцы в районе исследования; $C_{к}$ – стерильность пыльцы на контрольной территории.

Коэффициент чувствительности пыльцы *T. officinale* определяли по формуле 3:

$$K_{чп} = \Phi / C \quad (3)$$

где: Кчп – коэффициент чувствительности пыльцы; Φ – фертильные пыльцевые зерна, С – стерильные пыльцевые зерна на тест-полигоне.

Палинотоксичность загрязнителей окружающей среды с использованием репродуктивной системы растений определяли по формуле 4:

$$ПЭ = 100 \frac{\Phi_0 - \Phi_x}{\Phi_0} * \quad (4),$$

где: ПЭ – палинотоксичный эффект, Φ_0 – показатель величины спонтанной фертильности пыльцы растений контрольной зоны, Φ_x – показатель

величины индуцированной фертильности растений, растущих в фитотоксичной среде [13].

Проводили ранжирование тест-полигонов по классификации ЕС₁₀₋₉₀: инициальное (слаботоксичное), эффективное (среднетоксичное) и сублетальное (высокотоксичное), содержание токсических концентраций загрязнителей в изученных районах – соответственно ЕС₁₀, ЕС₅₀, ЕС₉₀, при которых наблюдалось ингибирование продукции фертильной пыльцы исследованных растений 10, 50 и 90% по сравнению с контролем, по полученным результатам сделан вывод о степени загрязнения парковых экосистем Киева [13].

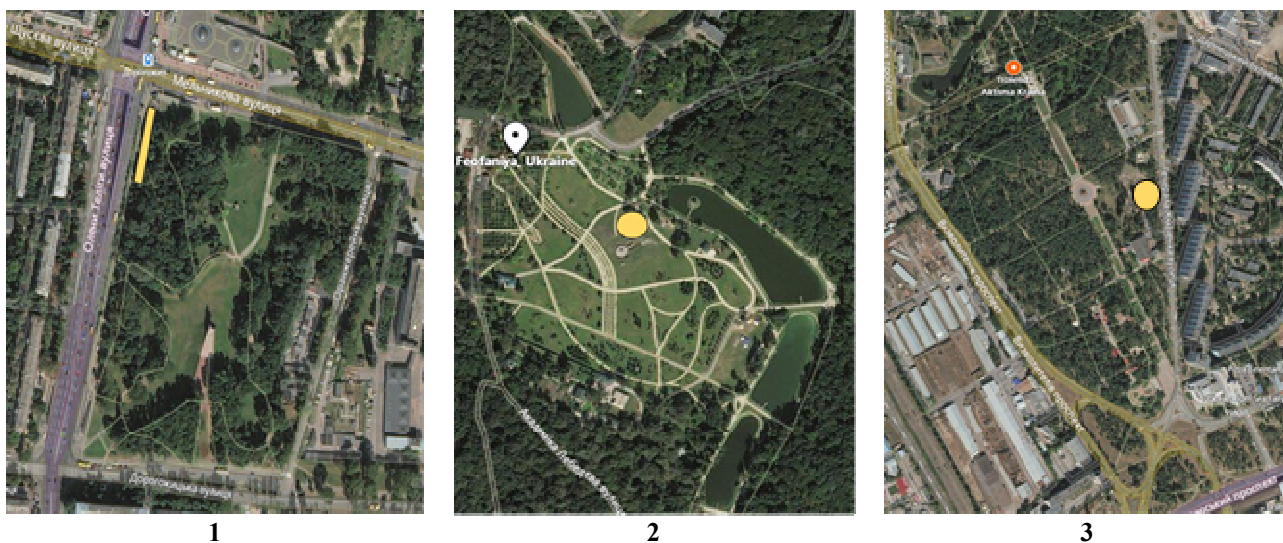


Рис. Тест-полигоны г. Киев: 1. Урочище Бабин Яр (Шевченковский район); 2. ППСПИ «Феофания» (Голосеевский район); 3. Парк Победы (Дарницкий район)
Примечание: желтым цветом отмечены тест-полигоны сбора пыльцы *Taraxacum officinale*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании проведенной оценки экологической ситуации в административных районах Киева, с помощью расчета интегрального индекса антропогенной нагрузки и риск-оценки Н. Мирошник и И. Тесленко проведено экологическое зонирование районов города по степени экологического неблагополучия [10]. Сейчас целесообразно использовать скрининг палинотоксического эффекта на ряду с традиционными методами. Результаты исследования показали, что между популяциями *T. officinale*, произрастающими в зонах с различным уровнем загрязнения, установлены отличия в продукции стерильной пыльцы. Изучение реакции мужской генеративной системы на повышение уровня загрязнения позволило прийти к заключению, что продукция стерильных пыльцевых зерен *T. officinale* была разной. Так, в урочище Бабин Яр Шевченковско-

го района с плохой экологической ситуацией, зафиксирован самый высокий уровень абортивности пыльцевых зёрен – 26,9%, что в 2,3 раза больше чем в контроле. В Дарницком районе, который имеет хорошую экологическую ситуацию (парк Победы), процент безкромхмальных пыльцевых зёрен превышал контроль в 1,7 раз (таблица). Данный факт позволил прийти к выводу, что мужская генеративная система *T. officinale* палиночувствительная к высокому уровню загрязнения, что проявляется в изменении показателя продукции абортивной пыльцы по мере увеличения загрязнения парковых экосистем Киева.

Подобные изменения, а именно, увеличение уровня стерильности пыльцы *T. officinale* на градиенте аэротехногенного загрязнения в своих работах наблюдали В. Гришко, И. Комарова, Т. Морозова, В. Хрутьба, О. Кобзиста [5, 11].

**Показатели чувствительности пыльцы *Taraxacum officinale* Wigg.
в парковых экосистемах Киева**

Название района	Тест-полигон	Показатели чувствительности пыльцы						Уровень загрязнения
		Кол-во пыльцы, шт	СП, %	ФП, %	Кчп	Ксп	ПЭ, %	
Голосеевский	ППСПИ «Феофания»	2035	11,5	88,5	7,66	–	–	условный контроль
Дарницкий	Парк Победы	1589	19,6	80,4	3,62	1,37	30,8	инициальный
Шевченковский	Урочище Бабин Яр	1396	26,9	73,1	2,83	1,64	45,2	эффективный

Примечание: СП, % – стерильные пыльцевые зёрна, ФП, % – фертильные пыльцевые зёрна, Кчп – коэффициент чувствительности пыльцы, Ксп – коэффициент стерильности пыльцы, ПЭ, % – палинотоксический эффект.

В нашем исследовании установлено, что у популяций *T. officinale*, произрастающих в административных районах Киева с разным уровнем антропогенного воздействия, отмечено увеличение продукции стерильной пыльцы. Расчет коэффициента стерильности пыльцевых зёрен (Ксп) *T. officinale* выявил различие в продукции стерильных мужских гамет между тест-полигонами № 2 и № 3. В Шевченковском районе, который по показателям антропогенной нагрузки (Jan – 12,82) и по (Risk-оценка – 32,70) характеризуется как плохой по экологической ситуации, показатель стерильности пыльцы составляет 1,64 (тест-полигон № 3). А на тест-полигоне № 2 Дарницкого района с хорошей экологической ситуацией, где (Jan – 3,64) и (Risk-оценка – 4,70) этот коэффициент – 1,37 (табл.). Полученные данные позволили сделать заключение, что растения, которые изменяют продукцию abortивной пыльцы по мере увеличения загрязнения окружающей среды, являются чувствительными и могут быть рекомендованы как фитоиндикаторы при биоиндикационной оценке парков мегаполиса.

По отношению фертильных пыльцевых зерен к стерильным (Кчп) *T. officinale* на разных тест-полигонах наблюдалась определённая реакция пыльцы на уровень антропогенной нагрузки. Наивысший показатель коэффициента чувствительности 7,66 был отмечен в экологически благоприятных условиях Голосеевский район ППСПИ «Феофания» (контроль). В самом загрязнённом Шевченковском районе Киева на тест-полигоне № 3 в урочище Бабин Яр этот показатель снизился в 2,7 раз по сравнению с контролем. Тенденция уменьшения в 2,1 раз этого коэффициента по отношению к контролю наблюдается и в Дарницком районе на тест-полигоне № 2 в парке Победы. Отмечена высокая чувствительность генеративных структур *T. officinale* по отношению к контролю, а между

экспериментальными тест-полигонами (Кчп) незначительно отличаются, на тест-полигоне № 2 в парке Победы этот показатель в 1,2 раза больше, чем в урочище Бабин Яр.

При анализе полученных данных было проведено ранжирование исследованных районов Киева в соответствии с классификацией ЕС₁₀₋₉₀. Установлено, что на тест-полигоне в парке Победы (Дарницкий район) токсиканты проявляли слаботоксичное действие на гаметогенез (ПЭ – 30,8%), что подтверждалось производством определённого уровня стерильности пыльцы генеративными органами *T. officinale*. На тест-полигоне № 3 в урочище Бабин Яр (Шевченковский район) имело место эффективное (среднетоксичного) действия поллютантов на органы мужской репродукции, показатель палинотоксического эффекта составил 45,2%. Полученные данные позволяют прийти к выводу, что в районах с повышенной антропогенной нагрузкой загрязняющие вещества оказывают эффективное действие на гаметогенез растений *T. officinale*.

Анализ данных расчета ряда предложенных коэффициентов, по которым оценивают чувствительность мужского гаметофита *T. officinale*, свидетельствуют, что в условиях с разным уровнем антропогенного воздействия в парковых экосистемах Киева целесообразнее использовать индекс стерильности и палинотоксического эффекта, как более информативные. Эти показатели изменяются пропорционально с уровнем загрязнения окружающей среды. Тогда как для коэффициента чувствительности не всегда отмечается четкое разграничение к интенсивности антропогенной нагрузки. Подобное заключение сделали И. Комарова и В. Гришко, о том, что более показательными индексами для проведения биоиндикации с использованием *T. officinale* в условиях Криворожья оказались, индекс стерильности и палинотоксического эффекта [5].

ВЫВОДЫ

Итак, загрязнение окружающей среды приводит к запуску определенных адаптивных механизмов, обеспечивающих функционирование растений в неблагоприятных условиях существования. На примере *T. officinale* это проявляется в постепенном увеличении от 19,6 до 26,3% нежизнеспособной пыльцы к комплексу экзогенных факторов.

Наиболее показательными из всех предложенных индексов чувствительности мужского гаметофита *T. officinale* в условиях загрязнения парковых экосистем Киева оказались: индекс стерильности и палинотоксического эффекта.

Показатель повышенной продукции abortивных пыльцевых зерен *T. officinale* может быть использован в системе экологического мониторинга за объектами окружающей среды, испытывающими различную степень антропогенной нагрузки.

Считаем необходимым дальнейшее исследование реакции пыльцы *T. officinale* в парковых экосистемах мегаполиса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бакташева Н.М., Сероглазова Н.Г., Струков В.М.** Морфология пыльцы весенне- и раннелетнее цветущих представителей семейства Brassicaceae // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования: материалы II Междунар. конф. Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2009. С. 328-332.
2. **Глухов А.З., Хархота А.И.** Растения в антропогенно трансформированной среде // Промышленная ботаника. 2001. Вып. 1. С. 5-10.
3. **Голубець М.А.** Экосистемологія. Львів: Поллі, 2000. 316 с.
4. **Горова А.І., Грунтова В.Ю., Павличенко А.В.** Про можливість використання цитогенетичних методів біоіндикації при виборі контрольних територій в системі екомоніторингу // Науковий вісник Чернівецького університету. 2008. Вип. 416. С. 3-8.
5. **Гришко В.Н., Комарова И.А.** Біоіндикація атмосферного забруднення за реакцією пилкових зерен *Taraxacum officinale* F.H.Wigg (на прикладі м. Кривий Ріг) // Scientific Journal «ScienceRise». 2016. № 5/1 (22). С. 15-19. DOI: 10.15587/2313-8416.2016.69276
6. **Дзюба О.Ф.** Палиноіндикація качества окружающей среды. СПб.: Недра, 2006. 198 с.
7. **Дичко А.О., Дем'яненко Т.Б.** Визначення стану повітряного середовища міста Черкаси за допомогою пилкових зерен кульбаби лікарської // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». 2009. Вип. 18. С. 140-143.
8. **Комарова І.О.** Еколого-біологічні особливості *Taraxacum officinale* Wigg за дії забруднення важкими металами в умовах промислового Криворіжжя: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. Дніпро, 2019. 24 с.
9. **Матяшук Р.К., Мазура М.Ю., Ткаченко І.В.** Стан пилку канни в умовах урбанізованих територій // Вісник харківського національного аграрного університету. Серія "Біологія". 2014. Вип. 3(33). С. 43-51.
10. **Мирошник Н.В., Тесленко И.К.** Экологическое зонирование территорий с учетом роли сохранившихся естественных экосистем (на примере г. Киева) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27, № 4(2). С. 32-40. DOI: 10.24411/2073-1035-2018-10133
11. **Морозова Т.В., Хрутьба В.О., Кобзиста О.П.** Скринінг паліноморфологічного та палінотоксичного ефекту автотранспортних емісій // Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки". 2019. Вип. 1(43). С. 116-126.
12. Основні показники охорони навколишнього природного середовища м. Києва. Статистичний збірник / Головне управління статистики у м. Києві; за ред. О.І. Настоящего. К., 2017. 75 с.
13. **Балічісва Д.В., Ібрагімова Є.Є., Емірова Д.В.** Патент 32513 України на корисну модель, МПК (2006) G01N 1/100. Спосіб визначення палінотоксичності техногенних хімічних забруднювачів навколишнього середовища. Заявка № u200711625; заявл. 22.10.2007; опубл. 26.05.2008, бюл. № 10.
14. **Паушева З.П.** Практикум по цитології рослин. Москва: Колос, 1980. 300 с.
15. **Рассади́на Е.В.** Биоиндикация и ее место в системе мониторинга окружающей среды // Актуальные вопросы ветеринарной медицины, биологии и экологии 2007. С. 48-53.
16. Рішення КМР від 19 липня 2005 року № 806/3381 «Про затвердження Програми розвитку зеленої зони м. Києва до 2010 року та Концепції формування зелених насаджень в центральній частині міста» (продовжена до 31.12.2017 згідно Рішення КМР від 7 липня 2016 року № 572/572).
17. **Ханнанова О.Р., Арканова А.А.** Біоіндикаційна оцінка екологічного стану атмосферного повітря Полтавського міського парку // Біологія та екологія. 2017. Том 3, № 1-2. С. 69-75.
18. **Хомич Н.Р.** Оцінювання забруднення урбоєко-системи міста Рівне за показниками ушкодженості рослин-біоіндикаторів: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. Київ, 2009. 21с.
19. **Чипиляк Т.Ф.** Аутоекологічні особливості видів роду *Hemerocallis* L. в умовах м. Кривий Ріг // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2014. Вип. 65. С. 202-209.