

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Природничо-економічний факультет
Кафедра біології та екології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

**з теми: «БІОМОНІТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ
М.КАМ'ЯНЦЯ-ПОДІЛЬСЬКОГО ЗА РЕАКЦІЮ ПИЛКУ РІЗНИХ
РОСЛИН-ІНДИКАТОРІВ»**

Виконав: здобувач вищої освіти, 2

курсу,

В1–М24 групи

спеціальності 091 Біологія та біохімія

Будерацький Микола Васильович

Керівник: Григорчук І.Д., кандидат

біологічних наук, доцент кафедри

біології та екології

Рецензент: Козак М.І., кандидат

біологічних наук, доцент кафедри

біології та екології

м. Кам'янець-Подільський – 2025 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОМОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	7
1.1 Поняття та завдання біомоніторингу довкілля	7
1.2 Атмосферне забруднення як фактор техногенного навантаження на урбоєкосистеми.....	9
1.3 Біоіндикація стану атмосферного повітря за морфологічними та фізіолого-біохімічними показниками рослин.	11
1.4 Використання пилку як індикатора забруднення: огляд сучасних досліджень	13
1.5 Види рослин-індикаторів, чутливих до аерополітантів	17
РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	19
2.1 Характеристика природно-географічних умов м. Кам'янця- Подільського.....	19
2.2 Досліджувані види біоіндикатори	21
2.3 Методи аналізу пилкових зерен досліджуваних індикаторів	27
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЇ ПИЛКУ РІЗНИХ РОСЛИН-ІНДИКАТОРІВ НА АТМОСФЕРНЕ ЗАБРУДНЕННЯ	31
3.1 Аналіз стерильності пилку гіркокаштану звичайного (<i>Aesculus hippocastanum</i> L.) в умовах м. Кам'янця-Подільського	31
3.2 Аналіз стерильності пилку липи серцелистої (<i>Tilia cordata</i> Mill.) в умовах м. Кам'янця-Подільського	35
3.3 Аналіз стерильності пилку берези повислої (<i>Betula pendula</i> Roth) в умовах м. Кам'янця-Подільського	39

РОЗДІЛ 4 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА АТМОСФЕРУ МІСТА КАМ'ЯНЦЯ- ПОДІЛЬСЬКОГО	44
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47

ВСТУП

Актуальність теми. Атмосферне забруднення – одна з найглобальніших екологічних проблем сучасності, що впливає на здоров'я людей, стан екосистем, біорізноманіття та клімат. Згідно з оцінками ВООЗ, забруднене повітря щороку призводить до мільйонів передчасних смертей у світі. Актуальність досліджень атмосферного забруднення для міст обумовлена інтенсивним урбанізаційним розвитком, збільшенням автотранспорту й промислових джерел викидів, що створює локальні точки погіршення якості повітря [3, 9, 13].

В умовах змішаного впливу газових і твердих домішок традиційні методи хімічного моніторингу (вимірювання концентрацій оксидів азоту, сірки, твердих часток тощо) є необхідними, але не завжди дають повну картину наслідків на живі організми. У цьому контексті біомоніторинг – використання живих або біологічних індикаторів для оцінки стану довкілля – набуває великого значення, оскільки дозволяє виявляти не лише наявність забруднювачів, але і їх вплив на біоту [4, 5, 20].

У місті Кам'янець-Подільський, розташованому в умовах помірного клімату та з історичною забудовою, зростає потреба у впровадженні локального моніторингу якості повітря, зокрема з використанням біоіндикаторів. Одним із підходів є аналіз пилку різних рослин-індикаторів, оскільки пилок – це частинка, що переноситься повітрям, і може виявляти морфологічні та структурні зміни під впливом аерополутантів.

Мета дослідження – здійснити біомоніторинг атмосферного забруднення м. Кам'янця-Подільського за реакцією пилку рослин-індикаторів.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати основні причини та джерела забруднення атмосфери.
2. Проанлізувати особливості біоіндикації стану атмосферного повітря за морфологічними та фізіолого-біохімічними показниками рослин.
3. Провести мікроскопічний аналіз пилку *Aesculus hippocastanum* L., *Tilia cordata* Mill. Та *Betula pendula* Roth, як найбільш поширених видів-біоіндикаторів в урбоекосистемі.
4. Порівняти показники пилку у зонах із різним рівнем антропогенного впливу.
5. Розробити рекомендації щодо зменшення антропогенного навантаження на атмосферу м. Кам'янця-Подільського.

Об'єктом дослідження є атмосферне повітря міста Кам'янця-Подільського.

Предмет дослідження – особливості реакції пилку рослин-індикаторів на забруднення атмосфери в умовах м. Кам'янця-Подільського.

Методологічно дослідження базуватиметься на класичних підходах біомоніторингу, мікроскопічному аналізі, статистичних методах обробки даних, порівнянні з традиційними даними хімічного моніторингу.

В процесі виконання роботи дотримувалися правил з техніки безпеки та охорони праці.

Практичне значення. Результати отримані під час досліджень можуть мати практичне значення, зокрема використані під час викладання дисциплін у закладах освіти.

Апробація результатів дослідження. Результати дослідження апробовані на науковій конференції студентів та магістрантів за підсумками науково-дослідницької роботи в 2024-2025 рр. (Кам'янець-Подільський, 2025 р.)

Публікації. За час написання кваліфікаційної роботи було опубліковано одну наукову статтю.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 54 сторінки.

ВИСНОВКИ

1. Атмосферне забруднення в міських умовах – ключовий техногенний фактор, що істотно впливає на стан урбоєкосистем через прямі токсичні ефекти та опосередковані зміни екосистемних процесів; для комплексної оцінки цих впливів необхідно поєднувати інструментальні вимірювання з біомоніторинговими підходами, зокрема аналізом пилку як показника біологічного стресу рослин та індикатора якості повітря.
2. Морфологічні та фізіолого-біохімічні показники рослин є взаємодоповнюючими індикаторами, які дозволяють оцінити не лише факт забруднення атмосферного повітря, а й його потенційний вплив на біологічні системи. Їхня комплексна інтерпретація забезпечує підвищення точності моніторингових оцінок і сприяє розробці екологічно орієнтованих стратегій управління якістю повітря
3. Пилок рослин можна використовувати як індикатор стану атмосферного повітря: поєднання кількісних аеропилкових даних, морфологічних змін, хімічного профілю адсорбованих полютантів та біологічних маркерів (життєздатність, ферментні показники) забезпечує високу інформативність.
4. Оцінка інтенсивності атмосферного забруднення у різних точках м. Кам'янець-Подільського за стерильністю пилкових зерен досліджуваних індикаторів дозволила встановити кількісні відмінності чоловічого гаметофіту, залежно від екологічної ситуації досліджуваних територій. За результатами аналізу найбільш забрудненими вважаються території поблизу перехрестя вул. Франка і проспекту Грушевського та перехрестя вулиць Героїв

Маріуполя та Нігинського шосе, що пояснюється інтенсивним рухом транспорту в цих місцях.

5. Таким чином, зниження антропогенного тиску на атмосферу міста можливе лише за умови комплексної реалізації технічних, управлінських і просвітницьких рішень із залученням промислових підприємств, органів місцевої влади та громади.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агурова І. В., Прохорова С. І. Моніторинг стану рослинного покриву техногенних земель: популяційний та морфологічний аспекти. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2014. С. 249–262.
2. Андрейко Г. П. Методи біоіндикації навколишнього середовища : метод. посіб. для практич. занять та самост. роботи. Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2014. 30 с.
3. Баштаннік М. П., Кушнір Г. В., Ляшенко Г. В. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2014. № 266. С. 70–93.
4. Бессонова В. П., Грицай З. В. Можливості оцінки екологічної ситуації у промисловому місті за гаметоцидною дією на рослини промислових емісій. Умань, 2004. С. 49–51.
5. Бессонова В. П. *Фітоіндикація та фітомоніторинг* : навч. посіб. Дніпро : Герда, 2024. 206 с.
6. Бессонова В. П. *Методи фітоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля* : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДУ, 2001. 196 с.
7. Бессонова В. П., Пономарьова О. А. Морфометричні показники та вміст пластидних пігментів хвої *Picea pungens* Engelm залежно від відстані до автошляху. *Biosystems Diversity*. 2017. С. 96–101.
8. Біоіндикаційна оцінка стану паркових екосистем міста Києва / Мирошник Н. В., Ліханов А. Ф., Матяшук Р. К., Мазура М. Ю., Шупова Т. В., Гончар Г. Ю. Київ : Академперіодика, 2023. 200 с.

9. Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. *Моніторинг довкілля* : підруч. для студ. вищих навч. закладів. 2-ге вид., перероб. та доп. Вінниця : ВНТУ, 2010. 232 с.
10. Вишенська І. Г., Сом О. В. Біоіндикація територій методом аналізу стерильності пилку. *Наукові записки. Біологія та екологія*. 2001. Т. 19. С. 74–79.
11. Гіркокаштан звичайний- вікіпедія <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%96%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%88%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%87%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9> доступ 16.10.2025.
12. Гончаренко І. В. *Фітоіндикація антропогенного навантаження* : монографія. Дніпро : Середняк Т. К., 2017. 127 с.
13. Гринюк А. А., Погоріла І. О. Біоіндикація стану атмосферного повітря м. Києва та Київської області за допомогою ялини звичайної (*Picea abies*). *Біологічні дослідження*. 2017. С. 287–289.
14. Глухов О. З., Прохорова С. І. Індикація стану техногенного середовища за морфологічною мінливістю рослин // *Промислова ботаніка*. 2008. С. 3–4.
15. Григор'єва Л. І. *Прикладні аспекти біоіндикації і біоремедіації довкілля* : навч. посіб. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2025. 120 с.
16. Дідух Я. П. *Основи біоіндикації*. Київ : Наукова думка, 2012. 312 с.
17. Єременко Н. С. Рудеральна рослинність міста Кривий Ріг. П. Клас *Stellarietea mediae*. *Український ботанічний журнал*. 2018. С. 356–372.
18. Жицька Л. І. *Рослинний покрив урбосистеми як індикатор стану едафотопів та атмосферних забруднень* : автореф. дис. канд. біол. наук : 03.00.16. Київ, 2011. 22 с.

19. Загорулько А. О. Таксономічний аналіз і фітомоніторинг парків м. Херсона. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2018. VI (17). С. 41–44.
20. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища : монографія / Васенко О. Г., Рибалова О. В., Артем'єв С. Р., Горбань Н. С., Коробкова Г. В. та ін. Харків : НУГЗУ, 2015. 419 с.
21. Калінін М. І., Єлісеєв В. В. *Біометрія* : підруч. для студентів вузів біологічних та екологічних напрямів. Миколаїв : Вид-во МФ НаУКМА, 2000. 204 с.
22. Кейван М. П., Тертична О. В., Кейван О. П. Використання рослин-біоіндикаторів для екологічного оцінювання атмосферного повітря в зоні розташування птахофабрики. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. С. 109–113.
23. Костюшин В. А., Губар С. І., Домашлінець В. Г. *Стратегія розвитку моніторингу біологічного різноманіття в Україні*. Київ, 2009. 60 с.
24. Клименко О. М. *Моніторинг довкілля*. Київ : Академія, 2006. 360 с.
25. Криворучкіна О. В. *Екологічний стан Кривбасу: проблеми та шляхи їх вирішення* : матеріали виїзного засідання комітету з питань екологічної політики та природокористування. Кривий Ріг, 2019. С. 3–69.
26. Кудрявська Т. Б., Дичко А. О. Метод оцінки та прогнозування впливу техногенного забруднення на повітря урбоєкосистеми. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. С. 4–7.
27. Липа О. Л. *Ботаніка. Систематика нижчих і вищих рослин* : підруч. для студентів біологічних спеціальностей університетів і педагогічних інститутів. Київ : Вища школа, 1975. 400 с.

28. Лисиця А. В. *Біоіндикація і біотестування забруднених територій* : метод. реком. до самост. вивчення дисципліни. Рівне : Дока-центр, 2018. 94 с.
29. Мальцев В. І., Карпова Г. О., Зуб Л. М. *Визначення якості води методами біоіндикації*. Київ : Наук. центр екомоніторингу та біорізноманіття мегаполісу НАН України, 2011. 112 с.
30. Меннінг Дж. У., Федер У. А. *Біомоніторинг забруднення навколишнього середовища за допомогою рослин*. М. : Гидрометевидав, 2005. С. 18–27.
31. Миленька М. М. Використання деревних видів для діагностики екологічного стану довкілля урбанізованих територій. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2008. Вип. 114. С. 111–114.
32. Моніторинг довкілля. Аналітична записка щодо стану та перспектив розвитку державної системи моніторингу довкілля Україна, м. Київ, 2023 р. https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/02/Monitoring-Green-Paper_15_02_2022.pdf?utm_source=chatgpt.com
33. Мусієнко М. М. *Екологія рослин* : підруч. Київ, 2006. С. 344–404.
34. Нечитайло В. А., Кучерява Л. Ф. *Ботаніка. Вищі рослини* : підруч. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. С. 257–258.
35. Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. Ф. *Біоіндикація та біотестування*. Кременчук : Вид-во ПП Щербатих О. В., 2016. 76 с.
36. Ольхович О. П., Мусієнко М. М. *Фітоіндикація та фітомоніторинг*. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 84 с.
37. Пасічник Г. В., Іванова Н. М., Кондратюк О. В. та ін. Вплив екологічних чинників на морфологію та фізіологію *Picea abies* (L.) Karst. в Карпатах. *Наукові праці Українського державного лісотехнічного університету*. 2014. Вип. 24.2. С. 72–77.

38. Пересипкіна Т. М., Веселова Т. В., Самарська О. В., Ушата О. В. Вивчення наслідків техногенного навантаження на фертильність пилку деревних рослин. *Сучасні проблеми біології, екології та хімії: матеріали міжнар. конф. (Запоріжжя, 29 березня – 01 квітня 2007 р.)*. Запоріжжя, 2007. С. 481–483.
39. Сметана О. М., Перерва В. В. *Біогеоценотичний покрив ландшафтно-техногенних систем Кривбасу*. Кривий Ріг : Вид. дім, 2007. 247 с.
40. Стан навколишнього природного середовища Хмельницької області у 2024 році. Хмельницький, 2025. 332 с. <https://www.adm-km.gov.ua/wp-content/uploads/2025/08/>
41. Федоренко О. І. *Моніторинг навколишнього середовища. Основи екології* : підруч. Київ, 2006. С. 306–318.
42. Ханнанова О. Р., Арканова А. А. Біоіндикаційна оцінка стану атмосферного повітря полтавського міського парку. *Біологія та екологія*. 2017. Т. 3, № 1–2. С. 69–75.
43. Чемерис І. А., Загоруйко Н. В., Конякін С. М. Фітомоніторинг викидів автотранспорту в умовах міського середовища. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2013. С. 141–146.
44. Чухрій Ю. П. *Біоіндикація. Біотестування. Біомоніторинг* : конспект лекцій. Одеса : ОНАХТ, 2014. 41 с.
45. Шалімов М. О. *Біоіндикація* : конспект лекцій. Київ : Наука і техніка, 2011. 124 с.
46. Швець Л. С. Біоіндикація інтенсивності забруднення довкілля за показниками фертильності пилкових зерен різних рослин. *Досягнення біології та медицини*. 2011. № 1 (17). С. 41.
47. *Aesculus hippocastanum* L. <http://flora.nhm-wien.ac.at/Seiten-Arten/Aesculus-hippocastanum.htm> доступ 16.10.2025.

48. *Betula pendula* Roth Links: <http://flora.nhm-wien.ac.at/Seiten-Arten/Betula-pendula.htm> доступ 16.10.2025.
49. Giorno F., Wolters-Arts M., Mariani C., Rieu I. Ensuring reproduction at high temperatures: The heat stress response during anther and pollen development // *Plants (Basel)*. 2013. Vol. 2 (3). P. 489–506. DOI: 10.3390/plants2030489.
50. Halbritter H., Sam S., Heigl H. 2020. *Aesculus hippocastanum* . У: PalDat – Палінологічна база даних. https://www.paldat.org/pub/Aesculus_hippocastanum/304179; доступ 16.10.2025
51. Halbritter H., Heigl H., Auer W., Gastaldi C., Geier C., Bouchal J., Grímsson F. 2024. *Tilia cordata* . У: PalDat – Палінологічна база даних. https://www.paldat.org/pub/Tilia_cordata/306671; доступ 16.10.2025
52. Halbritter H., Diethart B., Heigl H. 2020. *Betula pendula*. In: PalDat – A palynological database. https://www.paldat.org/pub/Betula_pendula/303759; accessed 2025-10-16
53. De Storme N., Geelen D. The impact of environmental stress on male reproductive development in plants: biological processes and molecular mechanisms // *Plant, Cell and Environment*. 2014. Vol. 37 (1). P. 1–18. DOI: 10.1111/pce.12142.
54. Kalbande D. M., Dhadse S. N., Chaudhari P. R., Wate S. R. Biomonitoring of heavy metals by pollen in urban environment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2008. Vol. 138 (1–3). P. 233–238. DOI: 10.1007/s10661-007-9793-0.
55. Kalendar R, Levei E, Cadar O, Senila M. Editorial: Trends and challenges in plant biomonitoring, bioremediation and biomining. *Front Plant Sci*. 2024 Sep 20;15:1486752. doi: 10.3389/fpls.2024.1486752. PMID: 39372853; PMCID: PMC11449863.

56. Malayeri B. E., Noori M., Jafari M. Using the pollen viability and morphology for fluoride pollution biomonitoring. *Biological Trace Element Research*. 2012. Vol. 147 (1–3). P. 315–319. DOI: 10.1007/s12011-011-9290-8.
57. *Tilia cordata* Mill. Links: <http://flora.nhm-wien.ac.at/Seiten-Arten/Tilia-cordata.htm>, <https://wu.jacq.org/WU0097095> доступ 16.10.2025