

ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

ISSN 1726-1112 (Print)
ISSN 2310-4309 (Online)
Ecol. Noospher., 34(2), 70–80
doi: 10.15421/032311

Changeability of quantitative and quality signs of pollen of *Robinia pseudoacacia* L. is in the conditions of megalopolis

R. K. Matiashuk, I. V. Tkachenko

Institute for Evolutionary Ecology of the National Academy of Science of Ukraine, Kiev, Ukraine

Article info

Received 14.09.2023

Received in revised form

27.09.2023

Accepted 18.10.2023

*Institute for Evolutionary
Ecology of the National
Academy of Science of Ukraine
Lebedeva str. 37, Kiev,
03143, Ukraine.
E-mail:
raisakiev2015@gmail.com*

Matiashuk, R. K., Tkachenko, I. V. (2023). Changeability of quantitative and quality signs of pollen of *Robinia pseudoacacia* L. is in the conditions of megalopolis. *Ecology and Noospherology*, 34(2), 70–80. doi:10.15421/032311

The work is aimed at spreading the practice of bioindication, in particular palynindication of atmospheric air quality in the surface layer. It is possible to continue monitoring the state of the environment in Ukraine under the conditions of the destructive impact of military operations only with the use of methodologically and economically accessible approaches. The obtained results provide an opportunity to make scientifically based conclusions about the state of the environment and recommendations for zoning territories according to environmental risks for the population. Assessment of the state of atmospheric air in the surface layer is important for determining the potential consequences for the ecosystem and for assessing the risk to public health. We believe that the most informative are the results of the study of plants of the shrub layer. Their generative part is exposed to the long-term effects of the main components of air pollution in the zone of maximum impact on the respiratory system of people. Cytogenetic testing was carried out on *Robinia pseudoacacia* plants, which belong to the group of sensitive phytoindicator species. Monitoring was carried out during 2020–2021 at 7 locations of park, forest-park ecosystems and street landscaping in four administrative districts of Kyiv. The analysis of weather and climate conditions, the differences of the studied territories in terms of the level of atmospheric air pollution, the level of anthropogenic load, the intensity of transport connections, as well as the provision of green spaces as the main factor in reducing the impact of the urban environment on the state of life and health of the population is given. It was noted that the pollen sterility index reflects the influence of non-optimal factors of the growing environment on the reproductive potential of *R. pseudoacacia*. The variability of the morphometric characteristics of dry grains according to the shape index is also a fairly informative indicator of its quality. In particular, a tendency to decrease in the equatorial diameter and a further prolonged decrease in the length of the polar axis during the flowering phase of plants was observed. A significant increase in the proportion of degenerated and hypertrophied grains of *R. pseudoacacia* was noted in areas with significant influence of a complex of exogenous factors and year conditions. Intensive inhibition of the microsporogenesis process was noted in plants in areas with active traffic. Minimal violations were observed in plants from large park plantations. A certain improvement in the state of the atmospheric air during the lockdown period also contributed to a decrease in the number of morphologically abnormal grains. The results of cytotoxic testing of the sensitivity of *R. pseudoacacia* pollen to the influence of factors of the growing environment can serve as an important component of the assessment of the quality of the environment and zoning of the territories of the metropolis.

Keywords: *Robinia pseudoacacia* L.; pollen; sensitivity; atmospheric pollution; cytogenetic biotesting; monitoring

Мінливість кількісних та якісних ознак пилку *Robinia pseudoacacia* L. в умовах мегаполісу

Р. К. Матяшук, І. В. Ткаченко

Державна установа «Інститут еволюційної екології НАН України», Київ, Україна

Ця робота спрямована на поширення практики біоіндикації, зокрема паліоіндикації якості атмосферного повітря в приземному шарі. Проводити моніторинг стану довкілля в Україні в умовах руйнівного впливу військових дій можливо лише із застосуванням методично й економічно доступних підходів. Отримані результати забезпечують можливість робити науково обгрунтовані висновки щодо стану довкілля та рекомендації для зонування територій за екологічними ризиками для населення. Оцінка стану атмосферного повітря в приземному шарі є важливою для визначення потенційних наслідків для екосистеми та для оцінки ризику для здоров'я населення. Цитогенетичне тестування проведене на рослинах *Robinia pseudoacacia* L., які віднесені до групи чутливих видів-фітоіндикаторів. Моніторинг здійснювали впродовж 2020–2021 рр. на 7 локаціях паркових, лісопаркових екосистем та вуличного озеленення в чотирьох адміністративних районах м. Києва. Наведено аналіз погодно-кліматичних умов, відмінності досліджених територій за рівнем забруднення атмосферного повітря, рівнем антропогенного навантаження, інтенсивністю транспортного сполучення, а також забезпеченістю зеленими насадженнями як основного фактора зменшення впливу урбосередовища на умови життя і здоров'я населення. Відзначено, що індекс стерильності пилку відображає вплив позаоптимальних чинників середовища вирощування на репродуктивний потенціал *R. pseudoacacia*. Мінливість морфометричних характеристик сухих зерен за індексом форми також є досить інформативним показником його якості. Зокрема, простежувалась спочатку тенденція до зменшення пилових зерен за екваторіальним діаметром та подальше їх зменшення за довжиною полярної осі у фазу квітання рослин. На територіях зі значним впливом комплексу екзогенних чинників та умов року відмічене значне збільшення частки дегенерованих та гіпертрофованих зерен *R. pseudoacacia*. Інтенсивне пригнічення процесу мікроспорогенезу виявлено у рослин на територіях з активним автотранспортним навантаженням. Мінімальні порушення спостерігались у рослин зі значних за площею паркових насаджень. Певне покращення стану атмосферного повітря в період локдауну також сприяло зменшенню кількості морфологічно аномальних зерен. Результати цитотестування чутливості пилку *R. pseudoacacia* до впливу чинників середовища вирощування можуть слугувати складовою оцінки якості довкілля та зонування територій мегаполісу.

Ключові слова: *Robinia pseudoacacia* L.; пилок; чутливість; забруднення атмосфери; цитогенетичне біотестування; моніторинг

Вступ

Починаючи з середини 19-го століття і дотепер темпи забруднення атмосфери в усьому світі є величезними, і якість атмосферного повітря вже слід розглядати як одну з основних характеристик територій, де висока щільність населення (Sénéchal et al., 2015). У звітах Європейського агентства з навколишнього середовища підкреслено, що 91–96 % міського населення Європейського Союзу зазнає впливу значно вищих концентрацій дрібних твердих частинок, ніж допускається згідно з рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я (EEA, 2022; Beygul, Shishkina, 2018; Kotsur, 2016; Kozubenko, 2016). Погіршення стану довкілля негативно позначається на здоров'ї населення всіх вікових груп та визнане однією з найголовніших причин високої смертності у світі (Brunekreef, Holgate, 2002; Anderson, Favara, Atkinson, 2013; Curtis, Rea, Smith-Willis et al., 2006; Medina, Plasencia, Ballester et al., 2004; Peng, Dominici, Pastor-Barriuso et al., 2005; Malonog, Zagorodny, 2009; Merezhkina, 2005; Stakhiv, 2016; Osnovni pokaznyky zdorovia..., 2021 р. та ін.). Установлено, що більшість (53,3 %) забруднювачів потрапляє в організм через органи дихання, і люди, які живуть у регіонах з високим рівнем забруднюючих речовин, більш схильні до розвитку хронічних респіраторних захворювань та ураження будь-якими інфекційними агентами (Savchuk, 2015; Fedorchenko, 2016). Сучасні закордонні та вітчизняні автори розглядають високий рівень забруднення атмосферного повітря аерозольними частками на урбанізованих територіях також як додатковий кофактор високого рівня летальності від важкого гострого респіраторного синдрому, викликаного коронавірусом 2 (SARS-CoV-2) (Voloshkina et al., 2021; Conticini, Frediani, Caro, 2020).

За багатьма внутрішніми та зовнішніми статистичними спостереженнями Україна на сьогодні є однією з найнебезпечніших в екологічному плані країн (Health Risk of Air pollution in Europe..., 2014; Pohrebennyk, Shybanova, 2019; Shchorichnyk stanu zabrudnennia, 2022; Ohliad stanu zabrudnennia u 2020 r.). Більш повну картину щодо просторового розподілу забруднюючих речовин над

територією України дають відомості на основі даних Sentinel-5P, які охоплюють ділянки, де наземні вимірювання відсутні (Savenets, Dvoretzka, Nadochii, 2019; Savenets, Osadchyi, Oreshchenko, 2021). За статистикою дві третини населення нашої країни проживає на територіях, де стан атмосферного повітря не відповідає гігієнічним нормативам, що впливає на загальну захворюваність людей (Osnovni zasady (strategii)...., 2019; Popov et al., 2020). Наднормативне забруднення атмосферного повітря на більшості регіонів України зумовлене викидами промислових підприємств та автотранспорту (Rehional. dorovid... 2016). Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю (тис. т) в атмосферне повітря впродовж останніх років дещо зменшувались – 3788,8 – у 2021 р., 3675,3 – у 2020 р., 4108,3 – у 2019 р. (у 2015 р. цей обсяг становив 4521,3 тис. т). Це пов'язано зі зменшенням викидів забруднюючих речовин і парникових газів від стаціонарних джерел забруднення (1546,8 та 1436,7 тис. т у 2021 і 2020 рр. відповідно при 1663,9 тис. т у 2015 р.). Водночас зростають обсяги викидів у атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення – 34,4 кг на особу у 2020 р. і 37,4 – у 2021 р., тоді як обсяг емісії від стаціонарних джерел забруднення в ці роки становив – 53,6 та 54,2 кг на особу (при 60,8 кг у 2017 р.). Кількість викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел на одного мешканця Києва лише у 2018–2020 рр. зменшилась (7,8–9,9 кг), але вже в 2021 р. досягла 13,12 кг (при 15,5 кг у 2017 р.) (<https://www.ukrstat.gov.ua>; <https://kyiv.ukrstat.gov.ua>). Крім того що приземні концентрації ряду забруднюючих агентів зазвичай перевищують гранично допустимі рівні, їхня спільна дія може посилюватися одночасним впливом багатьох хімічних елементів і накопиченням у навколишньому середовищі не притаманих природі сполук. Як наслідок, у мегаполісах та містах з інтенсивним виробництвом забруднення повітряного басейну стає реальним чинником негативного впливу на довкілля та здоров'я людини (Yatsenko, Shevchenko, Snizhko, 2018; Moskalchuk, 2021).

Підходи до визначення рівня небезпеки забруднення атмосферного повітря та методи оцінки ризику для здоров'я населення і потенційних негативних наслідків для стану екосистеми постійно вдосконалюються. Тепер, коли Україна зазнає впливу військових дій та економічної кризи, важливо продовжувати моніторинг стану довкілля із застосуванням доступних методичних підходів, які за мінімальних фінансових затрат забезпечують науково обґрунтовані висновки і можливість прогнозувати рівень небезпеки для здоров'я населення (Rybalova et al., 2022). Досить надійні результати в системі екологічного моніторингу забезпечує метод паліноіндикації якості атмосферного повітря в приземному шарі. Установлено, що реакції спадкового апарату рослин (зокрема, пилку) і тварин на зміни як довкілля адекватні, лише рослини реагують значно раніше за людей і тварин (Buchavuu, 2017; Methodical recommendations ..., 2007). Мікроспорогенез різних видів квіткових рослин дещо вирізняється чутливістю до аерополітантів. Забруднення атмосфери безпосередньо впливає на фізичні, хімічні та біологічні властивості пилок зерен. Лабораторними дослідженнями встановлено, що для великої кількості видів рослин життєздатність і проростання пилок зерен змінюються навіть при дуже низьких дозах впливу забруднюючих речовин повітря (Sénéchal et al., 2015). Ці результати, у поєднанні з відомостями про стан здоров'я населення на цих територіях, успішно характеризують екологічний стан регіону (Sytnikova, Fylypchuk, 2019; Rybalova et al., 2022; Nenasheva et al., 2017 та ін.). Для біоіндикації стану навколишнього середовища та зонування територій за екологічними ризиками все частіше використовуються багаторічні рослини (Glibovyt'ska, Shkitsa, 2020). На них більшою мірою позначається пролонгований вплив комплексу екзогенних факторів через довготривалу дію і кумулятивний ефект основних складових забруднення повітряного середовища в приземному шарі, тобто в зоні максимального впливу на дихальну систему людей (Morozova, Khutba, Kobzysa, 2019; Matiashuk, Tkachenko, 2021a, б та ін.). Ця робота є продовженням дослідження стану спадкового апарату та репродуктивної здатності багаторічних рослин чагарникового ярусу в паркових та вуличних насадженнях мегаполісу і використання результатів цитологічного біотестування для зонування паркових екосистем м. Києва за градієнтом антропогенного впливу.

Матеріали та методи досліджень

Біоіндикаційні дослідження проводились на прикладі *Robinia pseudoacacia* L., яка належить до групи чутливих видів-фітоіндикаторів за стійкістю пилку до дії несприятливих екологічних факторів (Nakaz MOZ Ukrainy, 2007). Уважаємо найбільш інформативними результати дослідження рослин чагарникового ярусу. Їх генеративна частина зазнає довготривалої дії основних складових аероногенного забруднення в зоні максимального впливу на дихальну систему людей. Моніторинг здійснювали впродовж 2020–2021 рр. на 7 локаціях паркових, лісопаркових екосистем та вуличного озеленення в чотирьох адміністративних районах м. Києва (рис. 1).

Зразки матеріалу відбирали у фазу масової бутонізації та квіткування рослин. У кожному варіанті досліджено не менше 300 пилок зерен. Стан генеративної сфери визначали за фертильністю пилку (%) з використанням йодного методу виявлення крохмалю в зрілих пилових зернах (Pausheva, 1988) та за морфометричними показниками сухого пилку (розмір зерен уздовж полярної осі (P) та екваторіального діаметру (E), мкм).

За індексом стерильності (IC) визначали, у скільки разів частота індукованого рівня стерильності, яка викликана впливом політантів, вища за рівень спонтанної стерильності (контроль) (Shvets, 2011; Ibragimova, 2008, 2010). Потенційну фітотоксичність політантів також визначає рівень морфологічної різноякісності пилку (визначали відсоток дуже малих – в 1,5–2 рази та дуже великих – у 1,3–1,5 разу пилок зерен), утворення маленьких невивірених зерен, гігантських стерильних, відходження вмісту пилок зерен від оболонки (Shvets, 2011). Розраховували індекс форми (ІФ) як середнє значення співвідношення довжини та ширини екваторіальних проєкцій пилок зерен. Наближення значення індексу до 1,0 свідчить про зменшення видовженості форми пилок зерен (Gnatiuk, Goumenko, 2013). Типова форма сухого пилок зерен у *R. pseudoacacia* сфероїдна, за співвідношенням P / E – витягнута (Heigl, 2020; Erdtman, 1952). Препарати досліджували за допомогою мікроскопа Nikon Eclipse E100 з фотоапаратом Canon 1300D BODY, вимірювання здійснювали в програмі AxioVision Rel. 4.8. Статистичну обробку даних здійснювали за загальноприйнятими методами дисперсного аналізу згідно з рекомендаціями Б. О. Доспехова (1985) за допомогою програми MS Excel 97–2003.

Нумерація ділянок:

Голосіївський район м. Києва:

1. Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення (далі – ППСПМ) «Феофанія», вул. Акад. Лебедєва, 37 (умовний контроль в роботі)
2. Голосіївський парк імені М. Рильського, пр. Голосіївський, 98/2
3. Одеська площа, вул. Академіка Глушкова, 13в
4. Вул. Василя Касіяна

Печерський район:

5. Печерський ландшафтний парк (далі – парк) «Співоче поле», вул. Лаврська, 31

Подільський район:

6. Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва місцевого значення (далі – парк) «Березовий гай», вул. Вишгородська і перетин з вул. Білецька

Солом'янський район:

7. Парк «Відродження», вул. М. Донця, 13

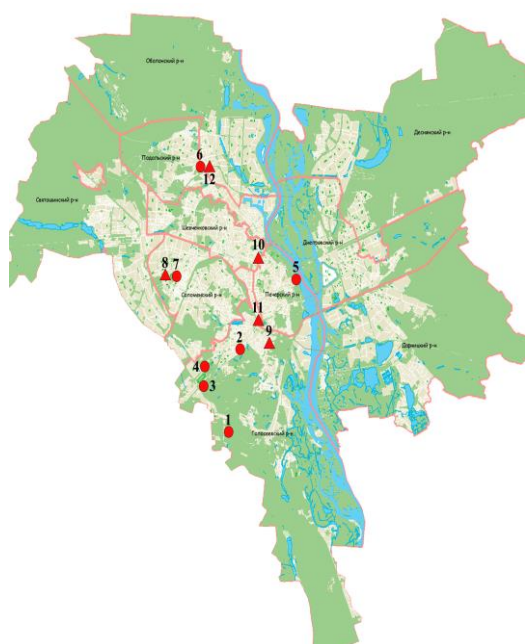


Рис. 1. Розташування моніторингових ділянок (позначка ●) і стаціонарних постів спостережень Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського (позначка ▲)

Результати та їх обговорення

Для оцінки метеорологічних умов середовища вирощування рослин та аналізу стану забруднення атмосферного повітря використані відомості Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського (далі – ЦГО), інформація Державної служби статистики України (зокрема, викладена в статистичних збірниках «Україна в цифрах» та «Довкілля України»), дані Головного управління статистики в м. Києві та ін. (Giriy et al., 2021; Kolisnyk, Lukianova, 2022; News of the CGO..., 2020; Ohliad stanu zabrudnennia... u 2018–2020 r.; Shchorichnyk stanu zabrudnennia..., 2020–2022 pp.). Ураховуючи розташування стаціонарних постів спостережень (далі – ПСЗ) ЦГО, вважаємо можливим використовувати відомості щодо стану забруднення повітря з ПСЗ № 5 для ділянки № 1, ПСЗ № 20 – для ділянок № 2–4 у Голосіївському районі, ПСЗ № 7 – для ділянки № 5 у Печерському районі, ПСЗ № 21 – для ділянки № 6 у Подільському та ПСЗ № 1 – для ділянки № 7 у Солом'янському районі.

За даними ЦГО, упродовж останніх років у столиці рівень забруднення атмосферного повітря за індексом забруднення атмосфери (ІЗА=9,6) характеризується як високий. Київ входить до списку міст з найбільшим рівнем забруднення повітря в Україні (Shchorichnyk stanu zabrudnennia..., 2020, 2021). До прикладу, у 2018 р. на території ПСЗ № 7, 20, 21 розвиток генеративних органів робіни звичайної відбувся за дуже високого рівня забруднення повітря (ІЗА досягав 17–18 ум. од. з подальшим зростанням вище 22 ум. од.). Показники забруднення атмосферного повітря на інших досліджених територіях у квітні-травні цього року також були найвищими за весь наведений період. Через запровадження протиепідеміологічних заходів у 2020 і 2021 рр. на більшості досліджених територій міста спостерігалось зниження рівня забруднення атмосферного повітря в приземному шарі. Досить чітко це видно за показником ІЗА у травні 2020 р., а ще більше у 2021 р. – ІЗА знизився до 8–10 ум. од. (рис. 2).

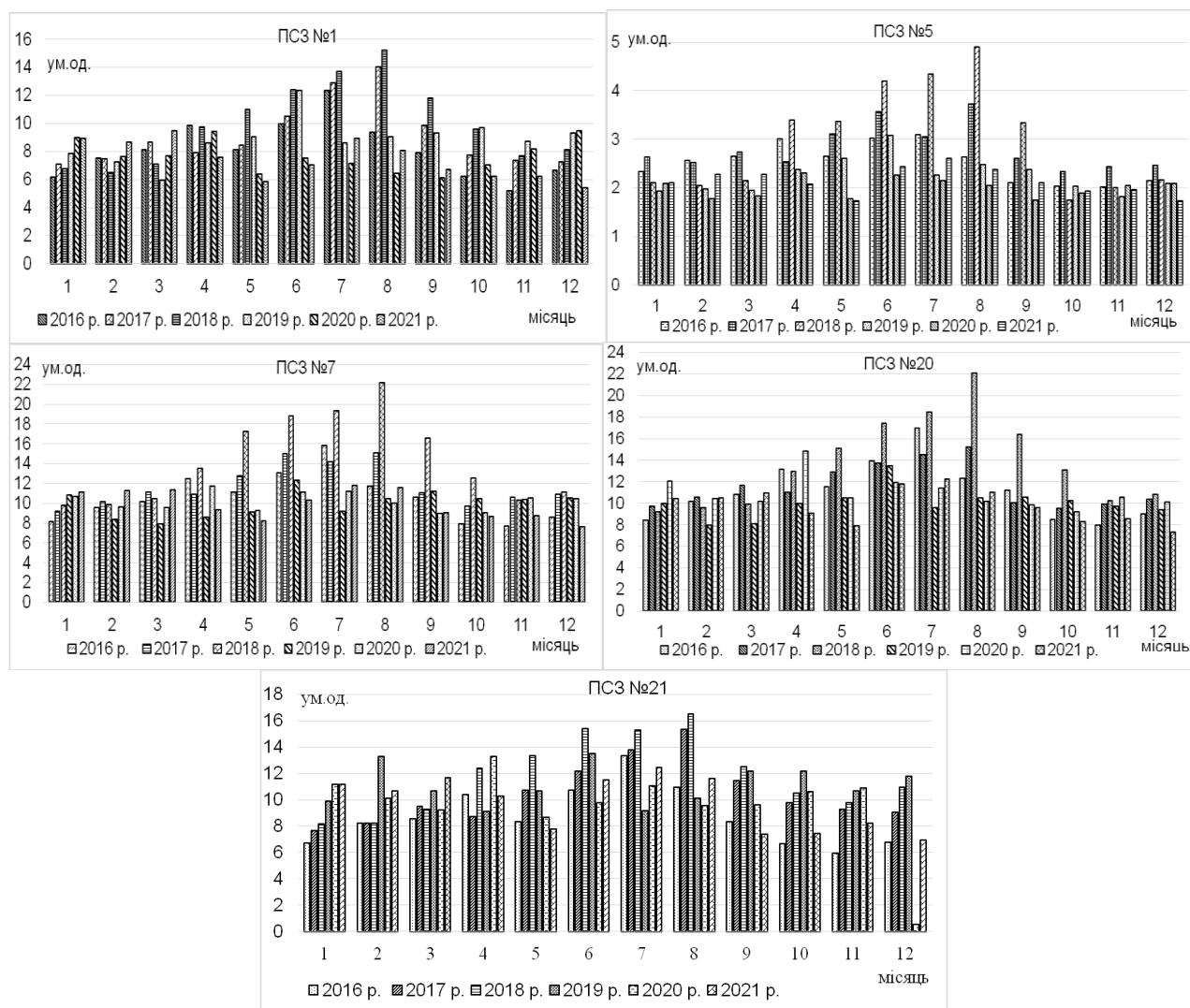


Рис. 2. Індекс забруднення повітря на досліджених територіях м. Києва (2016–2021 рр.) (за даними ЦГО)

Найнижчий рівень забруднення атмосфери (ІЗА менше 5 ум. од.) з 2016 р. відмічений на ПСЗ № 5 – території розташування контрольної ділянки в нашій роботі. У період введення карантинних обмежень у столиці якісні показники повітря в приземному шарі (за концентрацією п'яти пріоритетних забруднюючих домішок) на цій території ще більше покращились. ІЗА в травні – серпні 2020 р. знизився в 1,9–2,0 разу, порівняно з 2018 р. У квітні-травні 2021 р. на цій території він був найнижчим у місті – 2,07 та 1,73 ум. од. відповідно. Упродовж 2020–

2021 рр. розвиток генеративних органів *R. pseudoacacia* на вказаних територіях відбувся за таких досить сприятливих умов. Але пролонгований мутагенний вплив комплексу позаоптимальних чинників середовища вирощування на багаторічні рослини чагарникового ярусу щорічно проявляється у мінливості кількісних та якісних показників росту та тривалості життя рослин (Myronchuk, 2013 та ін.).

Раніше нами відмічалось, що погодні та інші екологічні умови березня – квітня (фаза бутонізації багатьох

багаторічників чагарникового ярусу) позначаються на морфометричних характеристиках пилкових зерен, а взаємодія факторів «точка збору+умови року» є статистично значущою в мінливості ознак якості пилку (Matiashek, Tkachenko, 2021 а, б). За кількістю опадів і особливо середніми місячними температурами в Києві у фазу бутонізації *R. pseudoacacia* умови 2021 р. були сприятливішими для дозрівання пилку (рис. 3).

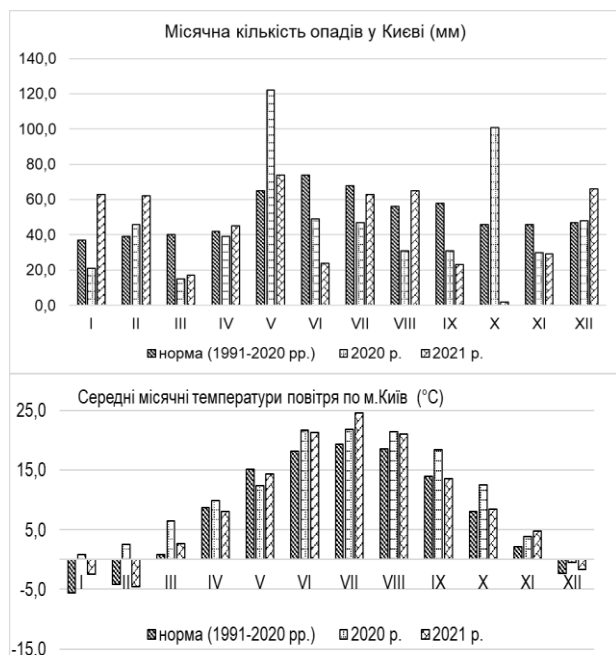


Рис. 3. Основні показники погодно-кліматичних умов 2020 та 2021 рр. у Києві

Відхилення від багаторічної норми за температурою повітря коливалось у межах 1–2 °С, тоді як у 2020 році середня температура березня на 5,7 °С перевищувала норму. За місячною кількістю опадів у березні – квітні ці роки мало відрізнялись – їх було приблизно в 2,6 разу менше за норму. А от кількість опадів у травні (фаза квітнення рослин цього виду) 2020 р. у 2,3 разу перевищила багаторічну норму, а в 2021 р. – в 1,4 разу. Відповідно це зумовило зниження температури повітря у цей місяць – на 2,8 °С у 2020 р. та майже на 1,0 °С у 2021 р. порівняно з багаторічним рівнем (рис. 4).

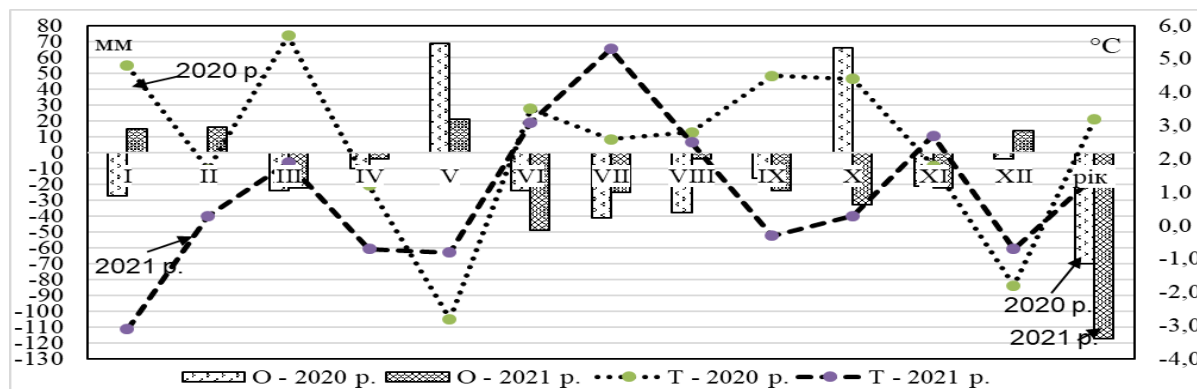


Рис. 4. Відхилення від норми (1991–2020 рр.) середньої місячної температури повітря (Т) та місячної кількості опадів (О) у Києві (за даними ЦГО) (Donich, 2021; Kutsyi, Donich, 2022)

За комплексним впливом погодних умов та основних складових забруднення атмосферного повітря 2021 рік загалом був більш сприятливим для розвитку генеративних органів, що позначилось на фертильності пилку цього виду в контролі та рослин з ділянки 5, де рівень забруднення атмосферного повітря наближений до контрольної території. На інших ділянках якість сформованого пилку

Досліджені території міста мають відмінності не лише за рівнем забруднення атмосферного повітря, але й за рівнем антропогенного навантаження, інтенсивністю транспортного сполучення, а також забезпеченістю зеленими насадженнями як основного фактора зменшення руйнівного впливу урбосередовища на стан життя і здоров'я населення. Голосіївський район столиці є найбільшим (19,1 % від території міста) за площею при найменшій щільності населення (15,72 осіб на 1 га). Для Печерського і Подільського районів ці показники становлять 2,4 % і 79,89 осіб на 1 га та 4,1 % і 60,69 осіб на 1 га відповідно. Найвища щільність населення (95,9 осіб на 1 га) у Солом'янському районі при незначній його площі (частка в загальній території міста становить 4,8 %) (kyiv.ukrstat.gov.ua; Sotsialno-ekonomichne stanovyshche..., 2020, 2021). Для Києва мінімальна нормативна площа озелених територій загального користування, згідно з містобудівними вимогами, повинна забезпечувати 20 м²/люд. (Про продовження чинності Програми розвитку зеленої зони м. Києва до 2010 року та концепції формування зелених насаджень в центральній частині міста). Новим Генеральним планом м. Києва передбачається збільшення площі озелених територій загального користування до 7800,91 га, а забезпеченість населення – до 23,41 м²/люд. Проте реальна забезпеченість по м. Києву є нижчою за нормативну, а найменш забезпеченими є Святошинський, Солом'янський та Дарницький райони (Heneralnyi plan mista..., 2002). Тоді як саме за допомогою озеленення можна зменшити проблему погіршення стану атмосферного повітря урбоценозів, яка призводить до збільшення ризиків захворюваності у населення (Tkachenko, Hulei, 2018).

Потенційна репродуктивна здатність пилку *R. pseudoacacia* на досліджених територіях виявилась досить високою – понад 90 і 94 % фертильного пилку в закритому бутоні, 86–88 % в період масового квітнення рослин (у 2020 р. та 2021 р. відповідно) (рис. 5).

Якщо врахувати, що стан генеративних органів багатьох видів рослин чагарникового ярусу залежить і від умов середовища попереднього року їх вегетації, коли розпочинається закладка генеративних бруньок (Myronchuk, 2013), то спільний негативний вплив факторів місця вирощування рослин і умов року більше простежується на життєвих показниках пилку *R. pseudoacacia* на окремих ділянках Голосіївського району (Одеська площа, вул. Василя Касіяна). За даними ЦГО, це території (ПСЗ № 20) зі стабільно високим рівнем забруднення атмосферного повітря впродовж останніх років (див. рис. 2).

була нижчою. При цьому простежувався більший вплив викидів забруднюючих речовин від пересувних транспортних засобів на рослини в насадженнях, які розташовуються на незначній відстані від автомагістралей і міських доріг (ділянки 3, 4, 7). Це позначається на якості та розмірах гідратованого пилку (табл. 1).

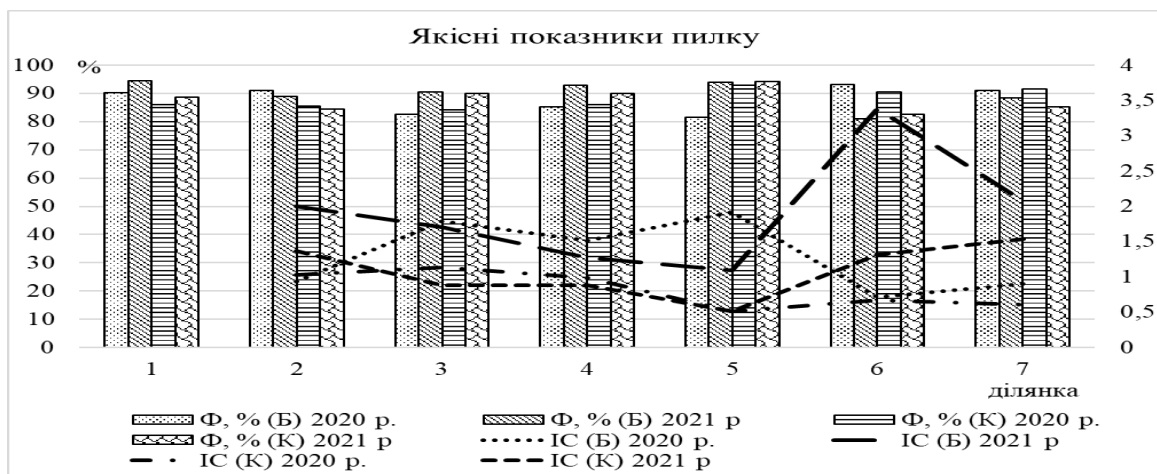


Рис. 5. Фертильність (%) та індекс стерильності пилку під час бутонізації (Б) та квітання рослин (К) *R. pseudoacacia*. Примітка: нумерація ділянок наведена вище.

Таблиця 1
Середній діаметр зерен гідратованого пилку *R. pseudoacacia* (мкм)

Ділянка	Рік дослідження	Фаза бутонізації			Фаза квітання		
		M ± m	G	V, %	M ± m	G	V, %
1	2020	32,4±0,15	3,6	0,058	32,6±0,21	6,5	0,078
	2021	31,2±0,15	2,2	0,048	29,9±0,11	1,1	0,036
2	2020	31,8±0,19*	4,9	0,070	31,4±0,31*	2,6	0,051
	2021	33,1±0,19	3,8	0,059	31,5±0,27	7,4	0,086
3	2020	29,3±0,10*	1,3	0,039	34,4±0,29	8,9	0,087
	2021	29,8±0,10*	1,0	0,034	30,3±0,13	1,7	0,044
4	2020	31,1±0,17*	3,5	0,060	31,6±0,27*	3,9	0,062
	2021	30,9±0,12	1,5	0,039	30,1±0,13	1,8	0,044
5	2020	31,9±0,20*	4,4	0,066	33,2±0,20	3,2	0,059
	2021	29,9±0,13*	1,8	0,044	30,3±0,18	4,8	0,066
6	2020	33,1±0,21	9,4	0,093	34,3±0,16	5,5	0,068
	2021	31,8±0,16	2,6	0,051	35,9±0,19	3,5	0,052
7	2020	30,9±0,30*	4,3	0,067	32,2±0,29	4,8	0,068
	2021	30,9±0,16	2,4	0,051	32,6±0,27	7,4	0,084

Нумерація ділянок: 1 – ППСМ «Феофанія» (умовний контроль); 2 – Голосіївський парк імені М. Рильського; 3 – Одеська площа; 4 – вул. Василя Касіяна; 5 – парк «Співоче поле»; 6 – парк «Березовий гай»; 7 – Парк «Відродний»; m – стандартна помилка; G – дисперсія; V, % – коефіцієнт варіації.

Так, хоча парк «Відродний» розташований на відносно «чистій» території міста (ІЗА = 6,42–7,53 ум. од. в період бутонізації-квітання), насадження *R. pseudoacacia* зазнають інтенсивного впливу аерополутантів в приземному шарі повітря через наближення автомобільних шляхів, чим зумовлене зниження у 2021 р. фертильності на 6,3 % в період масового квітання рослин, порівняно з 2020 р., коли діяли більші обмеження руху автотранспорту в межах протиепідеміологічних заходів у столиці. Таке саме зниження потенційної якості пилку відмічене у рослин парку «Березовий гай» – на 12 % у фазу бутонізації і на 8 % під час квітання рослин. Крім того, відмічене зменшення середнього діаметру гідратованих пилкових зерен на таких територіях, особливо під час квітання рослин (на 1,5 та 4,1 мкм, відповідно ділянки 4 і 3).

Попри відмічене зниження рівня інтегрального забруднення повітря на більшості досліджених територій через введення протиепідеміологічних заходів у 2020 і 2021 рр. з його позитивним впливом на життєвий потенціал пилку *R. pseudoacacia*, чутливість генеративних органів цього виду до комплексу факторів середовища вирощування рослин можна простежити за індексом стерильності пилку (ІС) (див. рис. 4). Установлено, що ще в закритому бутоні зростала частота індукованої стерильності у 1,5–1,9 разу в 2020 р. та в 1,2–3,38 разу у 2021 р., порівняно з умовним контролем. Саме на ділянках

(Одеська площа, вул. Василя Касіяна, парк «Березовий гай») з посиленням впливом забруднюючих речовин атмосферного повітря в приземному шарі (ПЗС №5, 20, 21) простежувалась найвища чутливість пилку за цим показником. У 2021 р. для ділянок 2, 6, 7 відмічене зростання індукованої стерильності й у фазу квітання рослин.

Чутливість пилку *R. pseudoacacia* до комплексу аерогенних чинників проявилась також за мінливістю морфометричних характеристик зерен свіжозібраного сухого пилку (табл. 2; рис. 6). Зокрема, погодні умови та якість повітряного середовища в приземному шарі в 2021 р. позначились на розмірі зерен негідратованого пилку цього виду на більшості досліджених територій. Особливо це помітно на показниках дозрілого пилку в закритому бутоні – відмічене збільшення зерен уздовж полярної осі майже в усіх досліджених популяціях пилку. Найменше це проявилось в контролі – на 3,9 %, на 4,2–4,8 % збільшилась середня довжина пилкових зерен у рослин на ділянках 4, 6, 7, максимально – на 10 % у популяції пилку рослин з Одеської площі (ділянка 3).

Навіть у фазу квітання збереглась тенденція збільшення пилку за цим параметром (найменше – на 2,9 % на ділянці 6, найбільше – на 6,4 та 12 % на ділянках 4 і 3 відповідно). Мінливість зерен за показником екваторіального діаметру була менш вираженою.

Таблиця 2
Морфометричні показники пилкових зерен *R. pseudoacacia* (мкм)

№ ділянки	Фаза бутонізації				Фаза квітування			
	Р		Е		Р		Е	
	2020 р.	2021 р.	2020 р.	2021 р.	2020 р.	2021 р.	2020 р.	2021 р.
1	35,9±0,30	37,3±0,18	24,9±0,23	23,2±0,16	34,9±0,29	34,5±0,18	24,4±0,24	23,7±0,16
2	35,8±0,32	35,1±0,32*	24,5±0,19	24,9±0,22	34,5±0,32	34,1±0,37	25,2±0,23	25,3±0,24
3	34,9±0,26*	38,4±0,24	24,5±0,21	23,2±0,20	34,3±0,34	38,3±0,26	24,1±0,14	23,6±0,26
4	36,0±0,27	37,5±0,21	23,9±0,24	24,8±0,18	34,6±0,29	36,8±0,22	23,9±0,26	25,5±0,23
5	33,7±0,27*	35,3±0,23*	23,4±0,25	24,3±0,23	33,7±0,26*	34,8±0,22	24,9±0,28	23,7±0,20
6	35,4±0,28	37,1±0,30	24,9±0,19	23,6±0,23	34,3±0,35	35,3±0,20	24,0±0,16	24,0±0,19
7	35,3±0,29	36,9±0,26	22,8±0,21	25,3±0,29	33,5±0,28*	33,9±0,24*	24,6±0,24	26,4±0,24

Примітка: Р – середня довжина полярної осі (Р) та екваторіального діаметру (Е). Нумерація ділянок наведена вище.

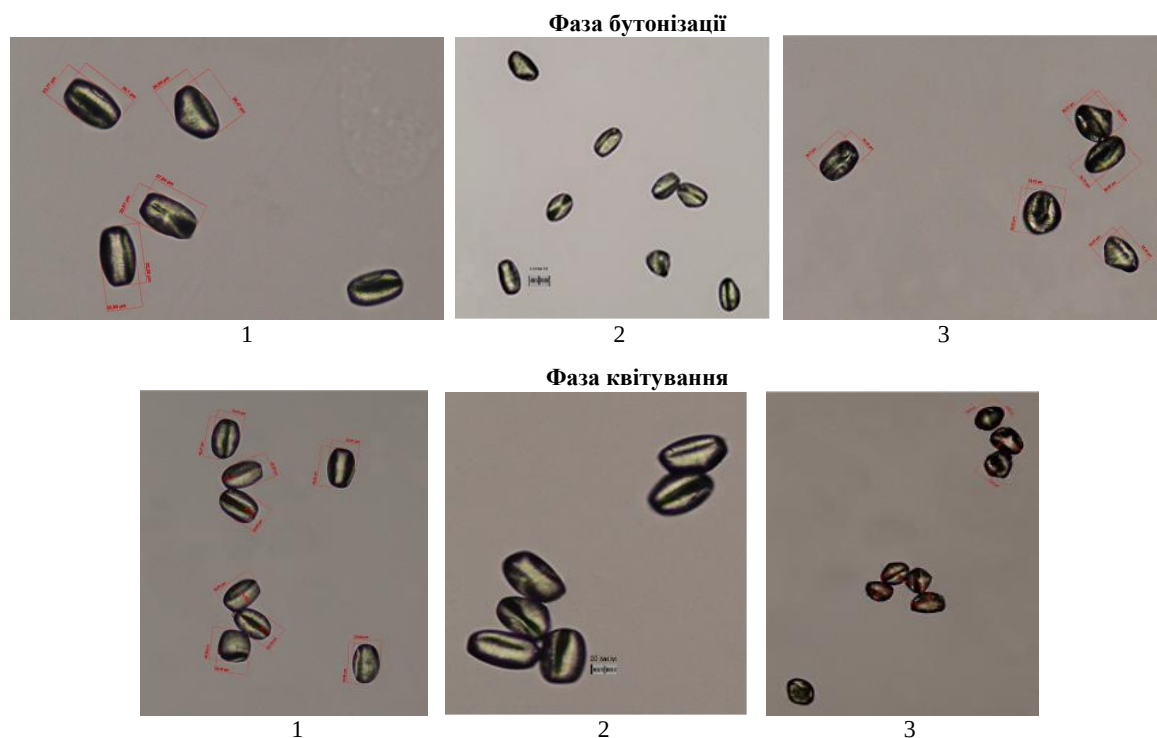


Рис. 6. Загальний вигляд та параметри зерен свіжозібраного пилку *R. pseudoacacia* у фазу бутонізації та квітування рослин:
1 – ППСМ «Феофанія» (контроль); 2 – вул. Василя Касіяна (ділянка 4);
3 – парк «Відрадний» (ділянка 7) (збір 2021 р.)

За середнім значенням співвідношення довжини та ширини екваторіальних проекцій (індекс форми) пилкові зерна *R. pseudoacacia* належать до класу *prolate* (продовгуватий) (Erdtman, 1952). Визначення індексу форми (ІФ) додатково показало, що найбільш стабільний за формою зерен пилко формується за меншого впливу позаоптимальних чинників середовища (табл. 3).

Зокрема, на значних за площею територіях озеленення столиці (як ППСМ «Феофанія», Голосіївський парк імені Максима Рильського, парк «Співоче поле») форма зерен сформованого пилку в 2020 і 2021 роки відрізнялась найменше і мало змінювалась у процесі генеративного розвитку від фази бутонізації до масового квітування рослин. Більш виражену морфологічну зміну пилкових зерен за ІФ можна відмітити в популяціях пилку рослин, які зазнавали підвищеного впливу екзогенних факторів довкілля. Так, у дозрілих бутонах рослин з 3, 4 і 6 ділянок пилкові зерна більш видовженої форми, ніж в контролі, а для ділянки 3 така зміна співвідношення проекцій залишається і під час квітування рослин (за даними 2021 р.). Тобто індекс форми пилкових зерен, як показник чутливості морфометричних характеристик, та індекс стерильності, як один з інформативних показників якості

пилку, у поєднанні дозволяють зробити висновок про інгібуючий вплив комплексу позаоптимальних чинників на мікроспорогенез *R. pseudoacacia*. Як, наприклад, на ділянках з високим ІЗА території та з активним впливом забруднюючих домішок від автотранспортного навантаження (Одеська площа, вул. Василя Касіяна, парк «Березовий гай»), де обидва індекси можуть слугувати показниками потенційної мутагенності території.

Фенотипічні прояви чутливості мікроспорогенезу *R. pseudoacacia* до комплексу екзогенних чинників середовища вирощування реалізувались у формуванні дегенерованих (дрібних) та гіпертрофованих (аномально великих) зерен. Така узгоджена реакція організму на погіршення стану навколишнього середовища свідчить про негативний вплив позаоптимальних чинників на гаметогенез, зокрема про генотоксичну дію аерополітантів на процеси мікроспорогенезу (Morozova, Khrutba, Kobzyska, 2019; Matiaschuk, Tkachenko, 2021 та ін.). У 2020 р. спонтанний рівень формування аномально великих та дрібних пилкових зерен був досить високий – до розкриття квітки в популяції дозрілого пилку вже спостерігалось до 3,6 і 7,0 % менших, відповідно за шириною та довжиною зерен, та до 4,6 % більших зерен за екваторіальним діаметром (шириною) (рис. 7).

Таблиця 3
Індекс форми пилкових зерен *R. pseudoacacia*

Ділянки	Фаза бутонізації		Фаза квітання	
	2020 р.	2021 р.	2020 р.	2021 р.
1 – ППСМ «Феофанія» (умовний контроль)	1,44	1,61	1,43	1,46
2 – Голосіївський парк імені М. Рильського	1,46	1,41	1,37	1,35
3 – Одеська площа	1,42	1,66	1,42	1,62
4 – вул. Василя Касіяна	1,51	1,51	1,45	1,44
5 – парк «Співоче поле»	1,44	1,45	1,35	1,47
6 – парк «Березовий гай»	1,42	1,57	1,43	1,47
7 – парк «Відрадний»	1,55	1,46	1,36	1,28

Індуковані морфологічні зміни пилку у фазу бутонізації більше проявились саме на показниках екваторіального діаметру – у 1,5–1,9 разу зросла частка дрібніших зерен, аномально більшого пилку було в 1,2–2,2 разу більше.

На довжині полярної осі зерен комплексний вплив факторів середовища вирощування робінії позначився значно менше у фазу бутонізації рослин, але інтенсивніше проявився на популяції пилку у фазу квітання. Тоді частка аномально дрібних за довжиною зерен збільшилась в 1,8–2,9 разу, за шириною – в 1,2–1,5 разу. Аномально більших за довжиною зерен було в 1,3–2,3 разу більше, тоді як за шириною зерен пилков на досліджених ділянках значно менше відрізнявся від контрольного. При цьому на

територіях з більшим антропогенним навантаженням (під час бутонізації та квітання рослин на ділянках 2–4, 6, наприклад, ІЗА досягав майже 12 ум. од.) в популяції свіжозібраного пилку відмічалась вища мінливість зерен за морфометричними показниками. Зокрема, простежувалась спочатку тенденція до зменшення екваторіального діаметру (у фазу бутонізації) та подальше пролонговане зменшення довжини зерен. На більш сприятливих за комплексом екзогенних факторів територіях (наприклад, парк «Відрадний» розташований на території, де в 2020 р. ІЗА=6,42–7,53 ум. од.; контрольна ділянка на території, де ІЗА не перевищувала 2,26 ум. од. того року) у *R. pseudoacacia* формується більш морфологічно однорідний пилков.

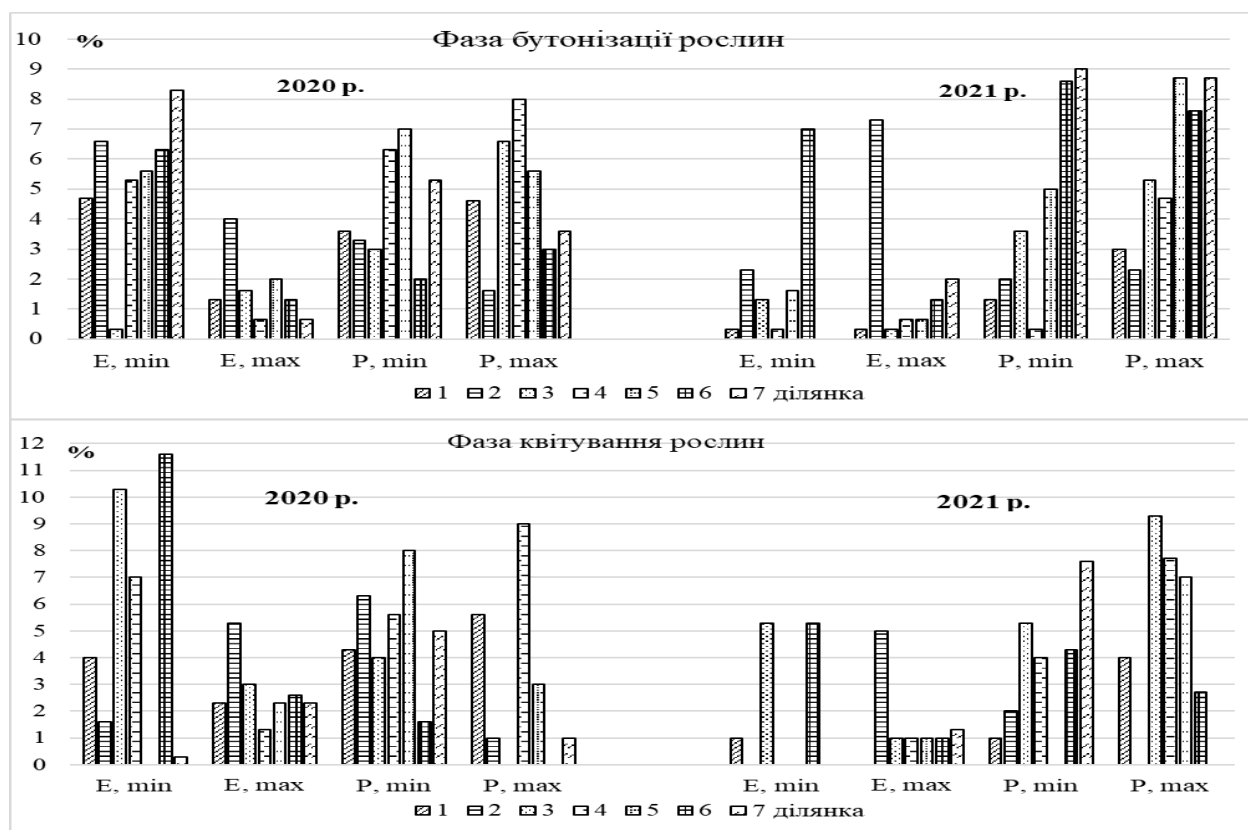


Рис. 7. Продуктування аномальних зерен *R. pseudoacacia* за екваторіальним діаметром (E) та довжиною полярної осі (P) сухого пилку

Примітка: нумерація ділянок наведена вище.

У 2021 р. бутонізація та квітання *R. pseudoacacia* також відбувались за більш сприятливих екзогенних умов на більшості досліджених територій через запровадження обмежувальних протиепідемічних заходів у зв'язку з пандемією коронавірусу. Це проявилось у продуктуванні значно меншої кількості морфологічно аномальних зерен, порівняно з 2020 р. Морфологічна мінливість пилку в контролі досягала 3 % у фазу бутонізації та 4 % аномально великих зерен у фазу квітання за екваторіальним діаметром.

Аномально дрібні та великі за діаметром зерна переважали в популяції негідратованого пилку як у фазу бутонізації, так і під час квітання рослин. При цьому частка дегенерованих зерен зростала інтенсивніше у рослин на територіях з вищим рівнем забруднення атмосферного повітря в приземному шарі, наприклад зумовленого високим автотранспортним навантаженням (ділянки 3, 4, 6). У рослин зі значних за площею паркових насаджень та більш віддалених від автошляхів з активним транспортним

рухом ділянок, за певного покращення стану атмосферного повітря в період локдауну (див. рис. 1) відмічене мінімальне порушення процесу мікроспорогенезу – частка аномальних зерен у популяції дозрілого пилку менше 2 %.

Таким чином, за мінливостю кількісних та якісних ознак пилку *R. pseudoacacia* можна здійснювати оцінку стану об'єктів довкілля за токсико-мутагенним фоном, зокрема визначення потенційної мутагенності повітряного басейну в приземному шарі. Якість атмосферного повітря цього шару є важливою складовою комплексної оцінки ризиків для здоров'я населення, оскільки генеративна частина рослин чагарникового ярусу зазнає однакового впливу складових аерогенного забруднення, що й дихальна система людей.

Висновки

Використання пилку чутливого виду-біоіндикатора *R. pseudoacacia* для моніторингу стану об'єктів довкілля за різного впливу антропогенних чинників є перспективним через широке поширення цих рослин у насадженнях. Цей вид рослин внесений до Переліку інвазійних видів дерев із значною здатністю до неконтрольованого поширення, заборонених до використання у процесі відтворення лісів (наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 3 квітня 2023 р. № 184 (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0641-23#n2>)).

Уважаємо, що ефективність використання цих рослин для паліноіндикації стану довкілля, зокрема на якість атмосферного повітря в приземному шарі, також пов'язана з тим, що бутонізація і квітнування цих рослин припадає на період посиленого впливу комплексу погодних та антропогенних факторів. Так, аналіз отриманих у 2020 і 2021 рр. даних показав, що на ділянках з високим рівнем забруднення атмосферного повітря (за ІЗА) та наявністю поряд доріг з активним транспортним навантаженням ще до розкриття бутону *R. pseudoacacia* в популяції сформованого пилку вищий рівень індукованої стерильності. Також простежена тенденція до зміни форми пилкових зерен на більш видовжені, ніж у контролі. На територіях зі значним антропогенним навантаженням фітотоксичний вплив комплексу екзогенних факторів середовища та умов року на пилки під час квітнування рослин зумовлює збільшення частки дегенерованих та гіпертрофованих зерен (у 1,5–2,5 разу). В окремих випадках частка зерен з аномальними відхиленнями у 7 разів перевищує рівень морфологічної мінливості пилку в умовному контролі. Чутливість пилку *R. pseudoacacia* до позаоптимальних чинників середовища вирощування є важливою складовою оцінки якості довкілля та зонування територій за екологічними ризиками для населення.

References

Anderson, H. R., Favarato G., Atkinson R. W. (2013). Long-term exposure to air pollution and the incidence of asthma: metaanalysis of cohort studies. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 6(1), 47–56.

Beygul, I. O., Shyshkina, O. M. (2018). Vplyv antropohennykh chynnykh na zdorovia naselennia [The influence of anthropogenic factors on the health of the population]. *Biologichni, medychni ta naukovo-pedahohichni aspekty zdorovia liudyny: materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. za zahalnoi red. prof. Pylypenka S. V. Poltava: Astraia*, 156–157 (in Ukrainian).

Brunekeef, B., Holgate, S. T. (2002). *Air pollution and health. The Lancet*, 360, (9341), 1233–1242.

Buchavyi, Yu. V. (2017). Prohnozuvannia ryzykiv dlia zdorovia naselennia vid zabrudnennia atmosferynoho povitria vykydamy pidpriemstv Dnipropetrovskoi oblasti [The forecasting of health risk from air pollution emissions of the enterprises in Dnipropetrovsk region. Abstract of the thesis for the candidate

of biological sciences, Shupyk National Healthcare University of Ukraine]. Kyiv (in Ukrainian).

Conticini, E., Frediani, B., & Caro, D. (2020). Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? *Environmental Pollution*, 261, June 2020, 114465.

Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyes, E., Pan, Y. (2006). *Adverse health effects of outdoor air pollutants. Environment International*, 32(6), 815–830.

Donich, O. A. (2021). Klimatychni osoblyvosti 2020 roku. Pratsi Tsentralnoi heofizychnoi observatorii imeni Borysa Sreznevskoho [Climatic features of 2020]. Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky Kyiv, 17(31), 4–10 (in Ukrainian).

EEA, “Air quality in Europe.” EEA Report, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 2013.

Erdtman, G. (1952). Pollen Morphology and Plant Taxonomy—Angiosperms. *Almqvist and Wiksell*, Stockholm, 539.

Fedorchenko, R. A. (2016). Hihienichna otsinka ta profilaktyka vplyvu atmosferykh zabrudnen na naselennia u mehapolisi metalurhiinoi haluzi [Hygienic assessment and prevention of the effects of atmospheric pollution on the population in the city of metallurgical industry. Abstract of the thesis for the candidate of Medical Sciences Kharkiv National Medical University]. Kharkiv, 27. (in Ukrainian).

Giriy, V. A., Kolisnyk, I. A. (2021). Stan zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha na terytorii Ukrainy u 2020 r. Pratsi Tsentralnoi heofizychnoi observatorii imeni Borysa Sreznevskoho [The state of environmental pollution in Ukraine in 2020]. Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky Kyiv, 17(31), 11–26 (in Ukrainian).

Glibovyt'ska, N., Shkitsa, L. (2020). Assessment methodology of green plantations vitality in the conditions of technogenically transformed ecosystems. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources. The scientific and technical magazine*, 2(22), 19–24.

Gnatiuk, A. M., Goumenko, I. V. (2013). Morfolohichni osoblyvosti pylkovykh zeren vydiv rodyny Solchicaseae DC. Flory Ukrainy. Introduktsiia roslin [Pollen grains morphology of Colchicaceae DC. species in flora of Ukraine]. *Plant introduction*, 2, 57–62 (in Ukrainian).

Health Risk of Air pollution in Europe – HRAPIE: technical report (2014). WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, 65. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/366714/9789240068834-eng.pdf?sequence=1>

Heigl, H. *Robinia pseudoacacia*. In: PalDat – A palynological database. 2020. https://www.paldat.org/pub/Robinia_pseudoacacia/304082

Heneralnyi plan mista Kyieva na period do 2020 roku. [General plan of the city of Kyiv for the period until 2020. Approved by the Decision of the Kyiv City Council No. 370/1804 dated March 28, 2002.] <http://kyiv-landuse.com/content/genplan-kyieva-do-2020-r-diyuchiy>

Ibragimova, E. E. (2008). Ekologichna otsinka dii tekhnohennykh khimichnykh zabrudnen na tsytohenetychni pokaznyky vyshchykh roslin v umovakh Krymu [Ecological estimation of technogene chemical pollution on cytogenetic parameters of higher plants in conditions of Crimea. Abstract of the thesis for the candidate of biological sciences, Kyiv National Taras Shevchenko University] (in Ukrainian).

Ibragimova, E. E. (2010). Otsinka palinotoksychnoho vplyvu vykydiv avtotransportu z vykorystanniam pylku Juglans regia L. Uchenye zapysky Krymskoho ynzhenerno-pedahohycheskoho unyversyteta [Estimation of the palinotoxic effect of motor vehicle emissions using the Juglans regia L. pollen]. *Biologicheskie nauki. Scientific Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University*, 22, 26–30 (in Ukrainian).

Kolisnyk, I. A., Lukianova, Zh. V. (2022). Stan zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha na terytorii Ukrainy u 2021 r. Pratsi Tsentralnoi heofizychnoi observatorii imeni Borysa Sreznevskoho [The state of environmental

- pollution in Ukraine in 2021]. Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky, Kyiv, 18(32), 22–35 (in Ukrainian).
- Kotsur, N. I. (2016). Ekolohichni ryzyky i zdorovia liudyny: suchasni problemy ta shliakhy rozv'iazannia [Ecological risks and people's health care: modern issues and ways of solving these problems]. *Young Scientist*, 9.1(36.1), 91–94 (in Ukrainian).
- Kozubenko, Y. L. (2016). Suchasni realii zabrudnennia atmosfery v Ukraini ta sviti [modern realities of air pollution in Ukraine and in the world]. *Young Scientist*, 9.1(36.1) 87–90 (in Ukrainian).
- Kutsyi, A. V., Donich, O. A. (2022). Klimatychni osoblyvosti 2021 roku. Pratsi Tsentralnoi heofizychnoi observatorii imeni Borysa Sreznevskoho [Climatic features of 2021]. Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky, Kyiv, 18 (32), 4–11 (in Ukrainian).
- Malonog, K. P., Zagorodny, V. V. (2009). Zabrudnennia atmosfery povitria promyslovoho mista yak faktor ryzyku dlia zdorovia yoho meshkantsiv [Impurity of free air of industrial city as a risk factor for health of its inhabitants]. *Dovkillia ta zdorovia*, 1(48), 33–35 (in Ukrainian).
- [Matyashuk, R. K., Tkachenko, I. V. \(2021a\). Pylok roslyn chahamykovoho yarusu miskoho zelenoho prostoru yak indyikator stanu atmosfery povitria mehapolisu \(na prykladi predstavnykh rodu Forsytsii\) \[The pollen of plants of the shrub layer in the urban green space as an indicator of the state of atmospheric air of the city \(on the example of representatives of the Genus Forsythia\)\]. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, 25, 135–156 \(in Ukrainian\).](#)
- Matyashuk, R. K., Tkachenko, I. V. (2021b). Chutlyvist pylku forsytsii do faktoriv otocuiuchoho seredovyshcha mehapolisu [Sensitivity of Forsythia pollen to the factors of the environment of the megapolis]. *Scientific Bulletin of Natural Sciences (Biological Sciences)*, 30, 56–74 (in Ukrainian).
- Medina, S., Plasencia, A., Ballester, F., M'ucke, H. G., Schwartz, J. (2004). Aphis: public health impact of PM10 in 19 European cities. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 58(10), 831–836.
- Merezhkina, N. V. (2005). Hiiienichna otsinka vplyvu pryrodnykh ta tekhnichnykh faktoriv navkolyshnoho seredovyshcha na zdorovia naselennia z khvorobamy orhaniv dykhannia [Hygienic assessment of the impact of natural and man-made environmental factors on the health of the population with respiratory]. Kyiv, 23 (in Ukrainian).
- Metodychni rekomendatsii «Obstezhennia ta raionuvannia terytorii za stupenem vplyvu antropohennykh chynnykh na stan ob'ektiv dovkillia z vykorystanniam tsytohennykh metodiv. (2007). [Methodical recommendations “Survey and zoning of the territory according to the degree of influence of anthropogenic factors on the state of environmental objects using cytogenetic methods”]. (A. I. Gorova, S. A. Ryzhenko, T. V. Skvortsova, I. I. Klimkina, A. V. Pavlychenko, I. H. Myronova). Dnipropetrovsk, 25 (in Ukrainian).
- Morozova, T. V., Khrutba, V. O., Kobzyska, O. P. (2019). Skryninh palinomorfologichnoho ta palinotoksychnoho efektu avtotransportnykh emisii [Screening of palynomorphological and palynotoxic effect of motor vehicle emissions]. *Bulletin of the National Transport University. «Technical Sciences»*, 1(43), 116–126 (in Ukrainian).
- [Moskalchuk, N. \(2021\). Doslidzhennia vplyvu dovkillia na zdorovia liudei Ivano-Frankivskoi oblasti \[Investigation of the environmental impact on human health in Ivano-Frankivsk oblast. Ecological Safety and Balanced Use of Resources\]. The scientific and technical magazine, 1\(23\), 46–53 \(in Ukrainian\).](#)
- Myronchuk, K. V. (2013). Fenolohichni aspekty rozvytku zhyvoplotiv u ekolofo-fitosenotychnykh poiasakh Bukovyny [Phenological aspects of green hedges in ecology and phytocenotic zones of Bukovina]. *The Scientific Bulletin of UNFU*, 23(3), 140–145 (in Ukrainian).
- Nakaz MOZ Ukrainy № 116 vid 13.03.2007 r. Pro zatverdzhennia metodychnykh rekomendatsii “Obstezhennia ta raionuvannia terytorii za stupenem vplyvu antropohennykh chynnykh na stan ob'ektiv dovkillia z vykorystanniam tsytohennykh metodiv” (2007). [Order of the Ministry of Health of Ukraine № 116 of 13.03.2007 “On approval of methodological recommendations” Survey and zoning of the territory according to the degree of influence of anthropogenic factors on the state of environmental objects using cytogenetic methods”]. *Official Gazette of Ukraine*, 4, 186–209 (in Ukrainian). <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116282-07#Text>
- [Nenasheva, G. I., Maksimova, N. B., Morkovkin, G. G., Ivanova, M. S. \(2017\). Research of the Pinus sylvestris pollen as a method of assessing the degree of air pollution. Ukrainian Journal of Ecology, 7\(4\), 174–178.](#)
- Novyny Tsentralnoi heofizychnoi observatorii imeni Borysa Sreznevskoho (2020) [News of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky, 2020]. (in Ukrainian). <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=news&f=news-cgo&ko=0>
- Ohliad stanu zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha na terytorii Ukrainy za danymi sposterezhen hidrometeorologichnykh orhanizatsii u 2020 r. (2020) [Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2020]. (in Ukrainian) http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine
- Ohliad stanu zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha na terytorii Ukrainy za danymi sposterezhen hidrometeorologichnykh orhanizatsii u 2018–2020 rr. [Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2018–2020 pp.] (in Ukrainian). http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine.
- Osnovni pokaznyky zdorovia ta medychnoi dopomohy naselenniu m. Kyieva v 2021 rotsi. Statystychni dovidnyk (2022). Kyiv. <https://medstat.kiev.ua/dovidniki/>
- Osnovni zasady (stratehii) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2030 roku, Zakon Ukrainy vid 28 liutoho 2019 roku [On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the period up to 2030: Law of Ukraine of February 28, 2019. № 2697-VIII]. (in Ukrainian). https://zakononline.com.ua/documents/show/382555__382620.
- Pausheva, Z. P. (1988). *Praktykum po tsytologii rastenyi* [Workshop on plant cytology. 4th ed.]. Moskva, 271 (in Russian).
- [Peng, R. D., Dominici, F., Pastor-Barriuso, R., Zeger, S. L., Samet, J. M. \(2005\). Seasonal analyses of air pollution and mortality in 100 US cities. American Journal of Epidemiology, 161\(6\), 585–594.](#)
- Pohrebennyk, V., Shybanova, A. (2019). Doslidzhennia stanu zabrudnennia atmosfery povitria [Study of the state of atmospheric air pollution. Naukovyi ta pedahohichniy suprovid staloho rozvytku: Dyskurs]. Sumy, 56–70 (in Ukrainian).
- [Popov, O. Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Kameneva, I., Taraduda, D., Sobyna, V., Sokolov, D., Dement, M., Yatsyshyn, T. \(2020\). Risk assessment for the population of Kyiv, Ukraine as a result of atmospheric air pollution. Journal of Health and Pollution, 10\(25\), 1–11.](#)
- Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v m. Kyievi u 2015 rotsi. (2016). [Regional report on the state of the surroundings. of the natural environment in Kyiv in 2015] (in Ukrainian). <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/content/ekologichnyy-pasport.html>
- [Rybalova, O. V., Korobkova, H. V., Hudzevich, A. V., Artemiev, S. R., Bondar, O. B. \(2022\). Risk assessment for public health from air pollution in the industrial regions of Ukraine. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", \(56\), 240–254.](#)

- Savchuk, R. M. (2015) Morfo-funktsionalni zminy v leheniakh pry dii zabrudniuvachiv atmosferohoho povitria. [Morphological and functional changes in lungs under influence of air pollution. Abstract of the thesis for the candidate of Medical Sciences]. State Higher Educational Institution "Ivano-Frankivsk National Medical University", Ivano-Frankivsk, 22 (in Ukrainian).
- Savenets, M., Dvoretzka, I., Nadtochii, L. (2019). Suchasnyi stan zabrudnennia atmosferohoho povitria v Ukraini za danymy suputnyka Sentinel-5P [Current state of atmospheric air pollution in Ukraine based on Sentinel-5p satellite data]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriiia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia», 51, 221–233 (in Ukrainian).
- [Savenets, M., Osadchyi, V., Oreshchenko, A. \(2021\). Monitorynh yakosti atmosferohoho povitria nad terytoriei Ukrainy z detalizatsiieiu dlia mist za danymy suputnyka Sentinel-5P \[Atmospheric air quality monitoring over the territory of Ukraine with specification over the cities using Sentinel-5p satellite data\]. Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine, 3, 50–58 \(in Ukrainian\).](#)
- [Sénéchal, H., Visez, N., Charpin, D., Shahali, Y., Peltre, G., Biolley, JP., Lhuissier, F., Couderc, R., Yamada, O., Malrat-Domenge, A., Pham-Thi, N., Poncet, P., Sutra, JP. \(2015\). A Review of the effects of major atmospheric pollutants on pollen grains, pollen content, and allergenicity. ScientificWorld Journal, 940243.](#)
- Shchorichnyk stanu zabrudnennia atmosferohoho povitria na terytorii Ukrainy za danymy sposterezhen hidrometeorolohichnykh orhanizatsii za 2021 rik [Yearbook of air pollution in Ukraine according to observations of hydrometeorological organizations in 2021 of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznnevsky]. Kyiv, 2022, 254 (in Ukrainian).
- Shchorichnyk stanu zabrudnennia atmosferohoho povitria na terytorii Ukrainy za danymy sposterezhen hidrometeorolohichnykh orhanizatsii za 2019 rik (2020) [Yearbook of air pollution in Ukraine according to observations of hydrometeorological organizations in 2019 of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznnevsky]. Kyiv, 271 (in Ukrainian).
- Shchorichnyk stanu zabrudnennia atmosferohoho povitria na terytorii Ukrainy za danymy sposterezhen hidrometeorolohichnykh orhanizatsii za 2020 rik (2021) [Yearbook of air pollution in Ukraine according to observations of hydrometeorological organizations in 2020 of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznnevsky]. Kyiv, 270 (in Ukrainian).
- Shchorichnyk stanu zabrudnennia atmosferohoho povitria na terytorii Ukrainy za danymy sposterezhen hidrometeorolohichnykh orhanizatsii za 2021 rik (2022) [Yearbook of air pollution in Ukraine according to observations of hydrometeorological organizations in 2021 of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznnevsky]. Kyiv, 254 (in Ukrainian).
- Shvets, L. S. (2011). Bioindykatsiia intensyvnosti zabrudnennia dovkillia za pokaznykamy fertylnosti pylkovykh zeren riznykh roslin. [Bioindication of the environmental pollution intensity according to fertility indices of different poller plants seeds]. Dosiahnennia biolohii ta medytsyny, 1(17), 41–44 (in Ukrainian).
- Sotsialno-ekonomichne stanovyshche m. Kyieva u 2020 i 2021 r. Statystychnyi biulleten. (in Ukrainian). <http://kyiv.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=4104&lang=1>
- Stakhiv, I. R. (2013). Vplyv zabrudnennia povitrianooho sere dovyschcha na stan zdorovia naseleennia za 2001-2010 rr. [Influence air pollution on health of population from 2001 to 2010]. Teor. prikl. asp. geoinform., 10, 126–132 (in Ukrainian).
- [Sytnikova, I. O., Fylypchuk, T. V. \(2019\). Palinoindykatsiia atmosferohoho povitria m. Chernivtsi \[Palynoindication of atmospheric air in Chernivtsi city\]. Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriiia: Biolohiia, 1\(75\), 80–87 \(in Ukrainian\).](#)
- Tkachenko, T. M., Hulei, D. V. (2018). Zeleni konstruksii yak efektyvnyi sposib stabilizatsii ta polipshennia stanu dovkillia urbosenoziv (na prykladi Solomianskoho raionu m. Kyieva). Ecological Safety and Balanced Use of Resources, 1(17), 46–56 (in Ukrainian).
- [Voloshkina, O., Shabliy, T., Trofimovich, V., Efimenko, V., Goncharenko, A., Zhukova, O. \(2021\). Vplyv hlobalnykh klimatychnykh zmin na zabrudnennia povitria urbanizovanykh terytorii ta rozpovsiudzhennia zakhvoriuvanosti naseleennia na COVID-19 \[Influence of global climate change on air pollution in urbanized areas and spread of COVID-19 morbidity\]. Ecological safety and nature resources, 39\(3\), 5–15 \(in Ukrainian\).](#)
- Yatsenko, Y., Shevchenko, O., Snizhko, S. (2018). Otsinka suchasnoho rivnia ta tendentsii zabrudnennia atmosferohoho povitria mist Ukrainy dioksydom azotu [Assessment of air pollution level of nitrogen dioxide and trends of it changes in the cities of Ukraine]. Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geology, 3(82), 87–95 (in Ukrainian).