

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-12>
УДК (UDC): 582.916.16:57.017.64: 574.2:57.045(477.25)

Р. К. МАТЯШУК¹, канд. біол. наук, ст. наук. співр.,
завідувач відділом дендрології та паркознавства
e-mail: raisakiev2015@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1929-0522>

І. В. ТКАЧЕНКО¹
провідний інженер відділу дендрології та паркознавства
e-mail: irina_tkachenko77@ukr.net

¹Державна установа «Інститут еволюційної екології НАН України»
вул. Акад. Лебедева, 37, м. Київ, 03143, Україна

ПИЛОК РОСЛИН ЧАГАРНИКОВОГО ЯРУСУ МІСЬКОГО ЗЕЛЕНОГО ПРОСТОРУ ЯК ІНДИКАТОР СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МЕГАПОЛІСУ (НА ПРИКЛАДІ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ ФОРЗИЦІЯ)

Особливо важливою є оцінка потенційної мутагенності повітряного середовища саме в зоні активної життєдіяльності людини. Вважаємо, що багаторічні рослини чагарникового ярусу є найбільш інформативними об'єктами таких досліджень.

Мета. Оцінка чутливості чоловічого гапліодного покоління *Forsythia suspensa* Vahl. до стану повітряного середовища м. Київ в приземному шарі та перспективність використання цього виду для індикації якості атмосферного повітря та оцінки можливих ризиків для здоров'я населення.

Методи. Польові, статистичні. Стан генеративної сфери *F. suspense* визначали за фертильністю і морфометричними показниками пилку, визначенням індексу форми та частки аномальних зерен в популяції негідратованого пилку.

Результати. Встановлено, що спадковий апарат форзиції звисаючої є чутливим до комплексу екзогенних чинників середовища вирощування в паркових екосистемах м. Києва. Підтверджено, що взаємодія факторів «точка збору+умови року» є статистично значимою в мінливості ознак якості пилку, а також позначається на розмірах пилку *F. suspensa*. Відмічений більший вплив аерополітантів в приземному шарі атмосферного повітря на розмір екваторіального діаметру пилкових зерен цього виду рослин. Виявлене зменшення рівня інтегрального забруднення повітря на більшості ділянках дослідження столиці через запровадження у 2020 і 2021 рр. обмежувальних протиепідемічних заходів. Ці зміни умов середовища вирощування, особливо за відсутності впливу розвинутої мережі автомобільних шляхів, позначились на частці аномальних зерен в популяціях пилку на досліджених ділянках.

Висновки. Відмічена доцільність подальшого використання пилку *F. suspensa* для оцінки стану довілля за токсико-мутагенним фоном та зонування паркових екосистем за градієнтом антропогенного впливу. Доповнення результатів біоіндикаційних досліджень з використанням, зокрема, пилку *F. suspensa*, відомостями про стан здоров'я населення та даними щодо забруднення атмосферного повітря підвищує ефективність індикації стану навколишнього середовища Києва.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: фертильність, індекс форми, аномальний пилко, аеротехногенне забруднення, палінотоксичність, біоіндикація

Як цитувати: Матяшук Р. К., Ткаченко І. В. Пилок рослин чагарникового ярусу міського зеленого простору Як індикатор стану атмосферного повітря мегаполісу (на прикладі представників роду Форзиція). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 135-156. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-12>

In cites: Matyashuk, R. K., & Tkachenko, I. V. (2021). 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, Series «Ecology»*, (25), 135-156. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-12>

© Матяшук Р. К., Ткаченко І. В., 2021



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Вступ

Питання якості атмосферного повітря все тісніше пов'язується з якістю життя та станом здоров'я людей та набуває більшої актуальності при розгляді глобальних проблем зростаючого антропогенного навантаження на довкілля [1-5]. Навколишнє природне середовище в Україні потерпає від значного антропогенного та техногенного навантаження і оцінка його стану, перш за все, базується на показниках забруднення повітря та порушень озонового шару атмосфери. Досягнути гармонійного поєднання між забезпеченням показників економічного зростання якості життя людей та дотриманням екологічної безпеки вкрай складно, але надзвичайно важливо зуміти зберегти довкілля придатним для проживання наступних поколінь [6].

Серед цілей прийнятого Національного плану з охорони навколишнього природного середовища у найближчі 5 років, який був розроблений з метою реалізації Стратегії державної екологічної політики України на період до 2030 року, вагоме місце відведене розвитку системи моніторингу атмосферного повітря, тому що його забруднення стало однією з найгостріших екологічних проблем сучасності [7]. Незважаючи на певний спад виробництва в Україні, рівень забруднення атмосферного повітря великих міст і промислових регіонів залишається стабільно високим. Фактично дві третини населення країни проживає на територіях, де стан атмосферного повітря не відповідає гігієнічним нормативам, що впливає на загальну захворюваність населення [6, 8-10]. За даними ВОЗ в світі 91% населення планети (станом на 2016 р.) проживає в районах, де рівень забруднення повітря перевищує встановлені в Рекомендаціях ВОЗ значення, саме цей фактор визнаний основним у комплексі чинників, пов'язаних з оточуючим людину середовищем [11]. Кількість населення, яке потрапляє в зону підвищеного екологічного ризику за фактором забруднення атмосферного повітря стрімко збільшується в світі і в Україні через зростаючий рівень урбанізації [1].

Моніторинг стану забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами хімічного, фізичного та біологічного походження набуває ще більшої актуальності з урахуванням погіршення соціально-економічних умов, екологічної ситуації і фактично відсутності в нашій країні належного системного соціально-гігієнічного моніторингу факторів

середовища життєдіяльності людини [12]. В останні роки дослідження стану атмосферного повітря України доповнились застосуванням супутникових спостережень [13-15], вдосконалюється система моделювання розподілу забруднюючих речовин та прогнозування ризиків для здоров'я населення [16-24], проте палиноіндикація якості оточуючого середовища вже наприкінці минулого століття була визнана надійною ланкою в системі екологічного моніторингу [25-27]. Тест «Стерильність пилку рослин – фітоіндикаторів», що зростають на досліджуваних територіях, успішно застосовується для визначення загальної токсичності (або потенційної мутагенності) повітряного басейну і території в цілому, а в доповненні з відомостями про стан здоров'я населення характеризує екологічний стан регіону [22, 27-29]. Встановлено, що рослини значно раніше за людей і тварин реагують на зміни в оточуючому середовищі, а реакції генеративної сфери рослин (зокрема – пилку) і тварин загалом адекватні [30, 31]. В екологічних дослідженнях значна увага приділяється рослинам ще й тому, що вони є першою ланкою трофічної системи – продуцентами кисню та органічних речовин [32]. Пилок рослин, його морфологічні особливості та якісні і кількісні показники все частіше обирають об'єктами біомоніторингу також з огляду на можливість скринінгу великого обсягу проб, швидкість проведення дослідження, відсутність потреби у складному лабораторному обладнанні [33-35].

Довготривала комплексна дія екзогенних факторів середовища більшою мірою починається на багаторічних рослинах через кумулятивний ефект основних складових забруднення і пролонгований вплив на різні стадії розвитку їх організму. Саме багаторічні рослини, перебуваючи в умовах тривалої експозиції, особливо на урбанізованих територіях, характеризуються рядом переваг при індикації довготермінових тенденцій і буферної здатності біологічних систем по відношенню до комплексу усіх недиференційованих факторів навколишнього середовища. Тому все частіше їх використовують для індикації стану навколишнього середовища та зонування територій за екологічними ризиками [20, 36, 37].

Розпочате авторами раніше вивчення стану пилку багаторічних рослин в міських насадженнях має за мету доповнити комплексне біоіндикаційне дослідження стану та

зонування паркових екосистем м. Києва за градієнтом антропогенного впливу [38-41]. Метою роботи є оцінка чутливості чоловічого гаплоїдного покоління *Forsythia suspensa* Vahl. до стану повітряного середовища м. Київ в приземному шарі і перспективність використання цього виду для індикації якості атмосферного повітря та оцінки можливих ризиків для здоров'я населення. До переліку видів-фітоіндикаторів за стійкістю пилку до дії несприятливих екологічних факторів (згідно методичних рекомендацій «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів») внесена *Forsythia europaea* Degen. як високочутливий вид [42]. Але за поширенням у зелених насадженнях агломерації Києва і можливістю використання в біоіндикаційних дослідженнях є актуальним вивчення *Forsythia suspensa* Vahl. за чутливістю генеративних органів до комплексу екзогенних чинників середовища вирощування.

Антропогенне і техногенне навантаження на атмосферне повітря в Україні у кілька разів перевищує відповідні показники у розвинутих країнах світу [8, 43]. За даними Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського з 1993 р. відмічається стабільне зростання забруднення атмосферного повітря усіх населених пунктів України, на яких здійснюються спостереження. Так,

якщо в 1995 р. сумарний показник гранично допустимого забруднення повітря на досліджених територіях України у 3,7 разів перевищував межі допустимого, то в 2008 р. уже у 7,1-7,3 рази [8, 9, 44]. Серед територій зі стабільно зростаючим рівнем забруднення атмосфери в 2017-2018 роки наведені, зокрема, Херсонська, Одеська, Житомирська області, але «лідирує» за збільшенням обсягів викидів в атмосферу Київська область (на 68,8%). У м. Києві визнано помірно-небезпечний рівень вмісту досліджених канцерогенних речовин за кратністю перевищення показників забруднення атмосферного повітря. Сумарний канцерогенний ризик для здоров'я населення у столиці становить $4,7 \cdot 10^{-3}$ (максимальний - $9,5 \cdot 10^{-3}$ у м. Кременчуці з превалюванням нафтопереробної промисловості) [8]. Дослідженнями встановлено, що при збереженні сучасних тенденцій в економіці та природоохоронній діяльності в більшості міст України концентрації, наприклад NO_2 , можуть зрости на 38% [45]. Такий стан повітряного середовища, а також погодно-кліматичні зміни (зокрема, встановлені впродовж останніх років відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів по м. Київ) неминуче позначаються на стані урбоекосистеми столиці і здоров'ї її жителів [23, 46]. Тому моніторинг стану атмосферного повітря набуває все більшого значення та необхідності в доповненні новими дослідженнями.

Матеріали і методи

Впродовж 2019-2021 рр. досліджували чоловіче гаплоїдне покоління (пилкові зерна) *Forsythia suspensa* Vahl., використаної в декоративних насадженнях паркових та лісопаркових екосистем та вуличному озелененні м. Києва для моніторингу стану атмосферного повітря столиці. Ділянки (їх нумерація наводиться далі) розташовані в шести адміністративних районах міста.

Голосіївський р-н

1. ППСМ «Феофанія» вул. Академіка Лебедева, 37
2. ЛПК «Феофанія» вул. Академіка Лебедева, 31
3. Голосіївський парк імені М. Рильського, пр. Голосіївський, 98/2
4. Одеська площа вул. Академіка Глушкова, 13в
5. НУБіП України, вул. Героїв Оборони, 2а
Шевченківський р-н

6. Ботанічний сад ім. О. В. Фоміна вул. Симона Петлюри, 1
 7. м. Нивки просп. Перемоги, 86
 8. м. Шулявка, вул. Гетьмана, 5
 9. Сирецький дендрологічний парк вул. Тираспільська, 43
 10. Парк відпочинку по вул. Олени Теліги, 33
Печерський р-н
 11. Маріїнський парк, вул. Грушевського, 1
Оболонський р-н
 12. Парк культури та відпочинку «Пуца Водиця» вул. Ф. Максименка, 19
Дніпровський р-н
 13. Автостанція «Дарниця», вул. Магнітогорська, 1а
 14. Парк «Перемога», пр. Визволителів, 2
Деснянський р-н
 15. Парк «Кіото» Алея Сакур, вул. Кіото, 9
- Зразки матеріалу відбирали у фазу масової бутонізації та квітання рослин. У кожному варіанті досліджено не менше 300

пилкових зерен. У разі відсутності можливості збору матеріалу на окремих ділянках в таблицях і рисунках вказаний «0» або «-». Стан генеративної сфери *F. suspensa* визначали за фертильністю пилку (%) з використанням йодного методу виявлення крохмалю в зрілих пилкових зернах [47] та за морфометричними показниками сухого пилку (розмір зерен за довжиною полярної осі (P) та екваторіального діаметру (E), мкм). Розраховували індекс форми як середнє значення співвідношення довжини та ширини екваторіальних проєкцій пилкових зерен. Наближені значення індексу до 1,0 свідчить про зменшення видовженості форми пилкового зерна [48]. Типова форма сухого пилкового зерна – сфероїдальна, за співвідношенням P / E – витягнута [49].

Для оцінки метеорологічних умов середовища вирощування рослин та аналізу стану забруднення атмосферного повітря використані відомості Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (далі – ЦГО), матеріали Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році, інформація Державної служби статистики України (зокрема, викладена в статистичних збірниках «Україна в цифрах» та «Довкілля України»), дані Головного управління статистики у м. Києві та ін. [50-58]. Відомості щодо розташування стаціонарних постів спостережень за забрудненням (далі – ПСЗ) ЦГО та дослідних ділянок наведені на карто-схемі (рис. 1). За територіальним розташуванням поста №2 дані вико-

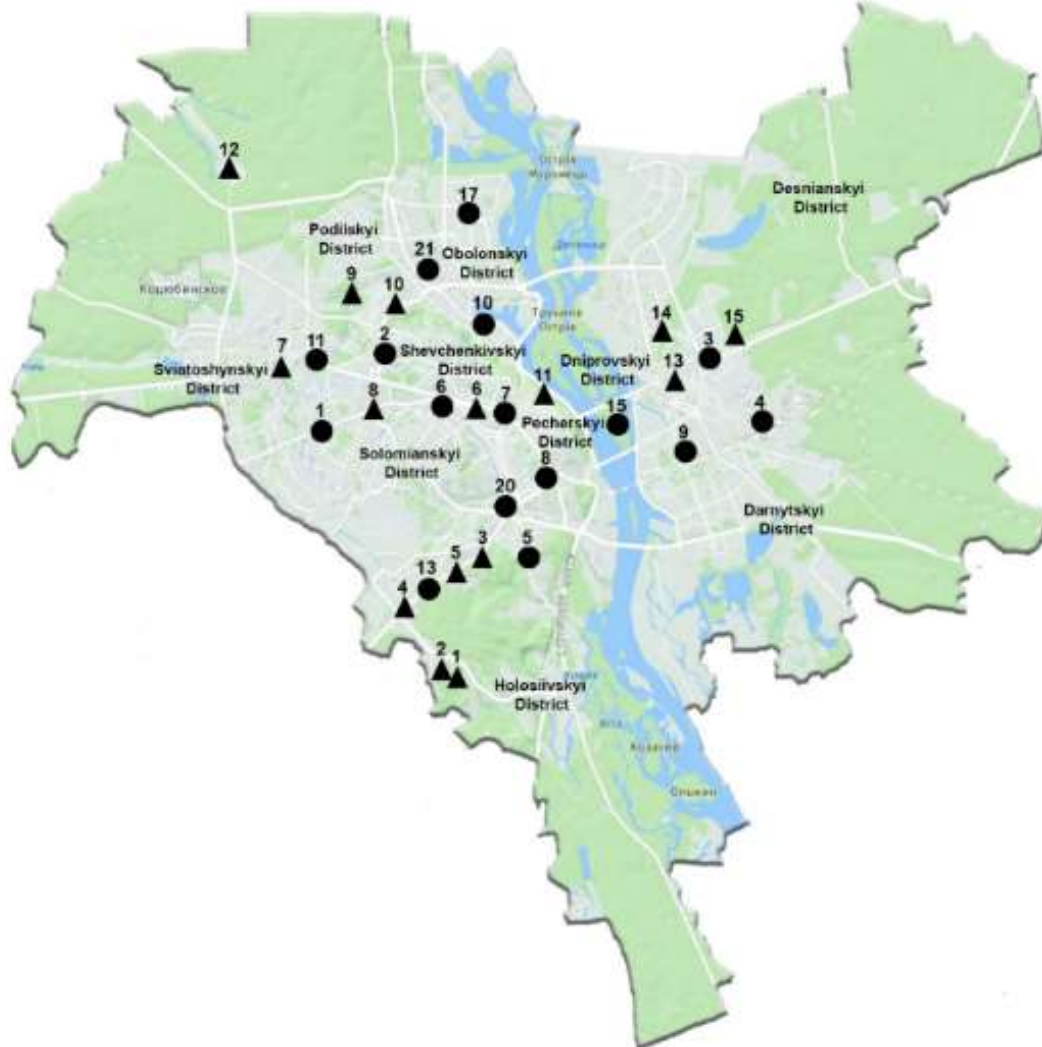


Рис. 1 – Карта-схема розташування стаціонарних постів спостережень за забрудненням Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (позначено «●») та дослідних ділянок (позначка «▲»)

Fig.1 – Map-scheme of location the stationary posts of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky for pollution observation (marked "●") and research sites (marked "▲")

тані для ділянок – 8, 9 і 10; поста № 3 – для 13,14 та 15 ділянок; поста №5 – для 1, 2 та 3 ділянок; поста №6 – для 6 ділянки; поста №7 – для 11; поста №11 – для 7; поста №20 – для 4 і 5 (оскільки пост №13 здійснює дослідження не всіх домішок забруднення повітря); для ділянки 12 вважаємо можливим використання відомостей з постів №21 та №17, розташованих в Оболонському районі міста на приблизно однаковій відстані від Парку культури та відпочинку «Пуца Водиця». Територіальне розташування ділянок наступне: ділянки №1-5 – Голосіївський район, №6-10 –

Шевченківський, №11 – Печерський, №12 – Оболонський, №13-14 – Дніпровський, №15 – Деснянський район столиці.

Препарати досліджували за допомогою мікроскопа Nikon Eclipse E100 з фотоапаратом Canon 1300D BODY і програмного забезпечення. Вимірювання здійснювали в програмі AxioVision Rel. 4.8. Статистичну обробку даних здійснювали за загальноприйнятими методами дисперсного аналізу згідно рекомендацій Б. О. Доспехова [59] за допомогою програми MS Excel 97-2003.

Результати дослідження

У зелених насадженнях більшості об'єктів благоустрою столиці та інших міст Правобережного Лісостепу України найчастіше використовують форзицію звисаючу (*F. suspensa* (Thunb.) Vahl.) та форзицію європейську (*F. europaea* Degen. et Bald.) [46, 47]. Разом з іншими чагарниковими декоративними рослинами чагарникового ярусу насаджень, форзиція формує генеративні органи на висоті 2-3 м. Рослини саме цього ярусу перебувають в середовищі максимального впливу політантаїв (викидів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних та пересувних джерел) та інших факторів повітряного середовища на дихальну систему людей, тому, на нашу думку, можуть бути найбільш інформативними об'єктами оцінки потенційної мутагенності території.

Оскільки у представників роду *Forsythia* генеративні бруньки закладаються на

приростах минулорічних пагонів, а перебіг фази цвітіння залежить від якості умов середовища [48], для оцінки стану генеративних органів *F. suspensa* були враховані погодні та екологічні умови як поточного, так і попереднього років вирощування рослин. На якісні показники стану пилку форзиції, зокрема, значний вплив мають умови росту і розвитку рослин в літні та осінні місяці попереднього року, а безпосередньо умови березня-квітня поточного року (період бутонізації та квітнення рослин) позначаються також на морфометричних характеристиках пилкових зерен [27]. Слід відмітити, що відхилення від норми середньої місячної температури в період формування генеративних органів форзиції в 2019 р. становило від 5,4°C (липень) до 3,0°C (жовтень), а в 2020 р. від 3,5°C до 4,4°C, відповідно (табл. 1) [49, 50].

Таблиця 1
Відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів у Києві в 2019 р. і 2020 р. (за даними ЦГО)

Table 1
Deviations from the norm of the average monthly air temperature and monthly precipitation in Kyiv in 2019 and 2020 (according to the CGO)

Характеристика	місяці/роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
Середня місячна температура повітря (°C)	норма (1961-1990 pp.)	-5,6	-4,2	0,7	8,7	15,2	18,2	19,3	18,6	13,9	8,1	2,1	-2,3	7,7
	2019 р.	-4,5	0,6	5,1	10,6	17,0	23,6	19,8	20,7	15,9	11,1	4,6	2,7	10,6
	відхилення	1,1	4,8	4,4	1,9	1,8	5,4	0,5	2,1	2,0	3,0	2,5	5,0	2,9
	2020 р.	0,8	2,5	6,5	9,9	12,4	21,7	21,9	21,4	18,4	12,5	3,8	-0,5	10,9
	відхилення	6,4	6,7	5,8	1,2	-2,8	3,5	2,6	2,8	4,5	4,4	1,7	1,8	3,2
Місячна кількість опадів (мм)	норма	48	46	39	49	53	73	88	69	47	35	51	52	650
	2019 р.	45	34	32	48	81	67	73	45	22	13	28	33	521
	відхилення	-3	-12	-7	-1	28	-6	-15	-24	-25	-22	-26	-19	-132
	2020 р.	21	46	15	39	122	49	47	31	31	101	30	48	580
	відхилення	-27	0	-24	-10	69	-24	-41	-38	-16	66	-21	-4	-70

Відхилення від норми місячної кількості опадів становило -132 мм в 2019 р. і -70 мм у 2020 р. У 2019 р. негативний вплив фактору температури повітря на багаторічні рослини був незначним, оскільки відхилення від багаторічної норми становило 1,8-1,9°C на початку вегетації форзиції, а стрімке збільшення (на 5,4°C) середньої місячної температури повітря у червні більше позначилось вже на формуванні наступного покоління генеративних бруньок. Розвиток бутонів і квітування рослин у 2020 р. проходило в дещо складніших умовах – відхилення від норми середньої місячної температури становило 3,2°C з аномальним похолоданням в квітні-травні (період масової бутонізації та квітування форзиції) та значною нестачею вологи в цей період (місячна кількість опадів на 10-24 мм менше норми), при тому, що рослини не отримали достатнього запасу вологи за зимовий період – місячна кількість опадів сягала 24-27 мм взимку (див. табл. 1). Формування генеративних бруньок у 2020 р. відбувалось в умовах ще більшого зростання середньої місячної температури повітря (на 2,6-4,5°C вище норми у липні-жовтні) та тривалого (червень-вересень) значного (максимально на 41 мм менше норми) зменшення місячної кількості опадів. У 2021 р. в період бутонізації та квітування *F. suspensa* відмічалось менше відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів у Києві (табл. 2).

Щодо оцінки якості повітряного середовища користувались результатами багаторічних спостережень гідрометеорологічних організацій ДСНС України [51]. Зокрема відмічається, що на частині території країни та, зокрема, в Києві впродовж останніх років зберігаються підвищені рівні забруднення навколиш-

нього середовища, які зумовлені потраплянням забруднювальних речовин від об'єктів промисловості та енергетики, будівництва і житлово-комунального господарств, транспорту, а також у ході поводження з відходами виробництва та споживання [36]. За основними видами економічної діяльності домінуюча частка викидів забруднюючих речовин в Україні надходить від переробної промисловості (34-37%), постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря (39-40%), значні обсяги викидів надходять також від підприємств добувної та металургійної промисловості (рис. 2) [30]. Хоча за статистичними даними загальною по Україні викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря дещо знизились – з 4521,3 і 4686,6 тис. т у 2015 та 2016 рр. до 4108,3 тис. т у 2019 р., 4017,3 тис. т у 2020 р., переважно через зменшення викидів стаціонарними джерелами забруднення (з 3078,1 тис. т у 2016 р. до 2459,5 тис. т у 2019 р. та 2238,6 тис. т у 2020 р.).

Водночас відмічено зростання обсягів викидів від пересувних джерел забруднення (з 1608,5 тис. т у 2016 р. до 1778,7 тис. т у 2020 р.) (рис. 3) (<http://www.ukrstat.gov.ua>). Динаміка викидів забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря столиці за останні 15-20 років також підтверджує тенденцію до ускладнення ситуації (рис. 4). За наведеними даними у 2012-2013 рр. понад 87,0% обсягу викидів забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря Києва надходило від пересувних джерел [52]. За наступні роки ситуація істотно не змінилась. За останніми відомостями викиди автотранспорту становлять 85% обсягу забруднення повітря в Києві [36, 43].

Таблиця 2

Порівняльне відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів у Києві у 2021 р. (за даними ЦГО)

Table 2

Comparative deviation from the norm of the average monthly air temperature and monthly precipitation in Kyiv in 2021 (according to the CGO)

Характеристика	місяці/роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
Середня місячна температура повітря (°C)	норма (1991-2020 рр.)	-3,2	-2,3	2,5	10,0	15,8	19,5	21,3	20,4	14,9	8,6	2,6	-1,8	9,0
	2021 р.	-2,5	-4,5	2,7	8,0	14,4	21,3	24,6	21,1					
	відхилення	0,7	-2,2	0,2	-2,0	-1,4	1,8	3,3	0,7					
Місячна кількість опадів (мм)	норма	37	39	40	42	65	74	68	56	58	46	46	47	618
	2021 р.	63	62	17	45	74	24	63	65					
	відхилення	26	23	-23	3	9	-50	-5	9					



Рис. 2 – Обсяги викидів забруднюючих речовин в Україні за основними видами економічної діяльності [30]

Fig. 2 – Volumes of pollutant emissions in Ukraine by main types of economic activity [30]

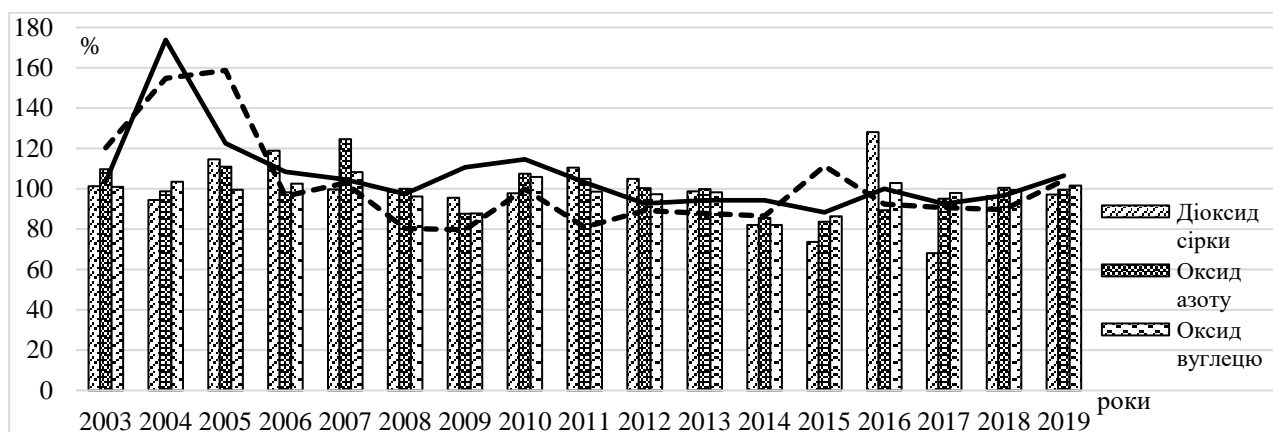


Рис. 3 – Темпи зменшення /збільшення (%) викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря України (за даними Державної служби статистики України)

Fig. 3 - Rate of decrease / increase (%) of pollutant emissions into the atmosphere of Ukraine (according to the State Statistics Service of Ukraine)

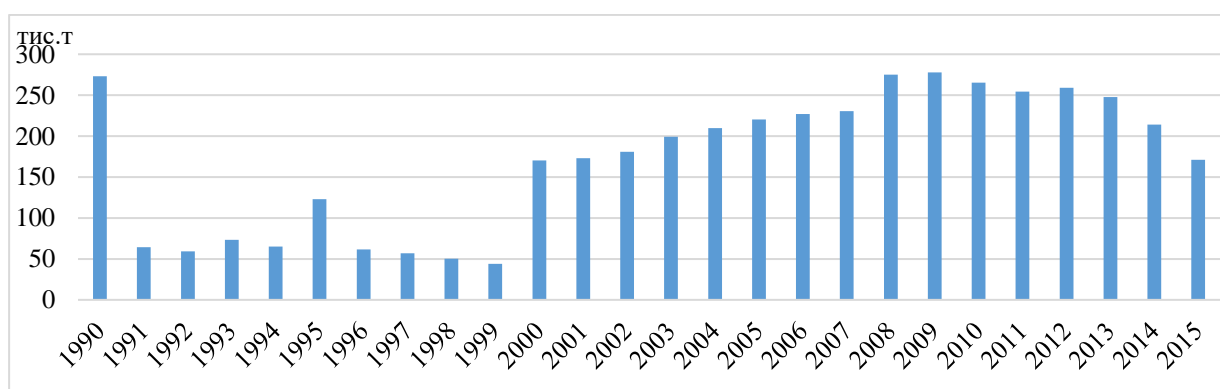


Рис. 4 – Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю у атмосферне повітря Києва (1990–2015 роки) за даними Головного управління статистики м. Києва (<http://kiev.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=1730&lang=1>)

Fig. 4 – Emissions of pollutants and carbon dioxide into the atmosphere of Kyiv (1990-2015) according to the Main Department of Statistics of Kyiv (<http://kiev.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=1730&lang=1>)

За даними Державної служби статистики України, впродовж останніх років по Україні зростають обсяги викидів забруднюючих речовин і парникових газів від пересувних джерел забруднення на одну особу (37,7 кг у 2016 р., до 39,2 та 42,6 кг у 2019 та 2020 роки) та ще стрімкіше по Києву (з

50,8 кг у 2016 р. до 70,3 кг у 2019 р.) (рис. 5) (<http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu>).

За індексом забруднення атмосфери (ІЗА), який враховує ступінь забруднення атмосферного повітря по п'яти пріоритетних забруднювальних домішках, для більшості міст України відмічається погіршення стану повітряного середовища (рис. 6, 7). У 2020 р.

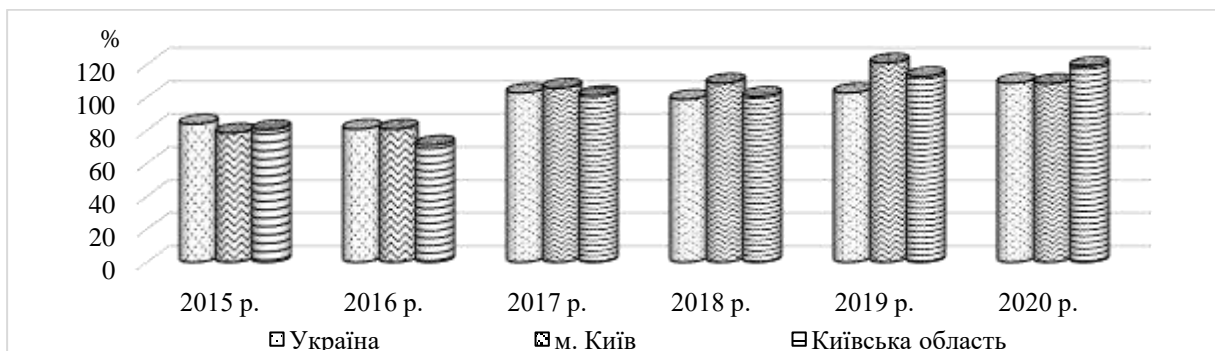


Рис. 5 – Темпи зростання/зниження (%) викидів забруднюючих речовин і парникових газів від пересувних джерел забруднення на одну особу (<http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu>)

Fig. 5 – Indices of increase (decrease) of air emissions and greenhouse gas emissions from mobile transport means per capita, % (<http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu>)

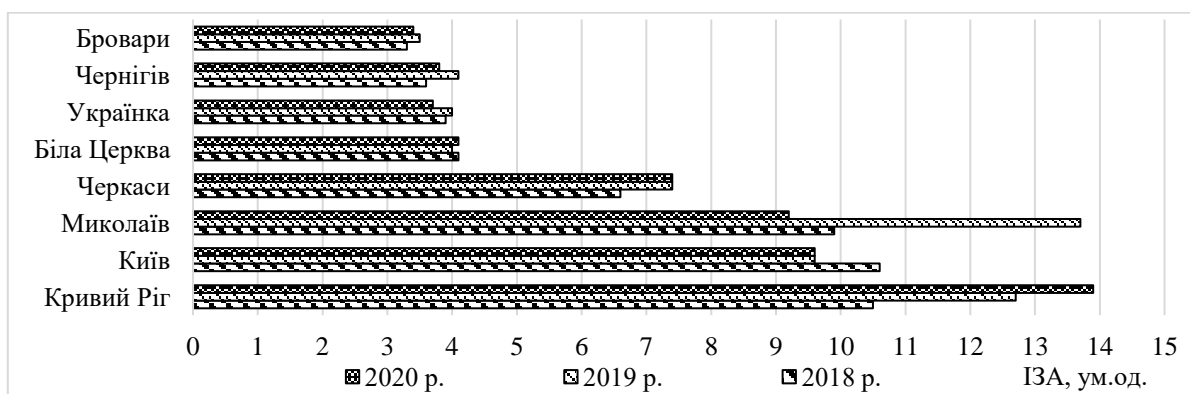


Рис. 6 – Значення індексу забруднення атмосфери (ІЗА) в окремих містах України (за даними ЦГО)

Fig. 6 – The value of the air pollution index (API) in some cities of Ukraine (according to CGO)

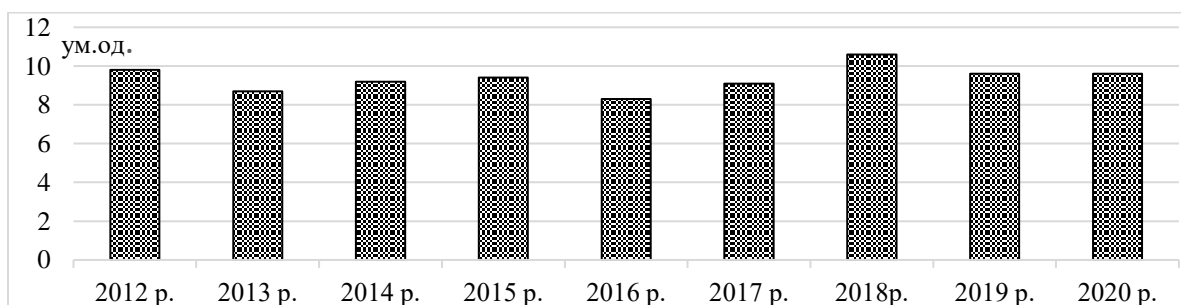


Рис. 7 – Значення індексу забруднення атмосфери (ІЗА) у м. Києві за 2012-2020 рр. (за даними ЦГО)

Fig. 7 - The value of the air pollution index (API) in Kyiv for 2012-2020 (according to CGO)

дуже високий рівень забруднення атмосферного повітря зареєстровано у трьох містах країни: Маріуполь (15,7), Кам'янське (14,8) і Дніпро (14,1). Рівень забруднення повітря, що оцінювався, як високий спостерігався у 9-ти містах: Кривому Розі (13,8), Одесі (12,7), Києві (9,6), Миколаєві (9,2), Херсоні (8,2), Запоріжжі (8,0), Краматорську (7,5), Черкасах (7,3) та Вінниці (7,2). Загальний рівень забруднення атмосферного повітря в Україні за ІЗА становив у 2020 р. 7,0 і оцінювався, як високий. Порівняно з попереднім роком він знизився (було – 8,2 ум.од.) за рахунок деякого зниження середньорічного вмісту формальдегіду, фенолу та фтористого водню [51].

За даними спостережень гідрометеорологічних організацій, на рівень забруднення Києва домінуючий вплив здійснюють такі галузі: автотранспорт, енергетика, хімія, машинобудування, харчова та переробна, будіндустрія [43].

Високий рівень забруднення міста визначають такі речовини: діоксид азоту, формальдегід, діоксид сірки, фенол, оксид азоту, завислі речовини (рис. 8). У 2018 і 2019 рр. спостерігалось перевищення ГДК як за середньорічним так і за максимально разовим вмістом діоксиду сірки, оксиду вуглецю, оксиду азоту, сірководню, фенолу. Тенденція зміни середнього рівня забруднення атмосферного повітря в столиці останні 5 років характеризувалась підвищенням вмісту діоксиду сірки, діоксиду азоту, фенолу, хлористого водню, формальдегіду, стабільністю або зниженням вмісту з усіх інших домішок, що визначались [41, 42]. Дослідження просторово-часових особливостей забруднення атмосферного повітря

столиці, проведене ЦГО, встановило, що в серпні найзабрудненіше повітря, тому що влітку різко зростають концентрації оксиду вуглецю, діоксиду азоту, фенолу, аміаку, формальдегіду та найвища концентрація завислих домішок (пилу) в повітрі. Саме в цей час відбувається формування генеративних бруньок рослин роду *Forsythia* і якість оточуючого середовища позначається на показниках наступного чоловічого гаплоїдного покоління.

Крім того слід відмітити, що спільною причиною збільшення концентрації таких домішок як діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, формальдегід є автотранспорт – збільшення кількості автомобілів, зміна якості нафтопродуктів, які поставляються на АЗС міста, а для останньої домішки – збільшення кількості автотранспорту, що працює на газі [53]. Ці складові і викиди при проведенні асфальтування та ремонтних робіт на багатьох шляхах міста, а також погодні умови (зростання середньої місячної температури повітря), особливо у весняно-літній період, переважно і спричиняють зростання рівня забруднення повітря майже всіма домішками та зростання ІЗА загалом по місту. І саме ця частина основних забруднюючих домішок розташована в приземному шарі повітря міста – найбільш вразливого середовищі для життя людей та росту і розвитку рослин. Щодо просторових особливостей забруднення повітря столиці, то воно найбільше поблизу місць з пожевленим рухом автомобілів, навіть на доволі значних відстанях розташування (ПСЗ №6, 7, 11), але пов'язаних магістральними дорогами [53].

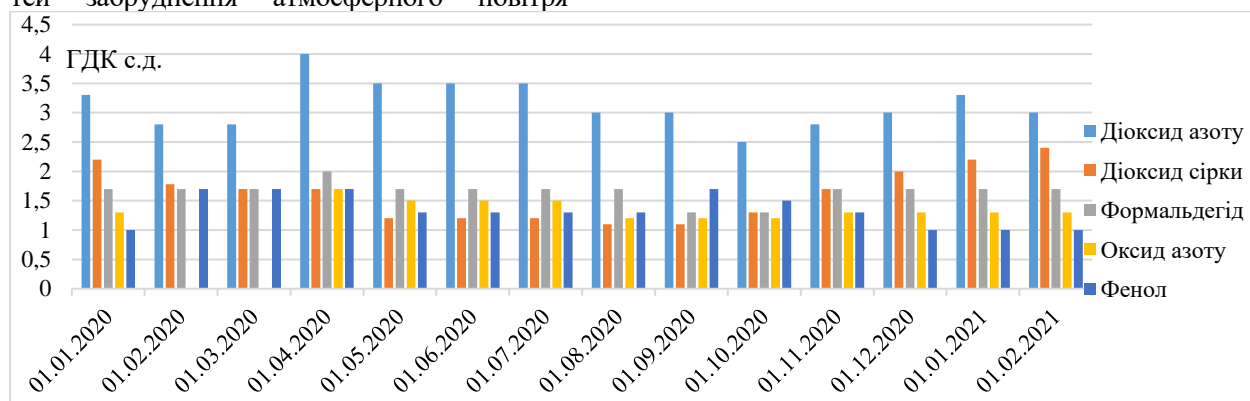


Рис. 8 – Перевищення ГДКс.д. середньомісячних концентрацій п'яти забруднювальних речовин (другого та третього класу небезпеки) по м. Києву (за даними ЦГО)

Fig. 8 – Exceeding the MPCa.d. average monthly concentrations of five pollutants (second and third class of danger) in Kyiv (according to CGO)

Встановлене зростання інтегрального забруднення повітря столиці за останнє десятиліття [53], при цьому стан забруднення та якість атмосферного повітря різних адміністративних районів столиці залежить від розташування підприємств (об'єктів) промисловості, активного будівництва, мережі та завантаженості автомобільних шляхів (рис. 9). Загалом за середньорічними концентраціями забруднювальних домішок впродовж останніх років на 11-ти постах міста рівень забруднення оцінюється, як високий (див. рис. 1, 7) [42, 43, 52, 54].

Місцем з найбільшим забрудненням повітря в столиці є Бессарабська площа (ПСЗ № 7), а високим рівнем забруднення характеризуються: Деміївська площа (ПСЗ №20), проспект Перемоги (район метро Святошин)

(ПСЗ №11), вулиці Олександра Довженка (район метро Шулявка) (ПСЗ №2), Каунаська (ПСЗ №9), Оболонський проспект (ПСЗ №17), площа Перемоги (ПСЗ №6), вулиці Семена Скляренка (ПСЗ №21), Академіка Стражеска (ПСЗ №1), Попудренка (район метро Чернігівська) (ПСЗ №3) та бульвар Лесі Українки (ПСЗ №8). Найменш забрудненим (низький рівень) був район проспекту Науки, 37 (ПСЗ №5) [41-43]. Дослідження стану пилку форзиції нами проводились на територіях із різним рівнем інтегрального забруднення повітря (табл. 3).

Слід відмітити, що умови росту рослин *F. suspensa* на територіях, наближених до розташування, зокрема, ПСЗ №7, 20, 21 значно складніші за рівнем забруднення повітря, ніж, наприклад, на територіях розташування ПСЗ

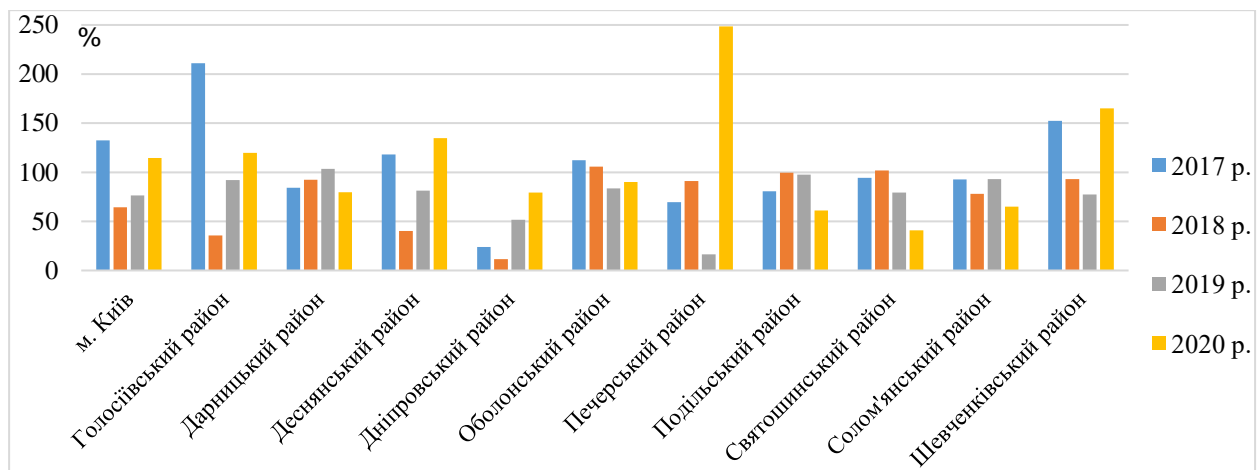


Рис. 9 – Темпи зростання/зниження викидів забруднюючих речовин і парникових газів в атмосферне повітря від стаціонарних джерел викидів по районах Києва (% до попереднього року) (за даними Головного управління статистики у м. Києві)

Fig. 9 – Growth / decrease of emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere from stationary emission sources by districts of Kyiv (% to the previous year) (according to the Main Department of Statistics in Kyiv)

№3. За роками спостережень дуже високий ІЗА (від 14.0 ум. од.) був впродовж вегетації рослин в 2018 р. майже на всіх територіях міста. Квітування форзиції в 2019 р. (квітень-травень) відбувалось в більш сприятливих умовах атмосферного повітря в Деснянському, Шевченківському та Голосіївському районах (на ПСЗ № 2, 3, 5, 6), ніж на інших територіях (високий ІЗА на ПСЗ № 7, 17, 20, 21). Умови середовища вирощування рослин позначились на фертильності пилку *F. suspensa* в 2019 р. – найбільш якісний пилок сформувався на дослідних ділянках 6, 9-11, 13, 14 та території парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення «Феофанія»

(ППСПМ «Феофанія») (контроль, ділянки 1-2) (рис. 10). Високий життєвий потенціал пилку *F. suspensa* цього року відмічався і у фазу квітування рослин на територіях (ділянки № 1, 6, 13, 14) з меншим рівнем забруднення повітря – ПСЗ №3, 5, 6.

Формування генеративних бруньок форзиції влітку 2019 р. на більшій частині дослідженої території міста відбувалось в умовах меншого забруднення повітря, але ІЗА до завершення вегетації рослин залишався високим, особливо для ПСЗ №7, 11, 17, 20, 21. В першій декаді 2020 р. і навесні стан атмосферного повітря в цих районах міста (за винятком ПСЗ №11) також був переважно гіршим, ніж в

Таблиця 3
Індекс забруднення повітря на досліджених територіях м. Києва (2018-2020 рр.) (за даними ЦГО)

Table 3
Index of air pollution in the studied areas of Kyiv (2018-2020) (according to CSO)

ПСЗ	рік	місяць											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	2018	7,89	8,27	8,88	11,57	13,68	16,37	16,87	19,59	15,31	9,37	8,16	7,51
	2019	7,79	6,77	6,87	7,96	8,76	11,55	8,58	9,60	11,60	11,01	10,66	10,83
	2020	10,78	9,78	9,73	12,72	7,49	8,85	8,75	8,91	8,59	7,59	9,00	9,39
3	2018	6,37	6,11	7,11	9,49	9,82	10,92	12,05	13,58	11,37	8,85	8,13	8,60
	2019	8,93	9,74	7,57	6,03	7,25	10,18	7,04	7,96	7,80	7,37	5,95	6,43
	2020	7,10	6,47	6,61	9,37	4,60	7,23	7,27	5,99	5,79	5,24	6,21	7,11
5	2018	2,11	2,05	2,15	3,39	3,36	4,19	4,34	4,90	3,34	1,75	2,01	2,16
	2019	1,93	1,98	1,94	2,38	2,61	3,08	2,26	2,48	2,37	2,03	1,81	2,09
	2020	2,09	1,77	1,83	2,31	1,77	2,26	2,15	2,04	1,75	1,89	2,05	2,09
6	2018	7,51	7,28	8,36	11,02	12,94	15,49	15,58	18,98	13,41	10,95	9,49	9,75
	2019	9,20	8,60	8,42	9,96	8,04	10,85	8,56	9,28	10,08	8,91	8,24	8,33
	2020	4,13	8,16	8,75	-	-	9,56	9,56	9,23	7,97	7,32	8,79	9,70
7	2018	9,77	9,82	10,44	13,52	17,18	18,8	19,33	22,16	16,53	12,5	10,30	11,08
	2019	10,83	8,31	7,87	8,57	9,06	12,26	9,17	10,43	11,18	10,44	10,35	10,53
	2020	10,69	9,58	9,55	11,72	9,22	11,10	11,17	9,98	8,95	6,00	10,54	10,42
11	2018	8,39	8,85	10,32	11,58	13,69	15,36	16,43	19,89	14,85	10,81	9,29	10,19
	2019	10,44	9,87	9,75	9,57	10,18	12,18	9,33	10,00	11,44	10,58	10,21	-
	2020	-	8,60	9,38	13,56	8,72	9,83	9,78	9,73	8,64	8,22	8,70	10,26
17	2018	8,24	8,66	8,87	11,50	13,03	14,85	15,79	17,95	14,02	10,80	8,50	8,94
	2019	8,92	8,31	7,14	8,02	9,19	13,26	8,93	9,72	11,81	11,94	11,21	11,52
	2020	11,28	9,26	8,93	11,84	8,18	9,97	9,48	8,71	8,58	9,06	9,35	9,18
20	2018	9,16	9,59	9,88	12,96	15,09	17,38	18,43	22,03	16,34	13,08	10,20	10,83
	2019	9,93	7,98	8,09	9,96	10,50	13,47	9,55	10,49	10,51	10,21	9,73	9,40
	2020	12,03	10,44	10,17	14,82	10,49	11,87	11,39	10,14	9,81	9,20	10,54	10,06
21	2018	8,15	8,23	9,29	12,41	13,33	15,37	15,28	16,5	12,49	10,48	9,75	10,94
	2019	9,86	13,28	10,65	9,12	10,67	13,5	9,18	10,08	12,19	12,15	10,67	11,79
	2020	11,19	10,09	9,21	13,27	8,64	9,76	11,06	9,53	9,59	10,59	10,88	-

(примітка : «-» – відсутні дані)
(note: "-" – no data)

попередній рік. Слід відмітити, що на умови оточуючого середовища столиці, безперечно, мали вплив особливості встановлення карантину та запровадження обмежувальних протиепідемічних заходів. Так, у травні-червні майже на всіх дослідних ПСЗ відмічено істотне зниження ІЗА, за винятком територій (наприклад, ПСЗ № 11, 21, 20), на яких розташовані міські магістралі з інтенсивними автотранспортними потоками (проспект Перемоги, Одеська площа, проспект Академіка Палладіна та магістралі в напрямку Пущі Водиці).

Але, на нашу думку, найбільш істотно на якісних показниках пилку *F. suspensa* в 2020 р. позначились аномальні погодні умови в період бутонізації та квітання рослин (див. табл. 1). При цьому відмічено, що важливою складовою формування генеративних органів форзиції звисаючої є мікрокліматичні умови

території. Так, рослини з таких великих масивів озеленення як ботанічний сад НУБіП України (ділянка 5), Сирецький дендропарк (ділянка 9), парк «Кіото» (ділянка 15) в період масового квітання ці рослини мали щонайменше до 35% (ділянка 9) та 45-55% (ділянки 5, 15) фертильного пилку. Тоді як на територіях із вищим рівнем антропогенного навантаження, як наприклад – Маріїнський парк (ділянка 11) в форзиції сформувалось лише 20-30% фертильного пилку.

Тобто, навіть за несприятливих погодних умов формується більше якісного пилку у цього виду на ділянках з менш активним впливом основних забруднюючих домішок в приземному шарі повітря [27]. Статистичну значимість фактору «точка збору» (що відображає рівень антропогенного навантаження) для якості пилку відмічено і для інших рослин [55].

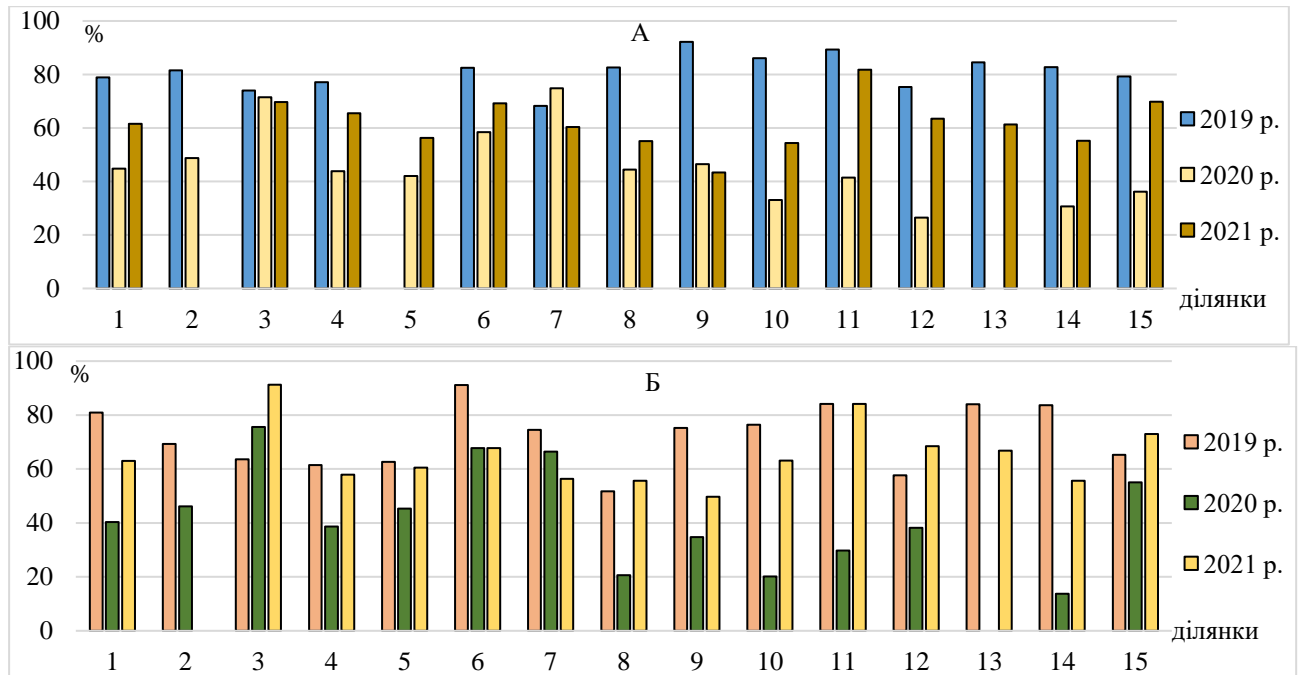


Рис. 10 – Фертильність (%) пилку *Forsythia suspensa* в дозрілому бутоні (фаза бутонізації – А) та в період масового квітування рослин (Б) на моніторингових ділянках Києва (нумерація ділянок наведена вище)

Fig. 10 – Fertility (%) of *Forsythia suspensa* pollen in the mature bud (budding phase - A) and during the period of mass flowering of plants (B) in the monitoring plots of Kyiv (plot numbering is given above)

Слід відмітити, що повторне запровадження обмежувальних протиепідемічних заходів восени 2020 р. зумовило зниження рівня комплексного забруднення атмосферного повітря столиці до найменших значень за досліджений період, хоча для більшості ПСЗ ІЗА залишалась високою. Лише на ділянках озеленення, які за територіальним розташуванням наближені до ПСЗ №3 і 5, формування генеративних бруньок *F. suspensa* відбувалось в умовах низького рівня забруднення повітря. Як показали подальші результати, на всіх дослідних ділянках міста потенціал сформованих цього року генеративних органів форзиції звисаючої був значно вищим.

Через зменшене антропогенне і техногенне навантаження на атмосферне повітря столиці з введенням обмежувальних протиепідемічних заходів навесні (в квітні-травні) 2021 р., порівняно з цим періодом минулого року (за даними ЦГО), було відмічене зниження загального рівня забруднення повітря, в основному, особливо за рахунок вмісту діоксиду сірки, оксиду і діоксиду азоту та деякого зниження вмісту фенолу, формальдегіду, завислих речовин. Зазначене певне покращення екологічної ситуації столиці в районах дослідження, а також більш сприятливі погодні

умови в період бутонізації і квітування *F. suspensa* в 2021 р., сприяли істотному підвищенню потенційної життєздатності пилку майже на всіх ділянках. Особливо це простежувалось у рослин, що ростуть на територіях з інтенсивним забрудненням повітря в приземному шарі. Так, порівняно з 2020 р. приблизно на 50% і 60-65% (відповідно – в фазу завершення бутонізації і в фазу масового квітування) зросла фертильність пилку форзиції на моніторингових ділянках № 8, 10, 11 (територія озеленення поблизу станції метро Шулявка, Парк відпочинку по вул. Олени Теліги, Маріїнський парк). На 75% і більше якісного пилку було в квітках форзиції (і на 44% – в дозрілих бутонах) у парку «Перемога» (ділянка №14). На територіях з більш сприятливими мікрокліматичними умовами (великі масиви озеленення міста, наприклад), де були менші втрати якісних показників пилку в критичних умовах минулого року, частка фертильних зерен зросла на 20-30% (ділянки 1, 5, 15), порівняно з 2020 роком. Водночас, в умовах найвищого (з досліджених ПСЗ) рівня забруднення повітря (ІЗА дуже високий або наближений до цього) в період максимальної декоративності *F. suspensa* (ІЗА 13,56 на ПСЗ №11) якість

пилку знизилась (ділянка 7). Тобто підтверджується, що взаємодія факторів «точка збору +умови року» є статистично значимою в мінімальності ознак якості пилку [55].

Більш сприятливі погодні умови середовища вирощування форзиції звисаючої в 2021 р. позитивно позначились і на параметрах сформованих пилкових зерен (табл. 4, рис. 11). Особливо чутливим виявилось чоловіче гаплоїдне покоління рослин цього виду на ділянках з більш активним впливом основних забруднюючих домішок в приземному шарі повітря. Розмір негідратованих пилкових зерен за довжиною полярної осі (P) на таких територіях (ПСЗ №7 і 20, наприклад) збільшився на 20-24% у фазу квітання рослин та 19% у зрілому бутоні (ділянки № 5 і 11, відповідно). На території озеленення автостанції «Дарниця» (ділянка 13) та на ділянках з активним автомобільним рухом (навіть в період карантинних обмежень) (як, наприклад, проспект Визволителів (діл. 14), в фазу квітання пилкові зерна мали на 26-30% більшу довжину. У рослин з контрольної території (ділянка 1) та великих за площею паркових насаджень різних районів міста (діл. 3, 9, 12) відмічено збільшення довжини полярної осі на 7-12%. За екваторіальним діаметром (E) в цьому році сформований пилкок був на 11-20% крупнішим у фазу квітання рослин на ділянках 5, 11, 14, більш ніж на 24% на ділянці 13. Дозрілий пилкок в закритому бутоні (до більш активного впливу комплексу аерогенних чинників) в 2021 р. також був крупніший, порівняно з 2020 р.

Загалом, за більш сприятливих умов розвитку генеративних органів у 2021 р. сформувалися більш видовжені пилкові зерна, що відповідає опису сухого пилку представників цього роду [27]. На підтвердження – розрахований індекс форми показав, що дозрілі пилкові зерна в закритому бутоні є більш видовженої форми, а зменшення їх видовженості відбувається з розкриттям квітки, особливо за підвищеного впливу комплексу екзогенних факторів (діл. 5, 8, 10, наприклад). Більший вплив позаоптимальних чинників середовища вирощування рослин в 2020 р. виражений істотною зміною форми зерен в популяціях пилку на більшості досліджених ділянок міста. Згідно існуючої класифікації, цього року пилкові зерна як у дозрілому бутоні (ділянки 4, 8, 11-15), так і у відкритій квітці (ділянки 3, 5, 8, 10, 11, 13) мали не властиву для цього виду майже продовгувату форму (*subprolate*), а за більш сприятливих умов вони набувають

типової продовгуватої (*prolate*) форми [56]. Найбільша зміна форми пилкових зерен (зі зменшенням ІФ впродовж обох років дослідження) відмічена у рослин на ділянках з посиленням антропогенним впливом як, наприклад, ділянка 11.

Тобто, комплекс факторів (зокрема, погодні умови і рівень вмісту поллютантів в атмосфері), які впливають на стан та якість повітря столиці позначаються на якісних та морфометричних показниках чоловічого гаплоїдного покоління (пилкові зерна) *F. suspense*.

Раніше встановлено, що пилкок рослин має високу стійкість до змін мікроелементного складу ґрунтів і підтримує генетично детерміноване співвідношення елементів, яке може порушуватись лише за істотних змін мікроелементного балансу ґрунту, але при цьому він не захищений від впливу поллютантів та інших факторів повітряного середовища [23]. Крім того відзначалось, що формування запасу поживних речовин в пилку на 49,6% залежать від місця вирощування рослин, на 14,2% – від кліматичних умов і взаємодія чинників на 18,8% позначається на його якості [55]. Узгоджена реакція організму на погіршення стану оточуючого середовища має і фенотипічні прояви, зокрема відмічено, що дегенерований (дрібний) та гіпертрофований (великий) пилкок також свідчить про вплив позаоптимальних чинників довкілля на гаметогенез [57]. Обидві форми відхилені від норми переважно стосуються абортивного пилку, паліноморфологічна оцінка якого показала, що через нерозходження тетрад мікроспор при мікроспорогенезі відбувається формування гіпертрофованих пилкових зерен. Утворення дегенерованого пилку відбувається на ранніх стадіях мікроспорогенезу в результаті елімінації мікроспор і гамет, які несуть різні пошкодження [25]. Відомо, що аномальні порушення форми пилку можуть бути й свідченням генетичних змін, пов'язаних з генотоксичною дією аерополлютантів на процеси мікроспорогенезу [57].

Нами виявлено значно менші об'єми продукування аномального пилку за більш сприятливих кліматичних умов 2021 р. на всіх досліджених територіях вирощування *F. suspense*. Якщо в 2020 р. в дозрілому бутоні частка дегенерованих пилкових зерен (за довжиною та шириною) досягала 30-35% (ділянки 4, 5, 9, наприклад), а в фазу масового квітання рослин ще більше (ділянка 15), то в 2021 р. в популяції пилку було до 20% дрібних зерен лише на кількох ділянках (табл. 5).

Таблиця 4.

Параметри пилоквих зерен *F. suspensa* в 2020 – 2021 рр.

Table 4.

Parameters of pollen grains of *F. suspensa* in 2020 – 2021

№ ділянки	Фаза цвітіння рослин				Фаза бутонізації рослин (завершення)			
	2020 р.		2021 р.		2020 р.		2021 р.	
	Середні розміри (мкм) $\frac{P}{E}$	ІФ	Середні розміри (мкм) $\frac{P}{E}$	ІФ	Середні розміри (мкм) $\frac{P}{E}$	ІФ	Середні розміри (мкм) $\frac{P}{E}$	ІФ
1	$\frac{28,9 \pm 6,9}{19,5 \pm 4,8}$	1,48	$\frac{33,0 \pm 2,4}{23,6 \pm 3,0}$	1,40	$\frac{25,3 \pm 4,2}{18,8 \pm 3,3}$	1,35	$\frac{34,4 \pm 3,4}{23,1 \pm 2,8}$	1,49
2	$\frac{28,4 \pm 5,7}{19,1 \pm 3,8}$	1,49	-	-	$\frac{29,5 \pm 5,1}{19,9 \pm 3,6}$	1,48	-	-
3	$\frac{29,5 \pm 2,8}{22,2 \pm 2,2}$	1,33	$\frac{30,7 \pm 2,4}{20,5 \pm 2,1}$	1,43	$\frac{32,05 \pm 3,1}{21,7 \pm 2,1}$	1,48	$\frac{34,1 \pm 2,2}{22,6 \pm 1,2}$	1,51
4	$\frac{25,6 \pm 6,4}{18,8 \pm 4,7}$	1,36	$\frac{33,6 \pm 3,5}{22,6 \pm 3,3}$	1,50	$\frac{29,4 \pm 6,1}{23,7 \pm 6,0}$	1,24	$\frac{32,0 \pm 2,9}{19,8 \pm 2,1}$	1,62
5	$\frac{26,8 \pm 4,6}{20,1 \pm 5,1}$	1,33	$\frac{31,9 \pm 4,7}{22,3 \pm 1,6}$	1,49	$\frac{27,8 \pm 5,6}{19,9 \pm 4,5}$	1,40	$\frac{34,3 \pm 4,7}{22,1 \pm 30,0}$	1,55
6	$\frac{31,0 \pm 4,2}{22,2 \pm 3,8}$	1,40	$\frac{26,8 \pm 3,2}{18,9 \pm 2,4}$	1,42	$\frac{30,0 \pm 6,7}{21,7 \pm 6,2}$	1,38	$\frac{29,8 \pm 4,4}{19,5 \pm 2,8}$	1,53
7	$\frac{27,1 \pm 3,8}{19,2 \pm 3,4}$	1,41	$\frac{31,7 \pm 3,4}{20,3 \pm 2,3}$	1,56	$\frac{29,6 \pm 5,3}{21,2 \pm 3,9}$	1,40	$\frac{27,6 \pm 2,9}{18,0 \pm 2,2}$	1,53
8	$\frac{23,3 \pm 4,3}{17,6 \pm 3,2}$	1,32	$\frac{29,8 \pm 2,7}{19,2 \pm 2,1}$	1,55	$\frac{22,4 \pm 3,4}{16,8 \pm 2,7}$	1,33	$\frac{26,5 \pm 3,2}{18,8 \pm 3,1}$	1,41
9	$\frac{23,7 \pm 4,05}{15,7 \pm 3,3}$	1,51	$\frac{26,5 \pm 2,8}{17,1 \pm 2,8}$	1,55	$\frac{26,02 \pm 4,5}{17,6 \pm 3,9}$	1,48	$\frac{28,1 \pm 3,6}{17,3 \pm 2,9}$	1,62
10	$\frac{23,6 \pm 4,6}{17,7 \pm 3,4}$	1,33	$\frac{30,7 \pm 2,8}{20,3 \pm 2,6}$	1,51	$\frac{26,05 \pm 3,9}{19,1 \pm 3,4}$	1,36	$\frac{33,1 \pm 2,7}{20,8 \pm 2,2}$	1,59
11	$\frac{23,2 \pm 3,4}{17,8 \pm 3,4}$	1,30	$\frac{30,5 \pm 2,4}{22,4 \pm 1,7}$	1,36	$\frac{24,2 \pm 4,1}{18,6 \pm 3,9}$	1,30	$\frac{29,7 \pm 2,2}{21,9 \pm 1,8}$	1,36
12	$\frac{27,6 \pm 6,7}{20,0 \pm 3,8}$	1,38	$\frac{31,4 \pm 2,7}{20,5 \pm 1,9}$	1,53	$\frac{26,2 \pm 4,3}{19,9 \pm 3,7}$	1,32	$\frac{31,5 \pm 3,4}{19,4 \pm 2,6}$	1,62
13	$\frac{21,5 \pm 3,6}{16,4 \pm 3,0}$	1,31	$\frac{30,8 \pm 2,5}{21,6 \pm 2,3}$	1,43	$\frac{24,8 \pm 3,7}{18,9 \pm 3,1}$	1,31	$\frac{32,9 \pm 3,1}{20,6 \pm 2,3}$	1,60
14	$\frac{23,05 \pm 3,9}{16,9 \pm 2,7}$	1,36	$\frac{31,0 \pm 3,7}{20,4 \pm 3,3}$	1,52	$\frac{24,5 \pm 4,0}{19,3 \pm 3,3}$	1,27	$\frac{31,1 \pm 3,5}{20,6 \pm 3,2}$	1,51
15	$\frac{30,1 \pm 6,3}{22,3 \pm 5,8}$	1,35	$\frac{28,7 \pm 2,1}{19,8 \pm 1,5}$	1,45	$\frac{30,7 \pm 6,0}{23,2 \pm 4,7}$	1,32	$\frac{31,4 \pm 3,2}{20,0 \pm 2,1}$	1,57

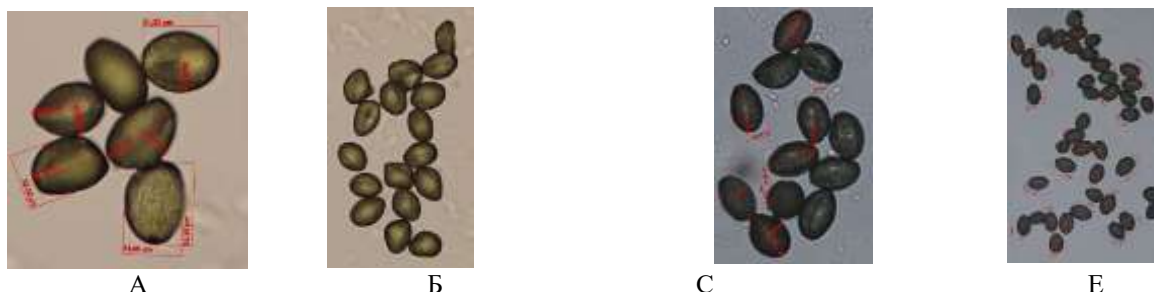


Рис. 11 – Загальний вигляд та параметри пилоквих зерен форзиції звисаючої у фазу цвітіння рослин на ділянці №3 (фото А, Б) у 2020 р. і в 2021 р. (фото С, Е)

Fig. 11 – General appearance and parameters of pollen grains of forsythia hanging in the flowering phase of plants in the area №3 (photo A, B) in 2020 and in 2021 (photo C, E)

Таблиця 5.
Частка (%) аномальних зерен за довжиною полярної осі (P) та екваторіальним діаметром (E) в популяції пилку *F. suspensa*, 2021-2020 рр.

Table 5.
Proportion (%) of anomalous grains along the length of the polar axis (P) and equatorial diameter (E) in the pollen population *F. suspense* in 2021-2020

№ ділянки	Фаза квітучання рослин								Фаза бутонізації рослин							
	2020 р.				2021 р.				2020 р.				2021 р.			
	P		E		P		E		P		E		P		E	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	35,6	36,6	30,6	24,6	0,33	1,6	13,3	8,0	13,3	12,0	15,3	12,3	9,6	5,3	12,6	5,6
3	8,06	1,9	4,5	3,9	3,6	-	2,6	0,33	7,2	2,9	3,4	5,9	3,0	-	0,66	0,66
4	32,5	24,3	33,1	22,0	3,6	2,0	9,3	3,3	23,3	24,7	34,3	29,9	6,4	2,7	8,2	7,7
5	20,9	23,8	33,3	34,9	11,6	7,3	18,0	14,0	24,2	21,6	27,7	26,0	20,4	15,8	18,8	9,1
6	14,0	8,3	20,0	15,0	1,3	12,0	3,0	-	26,2	24,6	35,7	32,5	22,0	22,3	18,6	20,0
7	16,2	8,0	23,6	20,06	9,0	8,6	9,6	11,0	19,7	20,2	21,0	17,1	8,0	11,0	11,3	17,3
8	18,8	22,2	21,6	17,8	8,6	2,0	10,6	6,3	14,2	16,3	17,0	17,0	5,7	11,5	19,2	21,2
9	25,3	22,9	23,3	19,06	0,33	10,0	19,6	21,6	15,3	18,1	29,6	27,6	13,0	14,0	19,3	22,3
10	20,6	19,1	22,0	21,05	4,3	2,6	14,6	11,3	11,1	18,9	19,6	25,5	6,2	2,0	10,0	7,6
11	16,1	17,8	22,1	23,8	3,3	2,0	3,6	-	19,5	20,8	22,8	20,1	0,33	1,6	7,6	-
12	30,7	25,0	21,2	30,7	6,3	1,6	7,6	4,3	15,5	10,3	24,1	21,5	13,0	6,1	15,2	13,4
13	21,1	21,1	21,1	19,4	4,0	1,3	11,6	7,0	11,6	13,2	17,4	17,4	8,6	3,3	12,0	5,3
14	18,7	16,6	20,0	17,4	4,2	17,4	20,3	26,9	14,7	14,0	20,0	22,6	7,3	5,5	14,5	16,4
15	28,8	33,3	37,9	36,9	17,6	1,3	4,3	-	25,6	24,8	18,4	22,4	11,3	4,0	11,6	0,66

Примітка: P- довжина полярної осі; E - екваторіальний діаметр
Note: P is the length of the polar axis; E is the equatorial diameter

Дещо менше (до 25%) в популяції дослідженого пилку в фазу квітучання рослин в 2020 р. виявлено гіпертрофованих зерен, а в наступному році їх було ще менше. При цьому слід відмітити, що відхилення від норми частіше позначались на розмірах полярної осі пилку. Так, вже у 2021 р. в фазу бутонізації рослин в популяції сформованого пилку було в 2-3 рази менше дрібних зерен, а під час квітучання – у 5-10 разів. Частка гіпертрофованих зерен за цим параметром цього року також зменшилась як у закритому бутоні (у 9-13 разів – на ділянках № 2, 6, 8, та 9), так і в період квітучання рослин (у 7-25 разів, на вказаних ділянках відповідно). При цьому, на ділянках з менш активним впливом основних забруднюючих домішок в приземному шарі повітря (ПСЗ №5 – ділянка №1 наприклад) за більш сприятливих погодних умов 2021р. продукування пилку з різними порушеннями було мінімальним. За розміром екваторіального діаметру мінливість здебільшого виражалась за обсягами гіпертрофованих зерен.

Водночас, чітко простежується продукування значної частки аномального пилку у

рослин, що зростають на вулицях з інтенсивним рухом автотранспорту (ділянки 5-7, 9, 14, наприклад). За меншого впливу позаоптимальних чинників довкілля на репродуктивні органи форзиції звисаючої в 2021 р. частка аномальних зерен в популяції пилку і на завершення фази бутонізації, і під час масового квітучання рослин на окремих ділянках міста з розвинутою мережею автомобільних шляхів (Одеська площа – ділянка 4, Маріїнський парк – ділянка 11, автостанція «Дарниця» – ділянка 13, наприклад) відповідала рівню спонтанно індукованих значень.

На підтвердження зроблених іншими дослідниками [25] висновків, це можна також пояснити особливостями інженерно-архітектурного планування території – або значні відкриті простори території та віддаленість будівель (як на ділянці 4) або одностороння забудова і деревні насадження з виходом на набережну (ділянка 11) забезпечують хорошу аерацію, зменшуючи гаметоцидну дію полютантів. Це додатково підтвердило високий вплив взаємодії факторів «точка збору +умови року» [55] на формування пилку цього виду, особливо відмічена його

висока чутливість до токсичної дії викидів автотранспорту в приземному шарі атмосферного повітря.

Отже, дослідження стану спадкового апарату форзиції звисаючої в паркових екосистемах різних районів м. Києва підтвердило її високу чутливість до комплексу екзогенних чинників середовища вирощування та доцільність використання рослин цього виду для оцінки стану об'єктів довкілля за токсико-мутагенним фоном [28]. Підтверджено, що стан чоловічого гаплоїдного покоління нелінійно залежить від величини комплексного індексу забруднення

атмосфери (КІЗА) тому успішно доповнює систему моніторингу атмосферного повітря в дослідженому регіоні і в доповненні з основними показниками здоров'я віддзеркалює вплив забруднення атмосфери на довкілля [19]. Оскільки вже встановлено, що більшість забруднювачів (53,3 %) проникає в організм інгаляційним шляхом через органи дихання, оскільки за добу в легені потрапляє більш 10 тис. дм^3 (л) повітря, а в шлунок – 1,5 дм^3 рідини, тому організм людини більш чутливий до токсичних речовин, які надходять у нього через легені, тобто з повітрям, що вдихується [19, 58].

Висновки

Результати започаткованого моніторингу якості атмосферного повітря в умовах Київської агломерації з використанням *F. suspensa* підтвердили чутливість пилку цього виду до впливу позаоптимальних чинників довкілля. Відмічена вища стійкість життєвих показників пилку цього виду до несприятливих погодних умов при вирощуванні рослин на ділянках з менши активним впливом забруднюючих речовин в приземному шарі повітря. Підтверджено, що взаємодія факторів «точка збору+умови року» є статистично значимою в мінливості ознак якості пилку, а також позначається на розмірах пилкових зерен (за індексом форми). Встановлено, що зміна форми пилкових зерен частіше відбувається через мінливість показника «довжина полярної осі». Також простежується істотне зменшення частки аномальних зерен в популяціях пилку *F. suspensa* за меншого впливу позаопти-

мальних чинників середовища вирощування рослин. Підтверджена перспективність використання пилку *F. suspensa* для визначення потенційної мутагенності повітряного басейну в умовах агломерації Києва.

Доповнення результатів біоіндикаційних досліджень з використанням, зокрема, пилку *F. suspensa*, відомостями про стан здоров'я населення та даними щодо забруднення атмосферного повітря підвищує ефективність індикації стану навколишнього середовища Києва. Відмічено, що запровадження в Києві обмежувальних протиепідемічних заходів у 2020 і 2021 рр. зумовило певне покращення екологічної ситуації (за наведеними даними ЦГО), зокрема, виявлене зменшення рівня інтегрального забруднення повітря на більшості досліджених ділянок столиці, особливо за відсутності впливу розвинутої мережі автомобільних шляхів.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису. Автори дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Горова А. І., Бучавий Ю. В., Колесник В. Є. Оцінка інтегральної небезпеки впливу забруднення атмосферного повітря викидами промислових підприємств міста на здоров'я населення. *Гігієна населених місць*. 2017. Вип. 67. С. 15–21. URL: <https://doi.org/10.32402/hygiene2017.67.015>
2. Дзюба О. Ф., Борейша І. К., Яковлева Т. Л., Шейнерман Н. А., Надпорожня М. А. Качество пыльцы высших растений и некоторых клеточных структур животных организмов в условиях промышленной площадки ЛАЭС и города Сосновый Бор. *Пыльца как индикатор состояния окружающей среды и палеоэкологические реконструкции*. СПб.: ВНИГРИ. 2001. С. 69–78.
3. Brunekreef B., Holgate S. T. Air pollution and health. *The Lancet*. 2002. Vol. 360, No. 9341. P. 1233–1242. DOI: <https://doi.org/10.17223/25421379/13/22>
4. Nenasheva G. I., Maksimova N. B., Morkovkin G. G., Ivanova M. S. Research of the *Pinus sylvestris* pollen as a method of assessing the degree of air pollution. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. 7(4). P. 174–178. DOI: https://doi.org/10.15421/2017_102

5. Sénéchal H., Visez N., Charpin D., Shahali Y., Peltre G., Biolley J.-P., Lhuissier F., Couderc R., Yamada O., Malrat-Domenge A., Pham-Thi N., Poncet P., Sutra J.-P. A Review of the Effects of Major Atmospheric Pollutants on Pollen Grains, Pollen Content, and Allergenicity. *The Scientific World Journal*. Vol. 2015. 29 p. Article ID 940243, URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/940243>
6. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2019. № 16, Ст.70.
7. Національний план дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2025 року: розпорядження Каб. Міністрів України від 21.04.2021 р. № 443 р. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/kr210443?an=24> (дата звернення: 05.06.2021).
8. Атмосферне повітря. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році. Київ: Мін. захисту довкілля та природних ресурсів України. 2018. С. 20–38.
9. Статистичний щорічник України за 2007 рік. Державний комітет статистики України. за ред. О. Г. Осауленка. Київ: 2008. 582 с.
10. Статистичний щорічник України за 2018 рік. Державний комітет статистики України / за ред. І. Є. Вернера. Київ: 2019. 482 с.
11. Качество атмосферного воздуха и здоровье. *Информационный бюллетень ВОЗ*. 2 мая 2018 г. URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата звернення 14.07.2021).
12. Гуцул І. В. Досвід моніторингу стану забруднення атмосферного повітря у Рівненській області у 2007–2017 роках. *Environment & Health*. 2019. №4. С. 57–60. URL: <https://doi.org/10.32402/dovkil2019.04.057>
13. Савенець М. В., Дворецька І. В., Надточій Л. М. Сучасний стан забруднення атмосферного повітря в Україні за даними супутника Sentinel-5P. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2019. Вип. 51. С. 221–233. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhG_2019_51_18.
14. Савенець М. В., Осадчий В. І., Орещенко А. В. Моніторинг якості атмосферного повітря над територією України з деталізацією для міст за даними супутника Sentinel-5P. *Вісник НАН України*. 2021. №3. С. 50–58. URL: <https://doi.org/10.15407/visn2021.03.050>
15. Горова А. І., Бучавий Ю. В., Колесник В. Є. Удосконалення системи інформування про ризики для здоров'я населення через забруднення атмосферного повітря. *Медична інформатика та інженерія*. 2016. №2. С. 21–25. URL: <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2016.2.6478>
16. Жуков М. Н., Стахів І. Р., Клипа А. В. Моделювання розподілів вмісту забруднювальних речовин в атмосфері мегаполісів (на прикладі м. Києва). *Геоінформатика*. 2013. №2 (46). С. 61–68. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2013_2_10
17. Варламов Е. Н., Палагута О. А. Система экологических индикаторных показателей для оценки состояния окружающей природной среды в Украине. *Научные ведомости БелГУ*. Серия естественные науки. 2013. №7 (160). Вып. 24. С.188–192. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/26296>
18. Герещун Г. М., Масікевич Ю. Г., Гольонко Р. А. Аналіз забруднення атмосферних опадів домішками на вулицях міста. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29. №1. С. 66–69. URL: <https://doi.org/10.15421/40290114>
19. Бучавий Ю. В. Прогнозування ризиків для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами підприємств Дніпропетровської області: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 14.03.11 / Нац. мед. акад. післядипломної освіти ім. П. Л. Шупика. Київ, 2017. 24 с.
20. Методичні рекомендації «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів». Упоряд.: А. І. Горова, С. А. Риженко, Т. В. Скворцова, І. І. Клімкіна, А. В. Павличенко, І. Г. Миронова. Дніпропетровськ: 2007. 25 с.
21. Бучавий Ю. В., Горова А. І. Удосконалення системи прогнозування ризиків здоров'я населення від техногенних джерел забруднення атмосфери. *Здоровий спосіб життя: проблеми та досвід*: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 5-7 лист. 2013 р.). Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. С. 300–303.
22. Дзюба О. Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. СПб.: Недра. 2006. 198 с. URL: <http://www.ngtp.ru/rub/7/12.pdf>
23. Коркина В. И. Пыльцевая обножка медоносных пчел как индикатор в апимониторинге загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, 2009. 24 с.
24. Муліна А. В., Павличенко А. В. Дослідження стану зелених насаджень м. Дніпро в зоні впливу автомобільного транспорту. *Збірник наукових праць НГУ*. Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка». 2020. №60. С.177–185. URL: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/60.177>
25. Морозова Т. В., Хрутьба В. О., Кобзиста О. П. Скринінг палиноморфологічного та палинотоксичного ефекту автотранспортних емісій. *Вісник Національного транспортного університету*. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Київ: НТУ. 2019. Вип. 1 (43). С. 116–126. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2019_1_14
26. Матяшук Р. К., Ткаченко І. В. Дослідження стану генеративних органів бузини чорної в різних умовах зростання. *PLANTA+. НАУКА, ПРАКТИКА ТА ОСВІТА*: матеріали Міжнародної наук.-практ. конф. (м.

- Київ, 19 лют. 2021). Електрон. дані. Київ: Паливода А. В., 2021 а. С. 401–405. URL: <https://plantaplus.com.ua/>
27. Матяшук Р. К., Ткаченко І. В. Чутливість пилку форзиції до факторів оточуючого середовища мегаполісу. *Природничий альманах* (біологічні науки). Збірник наукових праць. Херсон: ФОП Вишемирський В. С. 2021 б, Вип. 30. С.56–74. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pasbn_2021_30_9
 28. Наказ МОЗ України № 116 від 13.03.2007 р. “Про затвердження методичних рекомендацій «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об’єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів»”. *Офіційний вісник України*. 2007. №4. С. 186–209. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116282-07#Text>
 29. Атмосферне повітря. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2017 році. Київ: Мін. захисту довкілля та природних ресурсів України. 2017. С. 34–64.
 30. Статистичний щорічник України за 2019 рік / Державний комітет статистики України / за ред. І. Є. Вернера. Київ: 2020. 465 с.
 31. Яценко Ю., Шевченко О., Сніжко С. Оцінка сучасного рівня та тенденцій забруднення атмосферного повітря міст України діоксидом азоту. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Геологія. 2018. 3(82). С. 87–95. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_geol_2018_3_13
 32. Жуков М. Н., Вижва С. А. Критичний стан повітряного середовища Києва, прогнозні оцінки впливу на 2012 рік. *Геоінформатика*. 2008. №4. С. 69–78. URL: <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/handle/123456789/12379>
 33. Паушева З. П. (1988). Практикум по цитологии растений. 4-е изд. Москва: Агропромиздат. 1988. 271 с.
 34. Гнатюк А. М., Гурненко І. В. Морфологічні особливості пилкових зерен видів родини Colchicaceae DC. Флори України. *Інтродукція рослин*. 2013. № 2. С. 57–62. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR_2013_2_11
 35. PalDat - Palynological Database an online publication on recent pollen. URL: <https://www.paldat.org/search/genus/Forsythia> (дата звернення 14.07.2021).
 36. Гірій В. А., Колісник І. А., Косовець О. О., Кузнецова Т. О. (2020). Стан забруднення навколишнього природного середовища на території України у 2019 р. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського* / ред. О.О. Косовець. Київ: СПД ФОП Кравченко, 2020. Вип. 16 (30). С. 28–44. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=p&f=files>
 37. Гірій В. А., Колісник І. А., Косовець О. О., Кузнецова Т.О. (2019). Стан забруднення навколишнього природного середовища на території України у 2018 р. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського* / ред. О.О. Косовець. Київ: СПД ФОП Кравченко. 2019. Вип. 15 (29). С. 11–25. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=p&f=files>
 38. Новини ЦГО. 2020 [Верес.9]. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=news&f=news-cgo&ko=0>
 39. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2018 р. URL: http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine
 40. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2019 р. URL: http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine
 41. Щорічник стану забруднення атмосферного повітря на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій за 2018 рік. ЦГО ім. Б. Срезневського. Київ. 2019. 263 с.
 42. Щорічник стану забруднення атмосферного повітря на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій за 2019 рік. ЦГО ім. Б. Срезневського. Київ. 2020. 271 с.
 43. Щорічник стану забруднення атмосферного повітря на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій за 2020 рік. ЦГО ім. Бориса Срезневського, Київ. 2021. 270 с.
 44. Статистичний збірник «Регіони України» 2019 р. / за ред. І. Вернера. Київ: 2020. Ч.1. 309 с.
 45. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат. 1985. 351 с.
 46. Matusiak M. V. Features of growth and development of the genus *Forsythia* Vahl. in conditions of the Vinnytsia National Agrarian University biostationary. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 16. С. 162–175. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2020_16_14.
 47. Гончаренко Б. В. Перспективи використання видів та культиварів роду Форзиція (*Forsythia* Vahl.) у зеленому будівництві в Правобережному Лісостепу України. *Інтродукція рослин*. 2009. № 1. С. 68–72. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR_2009_1_12
 48. Мирончук К. В. Фенологічні аспекти розвитку живоплотів у еколого-фітоценотичних поясах Буковини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23(3). С. 140–145. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnlntu_2013_23.3_26
 49. Косовець О. О., Доніч О. А. Кліматичні особливості 2018 р. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського* / ред. О. О. Косовець. Київ: СПД ФОП Кравченко. 2019. Вип. 15 (29). С. 4–10.
 50. Косовець О. О., Доніч О. А. Кліматичні особливості 2019 р. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського* / ред. О. О. Косовець. Київ: СПД ФОП Кравченко. 2020. Вип. 16 (30). С. 19–25.

51. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2020 р. URL: http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine.
52. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в м. Києві у 2015 році. Київ. 2016. 90 с. URL: <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/content/ekologichnyy-pasport.html>
53. Вишневецький В. І., Колісник І. А. Просторово-часові особливості забруднення атмосферного повітря в м. Києві. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського* / ред. А. В. Куцого. Київ: ТОВ «Друкарня «Бізнесполіграф», 2021. Вип. 17 (31). С. 27–39.
54. *Екологічний паспорт міста Києва за 2019 рік*. URL: <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/content/ekologichnyy-pasport.html> (дата звернення 14.07.2021).
55. Ерещенко О. В., Хлебцова Л. П. Влияние погодных условий на изменчивость признаков пыльцы березы повислой (*Betula pendula* Roth.). *Известия Алт. гос. ун-та*. 2012. №3/2 (75). С. 17–20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pogodnyh-usloviy-na-izmenchivost-priznakov-pyltsy-berezy-povisloy-betula-pendula-roth>
56. Erdtman G. Pollen Morphology and Plant Taxonomy—Angiosperms. Almqvist and Wiksell, Stockholm, 1952. 539 p.
57. Ибрагимова Э. Э. Палиноморфологическая и палинотоксическая оценка аэротехногенного загрязнения в урбоэкосистемах. Самарский научный вестник. 2015. №2 (11). С. 83–86. DOI: <https://doi.org/10.17816/snv20152124>
58. Савилов Е. Д., Анганова Е. В., Ильина С. В., Степаненко Л. А. Техногенное загрязнение окружающей среды и здоровье населения: анализ ситуации и прогноз. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(6). С. 507-512. DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-6-507-512>

Стаття надійшла до редакції 12.09.2021

Стаття рекомендована до друку 22.10.2021

R. K. MATIASHUK¹, Ph. D. (Biology), Senior Researcher,
Head of the Department of Dendrology and Park Studies

I. V. TKACHENKO¹

Leading Engineer of the Department of Dendrology and Park Science

¹*Institute for Evolutionary Ecology of the National Academy of Science of Ukraine,*
37, Acad. Lebedyova, Str., Kiyiv, 03143, Ukraine

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*)

It is especially important to assess the potential mutagenicity of the air environment in the area of active life and human respiration. In our opinion, perennial shrub plants are the most informative objects of such research.

Purpose. Study of the sensitivity of the male haploid generation *Forsythia suspensa* Vahl. to the state of atmospheric air of Kyiv in the surface layer; the prospects of using this species to indicate the quality of atmospheric air and assess possible risks to public health.

Methods. Fields, statistical. The state of the generative sphere of *F. suspensa* was determined by fertility and morphometric parameters of pollen, determination of the index of shape and proportion of abnormal grains in the population of non-hydrated pollen.

Results. It is established that the pollen of *F. suspensa* is sensitive to a complex of exogenous factors of the growing environment in the park ecosystems of Kyiv. The statistical significance of the complex influence of plant growing factors and weather conditions on the variability of *F. suspensa* pollen quality traits and its sizes has been confirmed. There is a greater influence of air pollutants in the surface layer of atmospheric air on the size of the equatorial diameter of the pollen grains of this plant species. Introduction of restrictive anti-epidemic measures in 2020 and 2021 has reduced the level of integrated air pollution in most of the studied areas of the capital. These changes in the conditions of the growing environment, especially in the absence of the influence of the developed network of highways, affected the share of abnormal grains in pollen populations in the studied areas.

Conclusions. The expediency of further use of plants of *F. suspensa* to assess the state of the environment on a toxic-mutagenic background and zoning of park ecosystems on a gradient of anthropogenic impact is noted. Complementing the results of bioindication studies using, in particular, *F. suspensa* pollen, information on the state of health of the population and data on air pollution increases the effectiveness of indicating the state of the environment in Kyiv

KEY WORDS: fertility, coefficient of sterility of pollen, abnormal pollen, aerotechnogenous contamination, palinotoxicity, bioindication

References

1. Horova, A., Buchavyi, Yu., & Kolesnyk V. (2017). Evaluation of integral danger of the influence of atmospheric air pollution of the emissions of the city industrial enterprises on population health. *Hygiene of populated places*, (67), 15–21. <https://doi.org/10.32402/hygiene2017.67.015> (In Ukrainian).

2. Dzyuba, O. F., Boreysha, I. K., Yakovleva, T. L., Shejnerman, N. A., & Nadporozhnaja, M. A. (2001). The quality of the pollen of higher plants and some cellular structures of living organisms in industrial area of the city of Leningrad and Sosnoviy Bor town NPP. Saint Petersburg: VNIGRI. 69–78. (In Russian).
3. Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, 360(9341), 1233–1242. <https://doi.org/10.17223/25421379/13/2>
4. 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.
5. Sénéchal, H., Visez, N., Charpin, D., Shahali, Y., Peltre, G., Biolley, J.-P., Lhuissier, F., Couderc, R., Yamada, O., Malrat-Domenge, A., Pham-Thi, N., Poncet, P., & Sutra, J.-P. (2015). A Review of the Effects of Major Atmospheric Pollutants on Pollen Grains, Pollen Content, and Allergenicity. *The Scientific World Journal*, 2015, ID 940243, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/940243>
6. 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. *Information of the Verkhovna Rada of Ukraine*, (16), 70. (In Ukrainian).
7. National Action Plan for Environmental Protection until 2025: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 21. (2021). (443). Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document/kr210443?an=24> (In Ukrainian).
8. Atmospheric air. (2018). National report on the state of the environment in Ukraine in 2018. Kyiv: Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, 20–38. (In Ukrainian).
9. Osaulenko, O. H. (Ed.). (2008). Statistical Yearbook of Ukraine for 2007. State Statistics Committee of Ukraine. Kyiv. (In Ukrainian).
10. Verner, I. Ye. (Ed.). (2019). Statistical Yearbook of Ukraine for 2018. State Statistics Committee of Ukraine. Kyiv. (In Ukrainian).
11. Ambient air quality and health. (2018). Fact sheet WHO. Retrieved (2021.07.14) from [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (In Russian).
12. Hushchuk, I. V. (2019). Experience in monitoring the state of atmospheric air pollution in Rivne region for the period 2007-2017. *Environment & Health*, (4), 57–60. (In Ukrainian).
13. Savenets, M., Dvoretzka, I., & Nadochii, L. (2019). Current state of atmospheric air pollution in Ukraine based on Sentinel-5p satellite data. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (51), 221-233. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16> (In Ukrainian).
14. Savenets, M., Osadchyi, V., & Oreshchenko, A. (2021). Atmospheric air quality monitoring over the territory of Ukraine with specification over the cities using Sentinel-5p satellite data. *Visn. Nac. Acad. Nauk Ukr.*, (3), 50–58. (In Ukrainian).
15. Horova, A. I., Buchavyi, Y. V., & Kolesnyk, V. Y. (2016). Improving the information system of healthy population risk caused by atmospheric air pollution. *Medical Informatics and Engineering*, (2), 21–25. (In Ukrainian).
16. Zhukov, M. N., Stakhiv, I. R., & Klypa, A. V. (2013). Modeling of the pollutants content in the megapolis atmosphere (based on Kyiv data). *Heoinformatyka*, (2(46), 61–68. (In Ukrainian).
17. Varlamov, E. N., & Palaguta, O. A. (2013). The system of environmental performance indication for assessing the state of natural environment in Ukraine. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 24(7(160), 188–192. (In Russian).
18. Heretsun, H. M., Masikevich, Yu. H., & Holyonko, R. A. (2019). Analysis of Atmospheric Deposit Pollution by Impurities in City Streets. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(1), 66–69. (In Ukrainian).
19. Buchavyi, Yu. V. (2017). The forecasting of health risk from air pollution emissions of the enterprises in Dnipropetrovsk region. Extended abstract of candidates Thesis. Kyiv. (In Ukrainian).
20. Gorova, A. I., Ryzhenko, S. A., Skvortsova, T. V., Klimkina, I. I., Pavlychenko, A. V., Myronova, I. H. (20007). 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". Dnipropetrovsk: National Mining University. (In Ukrainian).
21. Buchavyi, Yu. V., & Gorova, A. I. (2013). Improving the system of forecasting public health risks from man-made sources of air pollution. Proc. of the III International. scientific-practical conf.: Healthy lifestyle: problems and experience: materials (Dnipropetrovsk, November 5-7, 2013, pp.300-303). Dnepropetrovsk: National Mining University. (In Ukrainian).
22. Dzyuba, O. F. (2006). Pollen-indication of environmental quality. Saint Peterburg: Nedra. <http://www.ngtp.ru/rub/7/12.pdf> (In Russian).
23. Korkina, V. I. (2009). Pollen pollen of honey bees as an indicator in the apimonitoring of environmental pollution with heavy metals. Extended abstract of candidate's thesis. Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk. (In Russian).
24. Mulina, A. V., & Pavlychenko, A. V. (2020). Study of the state of green areas in Dnipro in the area of influence of road transport. *Collection of research papers of the National mining university*, (60), 177-185. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/60.177> (In Ukrainian).
25. Morozova T. V., Khrutba V. O., Kobzyska O. P. (2019). Screening of palynomorphological and palynotoxic effect of motor vehicle emissions. *Bulletin of the National Transport University. «Technical Sciences» series*, 1(43), 116–126. (In Ukrainian).

26. Matiashuk, R. K., & Tkachenko, I. V. (2021). Study of the condition of generative organs of *Sambucus nigra* L. in different growth conditions. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: *PLANTA+SCIENCE, PRACTICE AND EDUCATION*. (February 19, 2021. Kyiv, pp.401-405.). Kyiv. (In Ukrainian).
27. Matiashuk, R. K., & Tkachenko, I. V. (2021). 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).
28. 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 ". (2007). *Official Gazette of Ukraine*, (4), 186–209. (In Ukrainian).
29. Atmospheric air. National report on the state of the environment in Ukraine in 2017. (2017). Kyiv: Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, 34–64. (In Ukrainian).
30. Verner, I. Ye. (Ed.). (2020). Statistical Yearbook of Ukraine for 2019. State Statistics Committee of Ukraine. Kyiv. (In Ukrainian).
31. Yatsenko, Yu., Shevchenko, O., & Snizhko, S. (2018). Assessment of air pollution level of nitrogen dioxide and trends of it changes in the cities of Ukraine. *Visnyk Kyivskogo Nacionalnogo Universitetu imeni Tarasa Shevchenka. Geologia*, 3(82), 87–95. (In Ukrainian).
32. Zhukov, M. N., & Vyzhva, S. A. (2008). Critical condition of air environment in Kyiv. Prognosis estimations of its influence for 2012. *Geoinformatika*, (4), 69–78. (In Ukrainian).
33. Pausheva, Z. P. (1988). Workshop on plant cytology. 4th ed. Moscow: Agropromizdat. (In Russian).
34. Gnatiuk, A. M., & Gournenko, I. V. (2013). Pollen grains morphology of Colchicaceae DC. species in flora of Ukraine. *Plant introduction*, (2), 57–62. (In Ukrainian).
35. PalDat - Palynological Database an online publication on recent pollen. Retrieved (14.07.2021) from <https://www.paldat.org/search/genus/Forsythia>
36. Giryi, V. A., Kolisnyk, I. A., Kosovets, O. O., & Kuznetsova, T. O. (2020). The state of environmental pollution in Ukraine in 2019. In Kosovo O.O. (Ed.). Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky, 16 (30), 28–44. (In Ukrainian).
37. Giryi, V. A., Kolisnyk, I. A., Kosovets, O. O., & Kuznetsova, T. O. (2019). The state of environmental pollution in Ukraine in 2018. In Kosovo O.O. (Ed.). Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky, 15 (29), 11–25. (In Ukrainian).
38. News of the CGO. (2020). Retrieved from <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=news&f=news-cgo&ko=0> (In Ukrainian).
39. Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2018. (2019). Retrieved from http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine (In Ukrainian).
40. Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2019. (2020). Retrieved from http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine (In Ukrainian).
41. Yearbook of air pollution in Ukraine according to observations of hydrometeorological organizations in 2018. (2019). CGO named after Boris Sreznevsky. Kyiv. (In Ukrainian).
42. Yearbook of air pollution in Ukraine according to observations of hydrometeorological organizations in 2019. (2020). CGO named after Boris Sreznevsky. Kyiv. (In Ukrainian).
43. Yearbook of air pollution in Ukraine according to observations of hydrometeorological organizations in 2020. (2021). CGO named after Boris Sreznevsky. Kyiv. (In Ukrainian).
44. Werner, I. (Ed.). (2020). Statistical collection "Regions of Ukraine" 2019. Part 1. Kyiv. (In Ukrainian).
45. Dospekhov, B.A. (1985). Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed., Moscow: Agropromizdat. (In Russian).
46. Matusiak, M. V. (2020). Features of growth and development of the genus Forsythia Vahl. in conditions of the Vinnytsia National Agrarian University biostationary. *Agriculture and forestry*, (16), 162–175. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2020_16_14. (In Ukrainian).
47. Goncharenko, B. V. (2009). The perspectives of the usage of Forsythia genus species and cultivars in landscape design in Right-Bank of Forest-Steppe of Ukraine. *Plant introduction*, (1), 68–72. (In Ukrainian).
48. Myronchuk, K. V. (2013). Phenological aspects of green hedges in ecology and phytocoenotic zones of Bukovina. *The Scientific Bulletin of UNFU*, 23(3), 140–145. (In Ukrainian).
49. Kosovets, O. O., & Donich, O. A. (2019). Climatic features of 2018. In Kosovets, O. O. (Ed.) Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky. 15 (29), 4–10. (In Ukrainian).
50. Kosovets, O. O., & Donich, O. A. (2020). Climatic features of 2019. In Kosovets, O. O. (Ed.) Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky, 16 (30), 19–25. (In Ukrainian).
51. Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2020. (2021). Retrieved from http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine. (In Ukrainian).
52. Regional report on the state of the environment in Kyiv in 2015. (2016). Retrieved from <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/content/ekologichnyy-pasport.html> (In Ukrainian).

53. Vyshnevsky, V. I., & Kolisnyk, I. A. (2021). Spatio-temporal features of atmospheric air pollution in Kyiv. In Kutsogo A.V. (Ed.). Proceedings of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky , 17 (31), 27–39. (In Ukrainian).
54. Ecological passport of the city of Kyiv for 2019. Retrieved 2021.14.07. from <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/content/ekologichnyy-pasport.html> (In Ukrainian).
55. Ereschenko, O. V., & Khlebova, L. P. (2012). The influence of weather conditions on the variability of *Betula pendula* Roth. pollen parameters. *News of the Altai State university*, (3/2 (75)), 17–20. (In Russian).
56. Erdtman, G. (1952). Pollen Morphology and Plant Taxonomy—Angiosperms. Almqvist and Wiksell, Stockholm.
57. Ibragimova, E. E. (2015). Palinomorphological and palinotoxicological assessment of aerotechnogenic pollution in urboecosystem. *Samara Scientific Bulletin*, (2 (11)), 83–86. (In Russian).
58. Saviolov, E. D., Anganova, E. V., Ilina, S. V., & Stepanenko, L. A. (2016). Technogenic environmental pollution and the public health: analysis and prognosis. *Hygiene and Sanitation*, 95(6), 507-512. (In Russian).

The article was received by the editors 12.09.2021

The article is recommended for printing 22.10.2021

Р. К. МАТЯШУК¹, канд. біол. наук, ст. научн. сотрудник,
заведующая отделом дендрологии и парковедения
e-mail: raisakiev2015@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1929-0522>

І. В. ТКАЧЕНКО¹,
ведущий инженер отдела дендрологии и парковедения
e-mail: irina_tkachenko77@ukr.net

¹Государственное учреждение «Институт эволюционной экологии НАН Украины», ул. Акад. Лебедева, 37, г. Київ, 03143, Украина

ПЫЛЬЦА РАСТЕНИЙ КУСТАРНИКОВОГО ЯРУСА ГОРОДСКОГО ЗЕЛЕННОГО ПРОСТРАНСТВА КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА МЕГАПОЛИСА (НА ПРИМЕРЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ФОРЗИЦИЯ)

Особенно важна оценка потенциальной мутагенности воздушной среды именно в зоне активной жизнедеятельности человека. На наш взгляд, многолетние растения кустарникового яруса являются наиболее информативными объектами таких исследований.

Цель. Оценка чувствительности мужского гаплоидного поколения *Forsythia suspensa* Vahl. к состоянию воздушной среды г. Киев в приземном слое и перспективность использования этого вида для индикации качества атмосферного воздуха и оценки возможных рисков для здоровья населения

Методы. Полевые, статистические. Состояние генеративной сферы *F. suspense* определяли за фертильностью и морфометрическими показателям пыльцы, определением индекса формы и доли аномальных зерен в популяции негидратированной пыльцы.

Результаты. Установлено, что наследственный аппарат *F. suspensa* чувствителен к комплексу экзогенных факторов среды выращивания растений в парковых экосистемах г. Киева. Подтверждено, что взаимодействие факторов «точка сбора + условия года» является статистически значимым в изменчивости признаков качества пыльцы, а также сказывается на размерах пыльцы этого кустарника. Отмечено большее влияние аэрополлютантов в приземном слое атмосферного воздуха на размер экваториального диаметра пыльцевых зерен этих растений. Обнаружено снижение уровня интегрального загрязнения воздуха на большинстве исследованных участков столицы из-за введения в 2020 и 2021 годы ограничительных противоэпидемических мероприятий. Эти изменения условий среды выращивания, особенно при отсутствии влияния развитой сети автомобильных дорог, отразились на доле аномальных зерен в популяциях пыльцы *F. suspensa* на исследованных участках.

Выводы. Отмечена целесообразность дальнейшего использования растений *Forsythia suspensa* для оценки состояния окружающей среды и зонирования парковых экосистем по градиенту антропогенного воздействия. Дополнение результатов биоиндикационных исследований сведениями о состоянии здоровья населения и данными о загрязнении атмосферного воздуха повышает эффективность индикации состояния окружающей среды Киева.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фертильность, индекс формы, аномальная пыльца, аэротехногенное загрязнение, биоиндикация

Статья поступила в редакцию 12.09.2021

Статья рекомендована в печать 22.10.2021