

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕЛЕНИХ ДАХІВ У ПОГЛИНАННІ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК PM<sub>2.5</sub> ТА PM<sub>10</sub> В УМОВАХ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА

Герасимчук Л.О., Рибак О. С.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005

*Gerasim4uk@ukr.net*

*ke\_ros@ztu.edu.ua*

У статті представлено результати дослідження ефективності поглинання твердих частинок PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub> зеленими дахами в умовах міського середовища. Дослідження проводилось на території м. Житомир з використанням даних мережі громадського моніторингу якості повітря Eco City за 2020–2024 рр.

Встановлено, що за досліджуваний період середньорічний вміст PM<sub>2,5</sub> становив від 8 до 16,8 мкг/м<sup>3</sup>, PM<sub>10</sub> – від 14,4 до 29,2 мкг/м<sup>3</sup>. Виявлено сезонну динаміку з піковими концентраціями в опалювальний період. Для PM<sub>2,5</sub> зафіксовано перевищення допустимих значень до 1,2 разів у січні (25,05 мкг/м<sup>3</sup>) та листопаді (30,73 мкг/м<sup>3</sup>) 2020 р., лютому (29,77 мкг/м<sup>3</sup>) та березні (25,39 мкг/м<sup>3</sup>) 2021 р. Для PM<sub>10</sub> перевищення у 1,12 разів зафіксоване лише для листопада 2020 р. (56,24 мкг/м<sup>3</sup>).

На основі експериментальних даних оцінено ефективність поглинання забруднюючих частинок різними типами рослинності на зеленому даху площею 476,1 м<sup>2</sup>. Встановлено, що середні кущі та трав'янисті рослини, які займають 238,05 м<sup>2</sup>, забезпечують 50,6% загального поглинання завдяки оптимальному співвідношенню коефіцієнтів поглинання для PM<sub>2.5</sub> (0,85) та PM<sub>10</sub> (0,89). Газони та ґрунтопокривні рослини на площі 142,83 м<sup>2</sup> забезпечують 26,8% поглинання з коефіцієнтами 0,75 для PM<sub>2.5</sub> та 0,81 для PM<sub>10</sub>. Деревя та великі кущі, попри найменшу площу (95,22 м<sup>2</sup>), показують високу ефективність завдяки найвищим коефіцієнтам поглинання (0,95 для PM<sub>2.5</sub> та 0,97 для PM<sub>10</sub>), що забезпечили 22,6% загального поглинання.

Розраховано, що досліджуваний зелений дах здатний щорічно поглинати від 1122,47 до 1948,55 г забруднюючих частинок. Ефективність поглинання залежить від сезону року, типу рослинності та концентрації забруднюючих речовин у повітрі. Максимальна ефективність спостерігається в період активної вегетації та при підвищених концентраціях забруднювачів.

Результати дослідження мають практичне значення для оптимізації видового складу рослин на зелених дахах, розроблення нормативів з їх проєктування та планування міських програм покращення якості повітря. Запропонована методика оцінки ефективності очищення повітря може бути використана для подальших досліджень механізмів фітофільтрації в міському середовищі.

**Ключові слова:** зелені дахи, тверді частинки, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, якість повітря, фітофільтрація, міське середовище, екологічна ефективність.

**Assessment of the efficiency of green roofs in absorption of pm<sub>2.5</sub> and pm<sub>10</sub> solid particles in urban environment conditions.** *Herasymchuk L.O., Rybak O.S.*

The article presents the results of a study of the efficiency of PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> particulate matter absorption by green roofs in urban environments. The study was conducted in the city of Zhytomyr using data from the Eco City public air quality monitoring network for 2020–2024. It was found that during the study period, the average annual PM<sub>2.5</sub> content

ranged from 8 to 16,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM10 – from 14,4 to 29,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Seasonal dynamics were found with peak concentrations during the heating season. For PM2,5, the permissible values were exceeded by up to 1,2 times in January (25,05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and November (30,73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) of 2020, February (29,77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and March (25,39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) of 2021. For PM10, an excess of 1,12 times was recorded only for November 2020 (56,24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Based on experimental data, the efficiency of absorption of polluting particles by different types of vegetation on a green roof with an area of 476,1  $\text{m}^2$  was estimated. It was found that medium-sized shrubs and herbaceous plants, occupying 238,05  $\text{m}^2$ , provide 50,6% of the total absorption due to the optimal ratio of absorption coefficients for PM2,5 (0,85) and PM10 (0,89). Lawns and ground cover plants on an area of 142,83  $\text{m}^2$  provide 26,8% absorption with coefficients of 0,75 for PM2,5 and 0,81 for PM10. Trees and large shrubs, despite the smallest area (95,22  $\text{m}^2$ ), show high efficiency due to the highest absorption coefficients (0,95 for PM2,5 and 0,97 for PM10), providing 22,6% of the total absorption.

It is calculated that the studied green roof is capable of absorbing from 1122,47 to 1948,55 g of polluting particles annually. The absorption efficiency depends on the season of the year, the type of vegetation and the concentration of pollutants in the air. The maximum efficiency is observed during the period of active vegetation and at elevated concentrations of pollutants.

The results of the study are of practical importance for optimizing the species composition of plants on green roofs, developing standards for their design and planning urban air quality improvement programs. The proposed methodology for assessing the effectiveness of air purification can be used for further research into the mechanisms of phytofiltration in the urban environment.

**Keywords:** green roofs, particulate matter, PM2,5, PM10, air quality, phytofiltration, urban environment, environmental efficiency.

### Постановка проблеми

Натепер спостерігається підвищення рівня забруднення атмосферного повітря [1-4], в тому

числі твердими частинками PM2.5 та PM10, що становить серйозну загрозу для здоров'я населення міст [5, 6]. За даними ВООЗ, забруднення повітря дрібнодисперсними частинками призводить до понад 4,2 мільйонів передчасних смертей щорічно [7]. Особливо актуальним є пошук ефективних методів очищення повітря в умовах щільної міської забудови, де традиційні методи озеленення мають обмежене застосування.

### Актуальність дослідження

Зелені дахи представляють інноваційне рішення для покращення якості міського повітря, особливо в контексті змін клімату, зростаючої урбанізації та обмеженості наземних площ для озеленення [8–18, 22–23]. Дослідження їх ефективності в конкретних кліматичних умовах має важливе значення для розроблення стратегій поліпшення якості повітря.

### Зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями

Робота безпосередньо пов'язана з реалізацією стратегій сталого розвитку міст, підвищенням енергоефективності будівель та розвитком зеленої інфраструктури. Результати роботи можуть бути використані при розробленні міських програм озеленення та нормативних документів щодо впровадження зелених дахів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження Yang J. et al. (2001) наголошують на здатності зелених дахів поглинати значні об'єми забруднюючих частинок завдяки різним механізмам фітофільтрації. Kwak M. et al. (2023) підтвердили високу ефективність різних видів рослинності у затриманні PM2.5 та PM10. Дослідники Diener A. та Mudu P. (2021) довели, що ефективність поглинання залежить від морфологічних особливостей рослин. Дослідження Viesso M. та ін. (2021) показали важливість підбору оптимального складу рослин для максимальної ефективності очищення повітря.

## Невирішені частини загальної проблеми

Недостатньо вивченими залишаються питання ефективності поглинання різних типів рослинності в урбанізованих територіях.

## Новизна дослідження

Вперше проведено комплексну оцінку ефективності поглинання PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub> різними типами рослинності на зеленому даху в умовах помірно континентального клімату України.

## Методологічне значення

Розроблено комплексний підхід з оцінки ефективності зелених дахів у очищенні повітря, що враховує різні типи рослинності та сезонні фактори. Інформаційною базою дослідження стала інформація щодо вмісту PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub> за період 2020–2024 рр. за даними Української мережі громадського моніторингу якості повітря Eсо City в м. Житомир [19]. Обсяги зв'язування твердих часток зеленими дахами (г/м<sup>2</sup>/рік) здійснювали за методикою Yang J. та ін. (2008) [15], як добуток швидкості осідання частинок (PM<sub>2,5</sub>–0,0005, а для PM<sub>10</sub>–0,005 м/с), їх концентрації у повітрі за даними Eсоcity (г/м<sup>3</sup>), коефіцієнта поглинання рослинністю (дерева та великі кущі для PM<sub>2,5</sub>–0,95, для PM<sub>10</sub>–0,97, середні кущі та трав'янисті рослини – 0,85 та 0,89, газони та ґрунтопокривні – 0,75 та 0,81 відповідно) та часу впливу (с).

## Викладення основного матеріалу

Динаміка забруднення атмосферного повітря м. Житомир твердими частинками PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub> в розрізі місяців за період 2020–2024 рр. представлена на рис. 1.

В розрізі окремих місяців найбільше значень, що перевищують гранично допустимі середньодобові концентрації, характерні для січня 2020 р. – 39,8%, 2021 р. – 47,8%, 2024 р. – 10,4% значень з максимальними перевищеннями у 1,2–2,8 рази, лютого 2020 р. – 32,5%, 2021 р. – 47,4% значень з максимальними перевищеннями у 1,2–3,2 рази, грудня 2020 р. – 31,8%, 2021 р. – 9,2%, 2022 р. – 10,5% з максимальними перевищеннями у 1,3–2,1 рази, березня 2020 р. – 31,6%, 2021 р. – 37,8%, 2024 р. – 30,6% з максимальними перевищеннями у 1,1–3,9 рази, квітня 2020 р. – 30,7%, 2021 р. – 21,3% значень з максимальними перевищеннями у 1,9–3,6 рази, жовтня 2020 р. – 26,7%, 2021 р. – 13,3% з максимальними перевищеннями у 1,2–1,9 разів та листопада 2020 р. – 56,4%, 2021 р. – 10,6% з максимальними перевищеннями у 2,1–4,9 рази.

За період 2020–2024 рр. середньорічний вміст PM<sub>10</sub> становив від 14,4 до 29,2 мкг/м<sup>3</sup> (рис. 1). Перевищення встановлених значень за PM<sub>10</sub> у 1,12 разів характерне лише для листопада (56,24 мкг/м<sup>3</sup>) 2020 р.

Вміст PM<sub>10</sub> має схожу з PM<sub>2,5</sub> тенденцію. В розрізі окремих місяців найбільше значень, що перевищують гранично допустимі середньодобові концентрації, характерні для січня 2020 р. – 38,2%, 2021 р. – 21,7% значень з максимальними

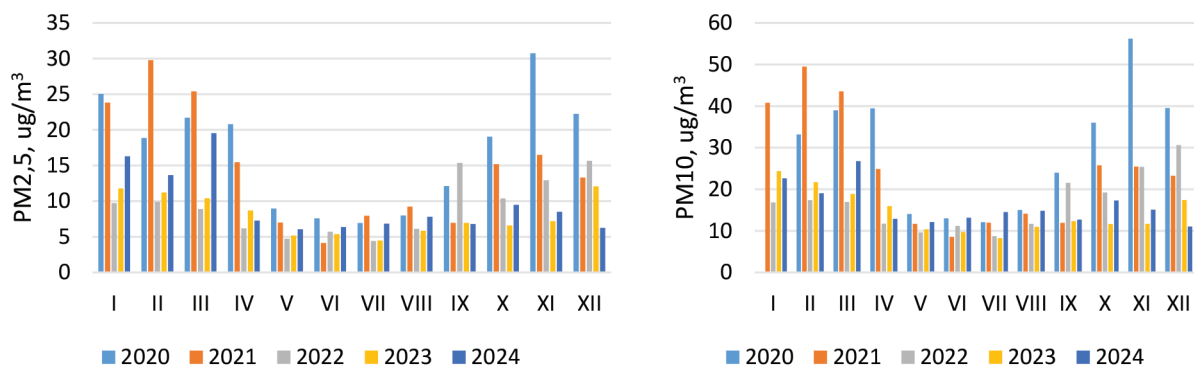


Рисунок 1. Динаміка забруднення атмосферного повітря м. Житомир твердими частинками PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub> в розрізі місяців за період 2020–2024 рр.

перевищеннями у 1,1–2,7 рази, лютого 2020 р. – 19,4%, 2021 р. – 31,6% значень з максимальними перевищеннями у 1,7–2,6 рази, грудня 2020 р. – 13,6%, 2022 р. – 8,9% з максимальними перевищеннями у 1,6–2,2 рази, березня 2020 р. – 25%, 2021 р. – 21,6% з максимальними перевищеннями у 1,3–4,6 рази, квітня 2020 р. – 25,3% значень з максимальними перевищеннями у 1,1–2,1 рази, жовтня 2020 р. – 22,7%, 2021 р. – 8,9% з максимальними перевищеннями у 1,2–2,7 разів та ли-

стопада 2020 р. – 41%, 2021 р. – 7,6% з максимальними перевищеннями у 1,3–5,5 разів.

Зелений дах спроектований на території житлового кварталу м. Житомира.

Площа озеленення складає 476,1 м<sup>2</sup> та розподілена між трьома типами рослинності: дерева та великі кущі – 95,22 м<sup>2</sup> (20% площі), середні кущі та трав'янисті рослини – 238,05 м<sup>2</sup> (50%), газони та ґрунтопокривні – 142,83 м<sup>2</sup> (30%) (табл. 1).

Таблиця 1

## Проектні розміри, щільність та площа рослин для зеленого даху

Найменування українською	По проєкту		Щільність, шт/м <sup>2</sup>	Площа, м <sup>2</sup>	Кількість, шт.
	h, см	d, см			
<i>Дерева</i>					
Клен татарський ( <i>Acer tataricum</i> )	600-800	600-800			8
Бузина чорна «Лациніата» (ф. парасоля) ( <i>Sambucus nigra «Laciniata»</i> )	250-300	150-200			22
<i>Кущі</i>					
Дерен білий «Елегантісіма» ( <i>Cornus alba «Elegantissima»</i> )	120-150		9	77,5	698
Гортензія деревовидна «Анабель» ( <i>Hydrangea arborescens «Annabelle»</i> )	120	80	4	92	368
Кизильник блискучий ( <i>Cotoneaster lucidus</i> )	60-100		9	33,3	300
Барбарис тунберга «Еректа» ( <i>Berberis thunbergii «Erecta»</i> )	100	60	9	5,1	46
Тис середній «Фармен» ( <i>Taxus media «Farmen»</i> )	40-50	30	9	93,6	842
Тис середній (ф. куля, Ø110) ( <i>Taxus media</i> )		110			
Тис середній (ф. куля, Ø80) ( <i>Taxus media</i> )	80-70	80	6		
Тис середній (ф. куля, Ø60) ( <i>Taxus media</i> )		60			
Тис середній (ф. куля, Ø35) ( <i>Taxus media</i> )		35	2		
<i>Багаторічники</i>					
Пахізандра верхівкова ( <i>Pachysandra terminalis</i> )	15-20	20	16	17,4	278
Щучка дерниста ( <i>Deschampsia cespitosa</i> )	30	50	9	7,70	69
Осока морроу «Айс Денс» ( <i>Carex morrowii «Ice Dance»</i> )	20-30	35	12	39,60	475
Перлівка трансільванська ( <i>Melica transsilvanica</i> )	45-50	75	9	27,60	248
Анемона японська «Вірлінд» ( <i>Anemone japonica «Whirlwind»</i> )	60-100		12	39,80	478
Хоста гібридна «Хальцедон» ( <i>Hosta hybrida «Halcyon»</i> )	45-50	75	9	38,40	346
Астранція велика «Альба» ( <i>Astrantia major «Alba»</i> )	60-70	40	12	1,40	17
Короличка дрібна «Вайт Перл» ( <i>Cymbalaria sicula «White Pearl»</i> )	60-80		9	12,60	113
Тіарелла серцелиста ( <i>Tiarella cordifolia</i> )	20-30	35	12	6,60	79

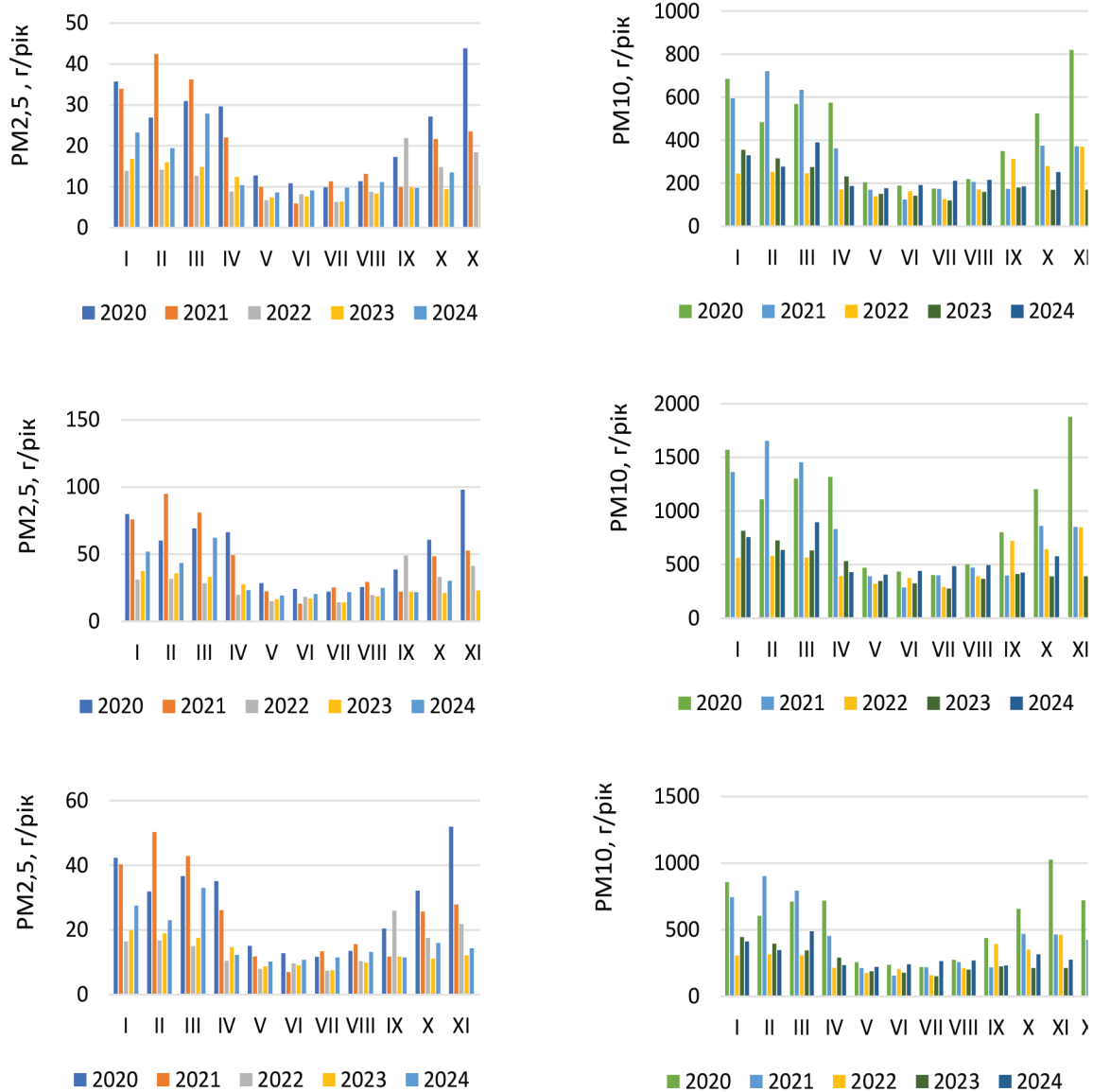


Рисунок 2. Зв'язування  $PM_{2,5}$  та  $PM_{10}$  зеленим дахом в розрізі місяців за період 2020–2024 рр.:  
 а – дерева та великі кущі; б – середні кущі та трав'янисті рослини;  
 в – газони та ґрунтопокривні рослини

Аналіз внеску різних типів рослинності показав, що найбільшу ефективність демонструють середні кущі та трав'янисті рослини, які займають площу  $238,05 \text{ м}^2$  і забезпечують  $50,6\%$  загального поглинання. Це пояснюється як значною площею, так і оптимальним співвідношенням коефіцієнтів поглинання для  $PM_{2,5}$  ( $0,85$ ) та  $PM_{10}$  ( $0,89$ ). Газони та ґрунтопокривні рослини площею  $142,83 \text{ м}^2$  забезпечують  $26,8\%$  загального поглинання, демонструючи дещо нижчі коефіцієнти поглинання ( $0,75$  для  $PM_{2,5}$  та  $0,81$  для  $PM_{10}$ ). Деревя та великі кущі, незважаючи

на найменшу площу ( $95,22 \text{ м}^2$ ), показують високу ефективність завдяки найвищим коефіцієнтам поглинання ( $0,95$  для  $PM_{2,5}$  та  $0,97$  для  $PM_{10}$ ), забезпечують близько  $22,6\%$  загального поглинання (рис. 2).

Такі результати підтверджують ефективність використання комбінованого підходу до озеленення даху, де різні типи рослинності доповнюють одне одного, що забезпечують максимальну ефективність очищення повітря від забруднюючих частинок різного розміру. Загальна площа зеленого даху в  $476,1 \text{ м}^2$  демонструє значний по-

тенціал у покращенні якості повітря міського середовища, здатна щорічно поглинати від 1122,47 до 1948,55 г забруднюючих частинок (рис. 2).

## Висновки

Зелений дах площею 476,1 м<sup>2</sup> здатний щорічно поглинати від 1122,47 до 1948,55 г твердих частинок PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub>, що підтверджує його високу ефективність у покращенні якості міського повітря. Найефективнішими для поглинання забруднюючих частинок виявились середні кущі та трав'янисті рослини, які забезпечують 50,6% загального поглинання завдяки оптимальному співвідношенню коефіцієнтів поглинання. Дослідження показало чітку сезонну динаміку ефективності очищення повітря з максимальними показниками в період активної вегетації рослин. Виявлено, що ефективність поглинання забруднюючих речовин прямо корелює з їх концентрацією в повітрі, що робить зелені дахи особливо ефективними в періоди підвищеного забруднення атмосферного повітря.

## Перспективи використання результатів

Результати можуть бути використані при плануванні стратегій сталого розвитку міст та розробленні комплексних програм адаптації до кліматичних змін. Практичне значення результатів полягає в можливості їх застосування при проектуванні нових та реконструкції існуючих будівель з метою створення більш екологічно чистого та комфортного міського середовища.

## Список використаних джерел

1. Герасимчук Л., Валерко Р., Розгон В., Малиновська В. Тенденції викидів діоксиду вуглецю як чинника кліматичних змін в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел та прогнозування їх обсягів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. №3. С. 49–58. DOI: <https://doi.org/10.32782/psd-2023-3-7>.
2. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А. Інтегральний показник екологічного стану міста Житомир

як основа для встановлення тенденцій його розвитку. *Innovations in the Education of the Future: Integration of Humanities, Technical and Natural Sciences : International collective monograph*, FIT CTU in Prague. 2023. С. 160-181. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10259058>.

3. Herasymchuk L., Patseva I., Valerko R., Ustymenko V. Military actions in Ukraine as ecocide and challenge to Formulas of peace. *Present Environment and Sustainable Development*. 2024. Vol. 18, no 2. P. 927–938. DOI: <https://doi.org/10.47743/pesd2024182015>.

4. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Ярошенко Б.О., Члек О.М. Загрози довкілля внаслідок військових дій очима дітей. *Екологічні науки*. 2022. № 4 (43). С. 168-173. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.28>.

5. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization, 2021. 285 p.

6. Cohen A.J., Brauer M., Burnett R. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*. 2017. Vol. 389. P. 1907–1918.

7. European Environment Agency. Air quality in Europe – 2023 report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. 104 p.

8. Романчук Л. Д., Герасимчук Л. О., Валерко Р. А. Використання сірої води зеленими дахами: системний аналіз та перспективи впровадження. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 10. С. 254-263. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.10.2024.24>.

9. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Бельмега І. В., Шацило Є. Г. Зелені дахи як напрям наукових досліджень. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агронімія і біологія»*. 2024. № 1(55). С. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.1.5>.

10. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Весельський О.О. Переваги зелених дахів та їх розрахунок. *Аграрні інновації*. 2024. № 23 (2024). С. 48–57. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.7>.

11. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Пацева І. Г. Прояв зміни температури повітря на території м. Житомир. *Вісник Харківського національного*

університету імені В.Н. Каразіна Серія «Екологія». 2023. Вип. 29. С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-01>.

12. Herasymchuk L.O., Valerko R.A. Coverage of climate change trends in Zhytomyr over a 19-year period. Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural science: Collective monograph. Riga: Baltija Publishing, 2020. P. 1. pp. 85-101. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/1.6>.

13. Рибак О. С. «Зелений дах-біорізноманіт-тя»: технології будівництва, утримання, обслу- говування та особливості контролю біотичної складової. *Вісник КрНУ імені Михайла Остро- градського*. 2023. № 5. С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.5.4>.

14. Vijayaraghavan K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 57. P. 740–752. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.12.119>.

15. Yang J., Yu Q., Gong P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*. 2008. Vol. 42. P. 7266–7273. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2008.07.003>. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00326-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00326-5).

16. Kwak M., Lee J., Park S., Lim Y., Kim H., Jeong S., Son J., Je S., Chang H., Oh C., Kim K., Woo S. Understanding Particulate Matter Retention and Wash-Off during Rainfall in Relation to Leaf Traits of Urban Forest Tree Species. *Horticulturae*. 2023. Vol. 9(2), 165. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020165>.

17. Diener A., Mudu P. How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on

green spaces' mitigation abilities for air-borne particles from a public health perspective – with implications for urban planning.. *The Science of the total environment*. 2021. Vol. 796, 148605. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148605>.

18. Viecco M., Jorquera H., Sharma A., Bustamante W., Fernando H., Vera S. Green roofs and green walls layouts for improved urban air quality by mitigating particulate matter. *Building and Environment*. 2021. Vol. 204, 108120. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108120>.

19. Українська мережа громадського моні- торингу якості повітря Eco City [База даних ре- зультатів моніторингу]. Кабінет дослідника яко- сті повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2025, 1195. 1223 КБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>

20. Zhang L., Gong S., Padro J., Barrie L. A size-segregated particle dry deposition scheme for an atmospheric aerosol module. *Atmospheric Environment*. 2001. Vol. 35. P. 549–560. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00326-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00326-5).

21. Dzierżanowski K., Popek R., Gawrońska H., Sæbø A., Gawroński S. Deposition of Particulate Matter of Different Size Fractions on Leaf Surfaces and in Waxes of Urban Forest Species. *International Journal of Phytoremediation*. 2011. Vol. 13. P. 1037–1046. DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2011.552929>.

22. Getter K. L., Rowe D. B., Andresen J. A. Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering*. 2009. Vol. 35(4). P. 674-686. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.06.004>.