

## ЗЕЛЕНІ ДАХИ ЯК НАПРЯМ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Валерко Руслана Анатоліївна**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна  
ORCID: 0000-0003-4716-0100  
valerko\_ruslana@ukr.net

**Герасимчук Людмила Олександрівна**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна  
ORCID: 0000-0002-3166-5588  
gerasim4uk@ukr.net

**Бельмега Іван Васильович**

аспірант  
Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна  
ORCID: 0009-0007-2524-6217  
belmegaivan@gmail.com

**Шацило Євгеній Геннадійович**

аспірант  
Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна  
ORCID: 0009-0006-8866-3571  
evgenijshatsylo@gmail.com

*Зелені дахи – це штучні екосистеми, які забезпечують природне рішення екологічних проблем, таких як зміна клімату та міський тепловий острів. Зелені дахи допомагають економити як охолоджувальну, так і опалювальну енергію; осаджують тверді частинки та зменшують забруднення повітря; контролюють стоки та забруднення води; збільшують кількість біорізноманіття і забезпечують його сталість, а також мають естетичні та психологічні переваги і, таким чином, відіграють значну роль у забезпеченні сталого розвитку міст. Метою даного дослідження стали систематизація та аналіз наукових досліджень у галузі зелених дахів. Аналіз літературних джерел здійснювали за допомогою програми VOSviewer. Побудована хмара бібліографічних досліджень складається із 4-х кластерів, які умовно були названі: «зелені дахи», «міста», «збереження природних ресурсів» та «вода». Було здійснено аналіз літературних джерел за основними ключовими словами відповідного кластеру.*

*Зокрема, у зеленому кластері (cities) було виокремлено два ключових терміни – якість атмосферного повітря та клімат. Зелені дахи мають потенціал зниження викидів токсичних забруднювачів за їх масштабного впровадження та позитивно впливають на якість повітря, а також здатні регулювати міський тепловий клімат завдяки рослинності, яка знижує температуру повітря у місті та забезпечують теплоізоляцію міських будівель і споруд. У червоному кластері (conservation of natural resources) найбільша увага приділена термінам поглинання вуглекислого газу, біорізноманіття та сталий розвиток. Доведено, що трави компенсують більше викидів CO<sub>2</sub> протягом життєвого циклу зелених дахів, а річна здатність зелених дахів накопичувати карбон становить від 0,37 до 30,12 кг/м<sup>2</sup>. Зелені дахи є не лише потенційною домівкою для місцевого біорізноманіття, але й є притулком для рідкісних і зникаючих видів птахів та створюють безпечне середовище існування для безхребетних і хребетних у міських районах. Доведено значну кількість супутніх переваг, що охоплюють широкий спектр областей стійкого розвитку, за результатами якого пропонуються створення зелених дахів як популярного інженерного застосування у всьому світі для боротьби зі зміною клімату, пом'якшення наслідків теплових островів міст та покращення якості повітря і води. Найбільш знаковими термінами синього кластеру (rain) стали: збір дощової води та затримка стоку з дахів. Зелені дахи, завдяки своїй властивості затримувати опади, є ефективним методом зниження навантаження на міські дренажні системи.*

**Ключові слова:** зелені дахи, стійкий розвиток, зміна клімату, якість повітря, опади.

DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.1.5>

**Вступ.** Надмірна урбанізація та діяльність людини у міському середовищі стали причиною наслідків зміни клімату та деградації довкілля, зокрема глобального потепління, ефектів міських островів тепла, кислотних дощів, виснаження озонового шару, забруднення повітря і води та втрати біорізноманіття (Cook & Larsen, 2021).

Крім того, на будівництво припадає майже 40 % споживання первинної енергії, що впливає на енергетику та довкілля, а тому скорочення споживання енергії є необхідною умовою для досягнення стійкого розвитку міст та кліматичної нейтральності (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021; Mihalakakou et al., 2022). Оскільки

пом'якшення наслідків ефекту міських островів тепла є головною проблемою у підвищенні стійкості міст, було розроблено велику кількість рішень для зниження споживання енергії та одночасного покращення умов життя у штучному середовищі (Pauleit et al., 2019).

Одним із таких природних рішень є технологія дахів із рослинністю, яка також відома як зелені дахи (Hussien et al., 2023). Зелені дахи представлені як природна альтернатива стійкого пом'якшення негативного впливу парникових газів та дорожнього забруднення, що пропонує екологічні, естетичні, соціологічні та економічні вигоди, особливо у міських районах (Cascone, 2019).

Питання зелених дахів, їх роль у адаптації до змін клімату та стійкого розвитку міст наразі висвітлено у багатьох працях зарубіжних та вітчизняних учених. Зокрема, розглядається використання зелених дахів як інструменту адаптації міст до змін клімату та їх переваги у регулюванні температури, покращенні якості повітря та затриманні стоку (Sertuk et al., 2022), використання зелених дахів як елементу природного благоустрою міст (Gnatuk & Nesteruk, 2021) та їх можливості у покращенні міського мікроклімату та збереженні біорізноманіття (Mel'nyk & Oliynyk 2020), зменшенні шумового забруднення (Kuz'mins'ka & Kravchenko, 2021), використання зелених дахів для децентралізованого управління дощовою водою (Rybak & Patseva, 2023) тощо. Аналізуються кількісні моделі для проектування зелених дахів з точки зору їх гідравлічної, термічної та екологічної ефективності, а також економічних аспектів (Poursoleyman et al., 2022), оцінка життєвого циклу зелених дахів (Scolaro & Ghisi, 2022), енергетичних переваг зелених дахів (Perivoliotis et al., 2023), компроміси між перевагами та витратами на зелені дахи (Bianchini & Hewage, 2012), забезпечення зеленими дахами великої кількості екосистемних послуг (Joshi & Teller, 2021), моделювання функціонування екстенсивного зеленого даху в середземноморському кліматі, акцентуючи увагу на його термічній та гідравлічній поведінці (Terrassa-Soler et al., 2023). Крім того, здійснено оцінку параметрів, які необхідно враховувати у зелених дахах, таких як кліматичні умови, тип та міцність будівлі, вибір будівельних матеріалів (Suszanowicz & Więcek, 2019), вибір рослин (Mihalakakou et al., 2023; Leotta et al., 2023). Всебічний огляд факторів, що впливають на стан і розвиток зелених дахів наведено у дослідженні групи дослідників (Shahmohammadmirab et al., 2022). Запропоновано також розглянути можли-

вість ведення сільського господарства на зелених дахах у майбутньому (Rowe, 2011).

Ці джерела охоплюють різноманітні аспекти зелених дахів, включаючи їх роль в адаптації до змін клімату, термічну та гідравлічну поведінку, екологічні переваги, а також моделювання та проектування. Вони демонструють підвищений інтерес та актуальність досліджень зелених дахів як рішення для сталого розвитку міст.

Таким чином, мета даного дослідження полягає у систематизації та аналізі наукових досліджень у галузі зелених дахів та виявленні їх впливу на екологічну стійкість міст.

Огляд літературних джерел було здійснено за допомогою програми VOSviewer. В огляд включені рецензовані статті журналів, що знайдені при пошуку у базі даних PubMed. Пошук здійснювався серед статей за ключовим виразом «green roofs» (зелені дахи).

**Результати.** В результаті стратегії пошуку було знайдено загалом 380 статей з 1966 по 2024 роки. Найбільша кількість статей, які містили ключовий термін «зелені дахи», виявлена у 2023 році (рис. 1).

За допомогою програми VOSviewer був здійснений аналіз знайдених літературних джерел, що зображено у вигляді хмари бібліографічних даних (рис. 2). Це зображення демонструє велику мережу, що показує зв'язки та взаємозв'язки між різними поняттями, пов'язаними з міською екологією, сталим розвитком та збереженням довкілля. Вузли або вершини у хмарі представляють різні ключові слова або терміни, такі як «зміна клімату», «біорізноманіття», «зелена інфраструктура», «вода», «ґрунт» та «збереження природних ресурсів».

Ребра або лінії, що з'єднують ці вузли, представляють взаємозв'язки або асоціації між цими поняттями. Товстіші лінії вказують на сильніші зв'язки або частіші спільні випадки між термінами. Розташування та позиціонування вузлів також візуально відображає центральність та важливість певних понять у цій галузі.

Кольорове кодування категоризує вузли за різними тематичними кластерами, а саме: зелений характеризує зв'язок зелених дахів із міськими системами, червоний – із збереженням природних ресурсів, а синій вказує на зв'язок тем, пов'язаних з водою. Нижче наведено аналіз літературних даних за основними ключовими словами за кластерами.

*Якість повітря (зелений кластер).* Установлення зелених дахів призводить до зниження концентрації



Рис. 1. Випокіювання із ресурсу PubMed

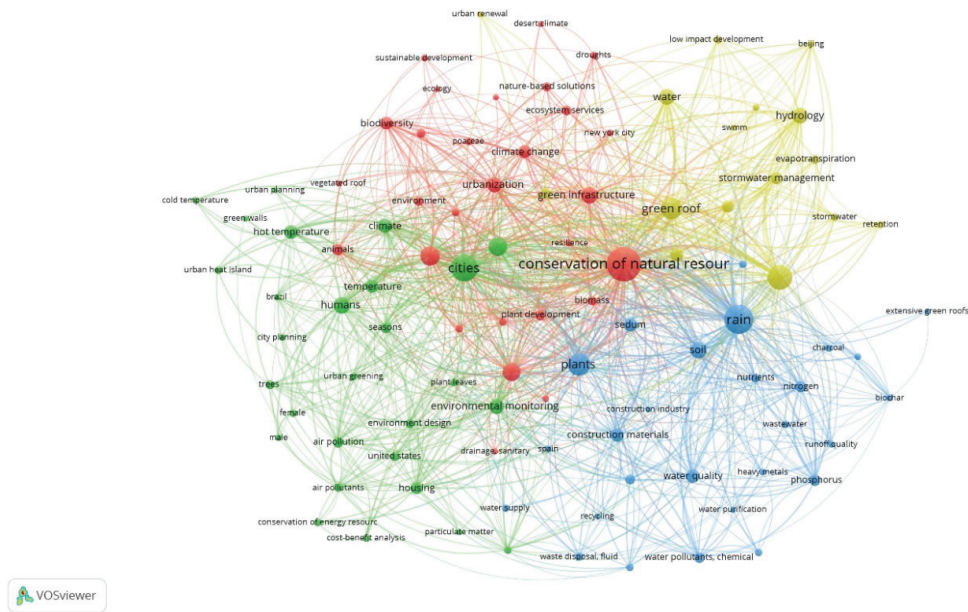


Рис. 2. Бібліографічна хмара побудована за ключовим виразом «green roofs»

забруднюючих речовин у повітрі залежно від певних умов. Зокрема, доведено, що концентрація  $PM_{2,5}$  біля даху є нижчою, ніж на рівні вулиці, що пояснюється, в основному, меншим вертикальним перемішуванням та сильним зсувом вітром (Tong et al., 2016). Було підраховано, що один  $km^2$  зеленого даху може компенсувати щорічні викиди твердих частинок від одного транспортного засобу, що проїжджає 16000  $km$ /рік, виділяючи при цьому 6,2 мг твердих частинок за кожний кілометр (Yao et al., 2021). Поряд із твердими частинками озон є одним з найбільш небезпечних забруднювачів міського повітря (Irga et al., 2022). Великі неперервні зелені дахи ефективно знижують рівень озону біля даху (Ramasubramanian et al., 2019). Доведено, що зелений дах теоретично здатен видалити 0,5 кг  $PM_{2,5}$ , 6,9 кг  $O_3$  та 2,3 кг  $NO_2$  на рік, що значно вище, ніж у звичайного даху (Irga et al., 2022). Дослідженнями, проведеними у Чикаго (США), встановлено, що за рік 19,8 га зелених дахів можуть видалити у загальному 1675 кг забруднювачів повітря, серед яких:  $O_3$  – 52 %,  $NO_2$  – 27 %,  $PM_{10}$  – 14 % та  $SO_2$  – 7 % (Yang et al., 2008).

В цілому аналіз літературних даних свідчить про те, що зелені дахи володіють потенціалом зниження викидів токсичних забруднювачів при їх багатомасштабному впровадженні та можуть позитивно впливати на якість повітря (Joshi & Teller et al., 2021; Rafael et al., 2021).

**Клімат (зелений кластер).** Глобальне потепління – одна із головних загроз, як довкіллю, так і здоров'ю населення, глобальній продовольчій безпеці та економічному розвитку держави (Herasymchuk et al., 2023; Herasymchuk & Valerko, 2020). Зелені дахи регулюють міський тепловий клімат завдяки рослинності, яка знижує температуру повітря у місті (Patseva et al., 2022). Доведено, що зелені дахи сприяють зниженню середньої температури поверхні на  $30^\circ C$  у спекотних та вологих містах

(Jamei et al., 2021). Теоретичне моделювання покриття зелених дахів показало, що вони мають охолоджуючий ефект та можуть знизити температуру навколишнього середовища на  $0,3$ – $3^\circ C$  (Santamouris, 2014). Результати польових експериментів вказують на те, що рослини на зелених дахах значно охолоджують приміщення (Cao et al., 2019). Дослідження, проведені на території північного сходу Німеччини, довели, що, незважаючи на те, що середньорічна температура у місті протягом 20 років підвищилась на  $1,5^\circ C$ , у середовищі зелених дахів вона залишалась сталою (Köhler & Kaiser, 2019). У міському районі Китаю виявили, що температура зеленого даху знижується на  $0,4^\circ C$  на кожні 1000  $m^2$  збільшення його площі (Dong et al., 2020). Крім того, моделювання часткового покриття зеленим дахом на 30–50 % показало зниження температури на  $0,2$ – $3,8^\circ C$  (Huang & Wang, 2019; Imran et al., 2018; Yang & Bou-Zeid, 2019).

Шари рослинності та ґрунти на зелених дахах можуть забезпечувати теплоізоляцію, а випаровування і транспірація рослинності здатні знизити передачу тепла будівлям, що є актуальним у контексті зміни клімату. Відповідно енергетичні потреби будівель, обладнаних зеленими дахами менш чутливі до зовнішнього середовища і можуть споживати менше енергії для охолодження та обігріву приміщень (Peng et al., 2019; Zheng et al., 2023). Не зважаючи на кліматичні умови, потенційна економія енергії при використанні зелених дахів варіює залежно від сезону (Sailor et al., 2008). Крім того, зелені дахи здатні зекономити більше енергії для будівель у денний час, коли температура повітря вища і сонячне випромінювання сильніше (Morakinyo et al., 2017).

**Поглинання вуглецю (червоний кластер).** Здатність рослин поглинати вуглець є різнобічною, оскільки на цей процес мають вплив різні ознаки та детермінанти довкілля. Серед них, наприклад, використання води

рослинами, температура повітря та відносна вологість. Загалом було визначено 16 значимих факторів, які впливають на поглинання вуглецю зеленими дахами (Wan Ismail et al., 2019).

Рослини зелених дахів засвоюють вуглець за допомогою фотосинтезу та повертають його частину в атмосферу за допомогою дихання (Kavehei et al., 2018; Shafique et al., 2020). Дослідження (Kuronuma & Watanabe, 2017) показали, що фізіологічні та морфологічні особливості типів рослинності мають значний вплив на поглинання вуглецю зеленими дахами. Наприклад, трави компенсують більше викидів CO<sub>2</sub> протягом життєвого циклу зелених дахів (Kuronuma et al., 2018). Було виявлено, що вони зменшують вуглецевий слід будівлі приблизно на 26 кг/м<sup>2</sup> (Seyedabadi et al., 2021). У дослідженні (Whittinghill et al., 2014) кількісно оцінено секвестрацію вуглецю різними типами зелених дахів та ландшафтних систем. Крім того, доведено, що річна здатність зелених дахів накопичувати вуглець становить від 0,37 до 30,12 кг/м<sup>2</sup> (Charoenkit & Yiemwattana, 2016).

**Збереження біорізноманіття (червоний кластер).** Однією з унікальних можливостей зробити зелені дахи стійкими є їх потенціал підтримувати місцеві рослини, рослинні угруповання та дику природу (Chen et al., 2021; Dvorak & Bousselot, 2021). Дослідження, проведені в Аргентині у різних контекстах урбанізації (від малих міст у напівсільських регіонах до великих міст) виявили, що загальне видове багатство, загальна чисельність членистоногих і видове різноманіття більшості функціональних трофічних груп були позитивно пов'язані з площею зелених дахів, а розмаїття рослин і зменшення ізоляції даху сприяло різноманітності членистоногих ентомофагів (Fabián et al., 2021). У Бельгії на 20 зелених дахах виявлено 40 різних видів диких бджіл, що свідчить про сприятливе для них середовище існування (Jacobs et al., 2023). Зелені дахи є не лише потенційною домівкою для місцевого біорізноманіття (павуків і жуків), але й є притулком для рідкісних і зникаючих видів, таких як птахи. Зелені дахи забезпечують безпечне середовище існування для безхребетних і хребетних у міських районах (Gedge & Kadas, 2005).

**Сталий розвиток (червоний кластер).** Зелені дахи проєктуються та реалізуються як штучні екосистеми, які підвищують стійкість міст, надаючи широкий спектр взаємодіючих послуг та переваг у різних масштабах (Vijayaraghavan, 2016; Saadatian et al., 2013; Williams et al., 2010). Процеси інтеграції зелених дахів у міське середовище актуалізуються їх внеском у циклічність та сталість міст (Calheiros & Stefanakis, 2021). Таким чином, наукові літературні джерела декількох останніх десятиліть виявили значну кількість супутніх переваг, що охоплюють широкий спектр областей стійкого розвитку та пропонують зелені дахи як популярне інженерне рішення у всьому світі для боротьби зі зміною клімату, пом'якшення наслідків теплових островів міст та покращення якості повітря і води (Mihalakakou et al., 2023). Переваги, що пропонують зелені дахи у контексті сталого розвитку, можна поділити на такі категорії (Vera et al., 2018; Castleton, et al., 2010):

– енергетичні переваги: багаточисленні теоретичні та експериментальні дослідження відзначили потенціал енергозбереження систем зеленими дахами (Niachou et al., 2001; Wong et al., 2003; Santamouris et al., 2007; Alexandri & Jones, 2007; Spala et al., 2008; Jaffal et al., 2012; Pandey & Hindoliya, 2012). Енергетичні переваги безпосередньо відображаються у зниженні навантаження на охолодження та опалення, значно залежать від характеристик будівлі та процесів теплопередачі. Слід зазначити також, що тип клімату, параметри конфігурації системи і особливо характеристики рослинного покриву, які впливають на затінення, випаровування, а також приховані та конвективні потоки, суттєво впливають на енергетичну поведінку системи (Jaffal et al., 2012; Kumar & Kaushik, 2005; Liu, 2014; Alcazar et al., 2016);

– екологічні переваги та якість повітря: зелена інфраструктура, яка включає зелені дахи, сприяє збільшенню осадження забруднювачів повітря на рослинних територіях, знижуючи концентрацію та очищуючи повітря (Tomson et al., 2021; Pugh et al., 2012), а також зниженню концентрації вуглекислого газу, перш за все, за рахунок зниження енергоспоживання будівель, а також завдяки тому, що рослини поглинають значні кількості CO<sub>2</sub> за рахунок фотосинтезу (Seyedabadi et al., 2021);

– екологічні переваги та якість води: дахи з рослинністю впливають на об'єм стічних вод, сприяючи пом'якшенню наслідків повеней, та поліпшенню їх якості і зменшенню кількості забруднюючих речовин дощових вод, оскільки рослини та ґрунтовий субстрат поглинають та фільтрують забруднюючі речовини, а також діють як поглиначі нітратного та аміачного нітрогену (Berndtsson et al., 2009; Gong et al., 2020; Liu et al., 2019);

– екосистемні переваги: зелені дахи надають важливі екосистемні послуги для стійкості міст, які, у першу чергу, пов'язані із збільшенням біорізноманіття та відновленням міст (Cristiano et al., 2021; Pauleit et al., 2019);

– соціально-естетичні та психологічні переваги: зелені дахи можуть забезпечити осередок миру та спокою у центрі міського середовища з меншим рівнем шуму та забруднення, і, таким чином, сприяти покращенню психологічного, фізичного здоров'я та благополуччя (Williams et al. 2019).

**Збір дощової води (синій кластер).** Одним із найдоступніших джерел безкоштовної води є зібрана дощова вода, ефективність систем збору якої залежить від типу клімату регіону та частоти опадів. Збір дощової води за допомогою зелених дахів набуває все більшої популярності у різних регіонах світу (Almeida et al., 2021; Burszta-Adamiak & Spychalski, 2021). Для збору дощової води зеленими дахами запропоновано декілька підходів. Серед них цистерни або резервуари для дощової води, очисні споруди та штучно створені водно-болотні угіддя (Chao-Hsien et al., 2014; Hazi Md Lani et al., 2018; Kucukkaaya et al., 2021). Важливим є належне проєктування та догляд для забезпечення тривалої ефективності зелених дахів щодо затримки стоку дощової води (Speak et al., 2013). Збір дощової води є стійким джерелом для зрошення зелених дахів, зменшує ерозію та забруднення зливовими стоками, а також допомагає

зменшити затоплення у густонаселених міських районах (Hardin et al., 2012; Islam et al., 2013). Слід зазначити, що системи збору дощової води потребують обслуговування, оскільки деякими дослідженнями була виявлена низька мікробна якість води (Al-Batsh et al., 2019; Dissanayake & Han, 2021). Проте, іншими дослідженнями доведено, що очищення та дезінфекції відповідними методами можуть перетворити зібрану дощову воду на питну (Alim et al., 2020).

**Затримка стоку (синій кластер).** Непроникні поверхні у міських районах збільшують частоту, об'єм та витрату дощових стоків порівняно із природними територіями, що призводить до деградації міських водних екосистем. Оскільки дахи складаються із більшої частини непроникних поверхонь, зелені дахи використовуються у якості інструменту управління міськими стоками (Zhang et al., 2018). Зелені дахи, завдяки своїй властивості затримувати опади, є ефективним методом зниження навантаження на міські дренажні системи (Nguyen et al., 2022; Kolasa-Więcek & Suszanowicz, 2021). Ефективність затримки зливових вод на зелених дахах залежить в основному від самої конструкції даху та клімату (Yan et al., 2022).

Експериментальними дослідженнями було встановлено високий рівень утримання опадів на рівні 73 % протягом 468 днів, за які випало 563,7 мм опадів (Zhou et al., 2018). Відповідно до інших досліджень, виявлено меншу кількість утриманих опадів через їх значну кількість, зокрема, 45,1 % при глибині опадів 1256,3 мм за рік, 50,2 % при випадінні 1892,2 мм за 27 місяців та 51,4 % при 481 мм за 5 місяців (Lee & Jim 2018; Stovin et al., 2012; Gregoire & Clausen et al., 2011). Найнижчий рівень утримання на рівні 11,9 % був обумовлений впливом на зелені дахи сильних опадів, а саме більше

300 мм із загальною глибиною 1102,7 мм за період дослідження 10 місяців (Wong & Jim, 2014). Крім того, доведено, що зелені дахи здатні видалити 80 % забруднюючих речовин із дощової води (Ávila-Hernández et al., 2023). Звичайні зелені дахи мають обмежену буферну здатність під час екстремальних злив, тому необхідним є створення додаткового шару, який здатний утримувати воду під зеленим шаром. Синьо-зелені дахи дозволяють зберігати більше зливових вод, а резервуар використовується в якості джерела води для зеленого шару. Доведено, що синьо-зелені дахи можуть утримувати від 70 до 97 % екстремальних опадів (Busker et al., 2022).

**Висновки.** В результаті опрацювання літературних джерел за ключовим терміном «зелені дахи» було оцінено їх основні переваги та їх роль у забезпеченні сталого розвитку міст. Зокрема, доведено, що зелений дах допомагає утримувати тепло взимку та охолоджувати приміщення влітку, що зменшує споживання електроенергії для опалення та кондиціонування повітря. Рослинність на дахах поглинає вуглекислий газ та інші забруднюючі речовини, що допомагає зменшити забруднення повітря та викиди шкідливих речовин. Зелені дахи затримують дощову воду, що зменшує ризик повеней та допомагає у збереженні водних ресурсів. Зелені дахи допомагають знижувати тепловий ефект міста, який виникає через асфальт, бетон та інші матеріали, що поглинають тепло, та створюють додаткове середовище для росту рослин та життя комах і птахів, що сприяє збереженню біорізноманіття. Зелені зони в містах сприяють зниженню рівня стресу, поліпшують настрій та здоров'я мешканців, роблять місто більш привабливим та приємним для проживання, створюючи зелені простори серед будівельної маси.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Al-Batsh, N., Al-Khatib, I. A., Ghannam, S., Anayah, F., Jodeh, S., Hanbali, G., Khalaf, B., & van der Valk, M. (2019). Assessment of rainwater harvesting systems in poor rural communities: a case study from Yatta area. *Palestine Water*, 11(3), 585.
2. Alcazar, S. S., Olivieri, F., & Neila, J. (2016). Green roofs: experimental and analytical study of its potential for urban microclimate regulation in Mediterranean-continental climates. *Urban Clim*, 17, 304–317.
3. Alexandri, E., & Jones, P. (2007). Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: comparison with experimental results. *Build Environ*, 42, 2835–2849.
4. Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., & Shirin, S. (2020). Suitability of roof harvested rainwater for potential potable water production: a scoping review. *J Clean Prod*, 248, 119226. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119226.
5. Almeida, A. P., Liberalesso, T., Silva, C. M., & Sousa, V. (2021). Dynamic modelling of rainwater harvesting with green roofs in university buildings. *J Clean Prod*, 312, 127655. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127655.
6. Ávila-Hernández, A., Simá, E., & Ché-Pan, M. (2022). Research and development of green roofs and green walls in Mexico: A review. *Sci Total Environ.*, 15; 856(Pt 1), 158978. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158978.
7. Berndtsson, J. C., Bengtsson, L., & Jinno, K. (2009). Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Justyna Ecol Eng*, 35, 369–380.
8. Bianchini, F., & Hewage, K. (2012). How "green" are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*, 48, 57–65. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132311002895>.
9. Burszta-Adamiak, E., & Spychalski, P. (2021). Water savings and reduction of costs through the use of a dual water supply system in a sports facility. *Sustain Cities Soc*, 66, 102620. doi: 10.1016/j.scs.2020.102620.
10. Busker, T., de Moel, H., Haer, T., Schmeits, M., van den Hurk, B., Myers, K., Cirkel, D. G., & Aerts, J. (2022). Blue-green roofs with forecast-based operation to reduce the impact of weather extremes. *J Environ Manage*, 1;301, 113750. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113750.
11. Cao, J., Hu, S., Dong, Q., Liu, L., & Wang, Z. (2019). Green roof cooling contributed by plant species with different photosynthetic strategies. *Energy Build.*, 195, 45–50. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.04.046.
12. Calheiros, C. S. C., & Stefanakis, A. I. (2021). Green Roofs Towards Circular and Resilient Cities. *Circ Econ Sustain.*, 1(1), 395–411. doi: 10.1007/s43615-021-00033-0.

13. Cascone, S. (2019). Green Roof Design: State of the Art on Technology and Materials. *Sustainability*, 11, 3020.
14. Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B. M., & Davison, J. B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy Build*, 42, 1582–1591.
15. Chao-Hsien, L., En-Hao, H. & Yie-Ru, C. (2014). Designing a rainwater harvesting system for urban green roof irrigation. *Water Supply*, 15(2), 271–277. doi: 10.2166/ ws. 2014. 107.
16. Chen, Y., Wang, Y., Liew, J. H., & Wang, P. L. (2021). Development of a methodological framework for evaluating biodiversity of built urban green infrastructures by practitioners. *J Clean Prod*, 303:127009. doi: 10.1016/j. jclepro. 2021. 127009.
17. Cook, L. M. & Larsen, T. A. (2021). Towards a performance-based approach for multifunctional green roofs: An interdisciplinary review. *Build. Environ.*, 188, 107489.
18. Cristiano, E., Deidda, R., & Viola, F. (2021). The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: a review. *Sci Total Environ.*, 20, 756, 143876. doi: 10.1016/j. scitotenv.2020.143876.
19. Dissanayake, J. & Han, M. (2021) The effect of number of tanks on water quality in rainwater harvesting systems under sudden contaminant input. *Sci Total Environ.*, 769, 144553. doi: 10.1016/j. scito. 2020. 144553.
20. Dong, J., Lin, M., Zuo, J., Lin, T., Liu, J., Sun, C., & Luo, J. (2020). Quantitative study on the cooling effect of green roofs in a high-density urban Area—a case study of Xiamen. *China J. Clean. Prod.*, 255, 120152. doi: 10.1016/j. jclepro.2020.120152.
21. Dvorak, B., & Boussetot, J. (2021). Theoretical development of ecoregional green roofs. *Ecoregional green roofs: theory and application in the Western USA and Canada*. Springer International Publishing, 41–79. doi: 10.1007/978-3-030-58395-8\_2.
22. Fabián, D., González, E., Sánchez Domínguez, M. V., Salvo, A., & Fenoglio, M. S. (2021). Towards the design of biodiverse green roofs in Argentina: assessing key elements for different functional groups of arthropods. *Urban Fore Urban Greening*, 61, 127107. doi: 10.1016/j. ufug. 2021. 127107.
23. Gedge, D., & Kadas, G. (2005). Green roofs and biodiversity. *Biologist*, 52(3), 161–169.
24. Gnatuk, L., & Nesteruk, I. (2021). Green roofs in modern urban development. Theory and practice of design. *Landscaping*, 2(23), 126–133. doi: 10.18372/2415-8151.23.16278.
25. Gong, Y., Zhang, X., Li, J., Fang, X., Yin, D., & Xie, P. (2020). Factors affecting the ability of extensive green roofs to reduce nutrient pollutants in rainfall runoff *Sci Total Environ.*, 732. Article 139248.
26. Gregoire, B. G., & Clausen, J. C. (2011). Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecol. Eng.*, 37, 963–969.
27. Hafizi Md Lani, N., Yusop, Z., & Syafiuddin, A. (2018). A review of rainwater harvesting in Malaysia: prospects and challenges. *Water*, 10(4):506. doi: 10.3390/ w1004 0506.
28. Hardin, M., Wanielista, M., & Chopra, M. (2012). A mass balance model for designing green roof systems that incorporate a cistern for re-use. *Water*, 4(4), 914–931. doi: 10.3390/ w4040 914.
29. Herasymchuk, L. O., & Valerko, R. A. (2020). 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, 85–101. doi: 10.30525/978-9934-588-73-0/1.6.
30. Herasymchuk, L. O., Valerko, R. A., & Patseva, I. G. (2023). Air temperature change manifestation at the Zhytomyr territory. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (29), 6–16. doi: 10.26565/1992-4259-2023-29-01.
31. Huang, X., & Wang, Y. (2019). Investigating the effects of 3D urban morphology on the surface urban heat island effect in urban functional zones by using high-resolution remote sensing data: a case study of Wuhan, Central China *ISPRS J. Photogramm. Remote. Sens.*, 152, 119–131. doi: 10.1016/j. isprsjrs.2019.04.010.
32. Hussien, A., Jannat, N., Mushtaha, E., & Al-Shammaa, A. (2023). A holistic plan of flat roof to green-roof conversion: Towards a sustainable built environment. *Ecol. Eng.*, 190, 106925.
33. Imran, H. M., Kala, J., Ng, A. W. M., & Muthukumar, S. (2018). Effectiveness of green and cool roofs in mitigating urban heat island effects during a heatwave event in the city of Melbourne in southeast Australia. *J. Clean. Prod.*, 197, 393–405, doi: 10.1016/j. jclepro.2018.06.179.
34. Irga, Peter J., Fleck, R., Arsenteva, E., & Torpy, Fraser R. (2022). Biosolar green roofs and ambient air pollution in city centres: Mixed results. *Building and Environment*, 226, 109712. doi: 10.1016/j. buildenv.2022.109712.
35. Islam, S., Lefsrud, M., Adamowski, J., Bissonnette, B., & Busgang, A. (2013). Design, construction, and operation of a demonstration rainwater harvesting system for greenhouse irrigation at McGill University. *Canada Horttechnology*, 23(2), 220–226.
36. Jacobs, J., Beenaerts, N., & Artois, T. (2023). Green roofs and pollinators, useful green spots for some wild bee species (Hymenoptera: Anthophila), but not so much for hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Sci Rep.*, 26, 13(1), 1449. doi: 10.1038/s41598-023-28698-7.
37. Jaffal, I., Ouldoukhitine, S. E., & Belarbi, R. (2012). A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renew Energy*, 43, 157–164.
38. Jamei, E., Chau, H. W., Seyedmahmoudian, M., & Stojcevski, A. (2021). Review on the cooling potential of green roofs in different climates. *Sci Total Environ.*, 15, 791, 148407. doi: 10.1016/j. scitotenv.2021.148407.
39. Joshi, M. Y., & Teller, J. (2021). Urban Integration of Green Roofs: Current Challenges and Perspectives. *Sustainability*, 13, 12378. doi: 10.3390/su132212378.
40. Kavehei, E., Jenkins, G. A., Adame, M. F., & Lemckert, C. (2018). Carbon sequestration potential for mitigating the carbon footprint of green stormwater infrastructure. *Renew Sustain Energy Rev*, 94, 1179–1191. doi: 10.1016/j. rser. 2018. 07. 002.

41. Kolasa-Więceć, A. & Suszanowicz, D. (2021). The green roofs for reduction in the load on rainwater drainage in highly urbanised areas. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 28(26), 34269–34277. doi: 10.1007/s11356-021-12616-3.
42. Köhler, M. & Kaiser, D. (2019). Evidence of the climate mitigation effect of green roofs—a 20-Year weather study on an extensive green roof (EGR) in Northeast Germany. *Buildings*, 9 (7), 157. doi:10.3390/buildings9070157.
43. Kucukkaya, E., Kelesoglu, A., Gunaydin, H., Kilic, G. A. & Unver, U. (2021). Design of a passive rainwater harvesting system with green building approach. *Int J Sustain Energ*, 40(2), 175–187. doi: 10.1080/14786451.2020.1801681.
44. Kumar, R. & Kaushik, S. C. (2005). Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. *Build Environ*, 40, 1505–1511.
45. Kuronuma, T. & Watanabe, H. (2017). Relevance of carbon sequestration to the physiological and morphological traits of several green roof plants during the first year after construction. *Am J Plant Sci*, 08, 14–27. doi: 10.4236/ajps.2017.81002.
46. Kuronuma, T., Watanabe, H., Ishihara, T., Kou, D., Touda, K., Ando, M., & Shindo, S. (2018). CO<sub>2</sub> payoff of extensive green roofs with different vegetation species. *Sustainability*, 10, 2256. doi: 10.3390/su10072256.
47. Kuz'mins'ka, D. O., & Kravchenko, O. V. (2021). Zeleni dakhy yak odyin iz zakhodiv adaptatsiyi mis'koho sere-dovyshcha do zmin klimatu [Green roofs as one of the measures to adapt the urban environment to climate change]. *Ekolo-hiya ta okhorona navkolishn'oho sere-dovyshcha*, (1), 10–17 (in Ukrainian). Access mode: <http://eko.nau.edu.ua/article/view/235872>
48. Lee, L. S., & Jim, C. Y. (2018). Thermal-cooling performance of subtropical green roof with deep substrate and woodland vegetation. *Ecol. Eng.*, 119, 8–18.
49. Leotta, L., Toscano, S., & Romano, D. (2023). Which Plant Species for Green Roofs in the Mediterranean Environ-ment? *Plants (Basel)*, 27, 12(23), 3985. doi: 10.3390/plants12233985.
50. Liu, M. (2014). Probabilistic prediction of green roof energy performance under parameter uncertainty. *Energy*, 77, 667–674.
51. Liu, W., Wei, W., Chen, W., Deo, R. C., Si, J., & Xi, H. (2019). The impacts of substrate and vegetation on stormwater runoff quality from extensive green roof. *J Hydrol*, 576, 575–582.
52. Melnyk, O. P., & Oliynyk, M. P. (2020). Zeleni dakhy yak element pryrodnoho blahoustroyu mist [Green roofs as an element of natural landscaping of cities]. *Enerhetyka ta pryrodni resursy*, (1), 60–6 (in Ukrainian). Access mode: <http://science.lpnu.ua/enp/all-volumes/2020-rik/vyipusk-1/melnik-o-p-oliynyk-m-p>
53. Mihalakakou, G., Souliotis, M., Papadaki, M., Halkos, G., Paravantis, J. A., Makridis, S., & Papaefthymiou, S. (2022). Applications of earth-to-air heat exchangers: A holistic review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 155, 111921.
54. Mihalakakou, G., Souliotis, M., Papadaki, M., Menounou, P., Dimopoulos, P., Kolokotsa, D., Paravantis, J., Tsan-grassoulis, A., Panaras, G., & Giannakopoulos, E. (2023). Green roofs as a nature-based solution for improving urban sus-tainability: Progress and perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 180, 113306.
55. Morakinyo, T. E., Dahanayake, K. W. D. K. C., Ng, E., & Chow, C. L. (2017). Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study. *Energy Build.*, 145, 226–237.
56. Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsagrassoulis, A. & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy Build*, 33, 719–729.
57. Nguyen, C. N., Muttill, N., Tariq, M. A. U. R. & Ng, A. W. M. (2022). Quantifying the Benefits and Ecosystem Services Provided by Green Roofs—A Review. *Water*, 14, 68. doi: 10.3390/w14010068.
58. Pandey, S. & Hindoliya D. A. (2012). Ritu mod, Artificial neural network for predation of cooling load reduction using green roof over building in Sustainable city. *Sustain Cities Soc*, 3, 37–45.
59. Patseva, I., Alpatova, O., Rybak, O., Tsyhanenko-Dziubenko, I., & Medvid, O. (2022). Ozelenennia dakhu yak zakhid po adaptatsii zminy klimatu na prykladi m. Zhytomyr [Rooftop gardening as an adaption measure of the climate changes a case study of Zhytomyr]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku*, 3, 67–74 (in Ukrainian). doi: 10.32782/pcsd-2022-3-9
60. Pauleit, S., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A., Haase, D., Hansen, R., Kowarik, I., Niemelä, J., Olafsson, A. & van der Jagt, A. (2019). Urban green infrastructure—Connecting people and nature for sustainable cities. *Urban For. Urban Green*, 40, 1–344.
61. Peng, L. L. H., Yang, X., He, Y., Hu, Z., Xu, T., Jiang, Z. & Yao, L. (2019). Thermal and energy performance of two distinct green roofs: Temporal pattern and underlying factors in a subtropical climate. *Energy Build.*, 185, 247–258.
62. Perivoliotis, D., Arvanitis, I., Tzavali, A., Papakostas, V., Kappou, S., Andreacos, G., Fotiadi, A., Paravantis, J. A., Souliotis, M. & Mihalakakou, G. (2023). Sustainable Urban Environment through Green Roofs: A Literature Review with Case Studies. *Sustainability*, 15, 15976. doi: 10.3390/su152215976.
63. Poursoleyman, M., Tziritis, E., & Papadopoulos, A. M. (2022). A review of quantitative models for designing green roofs. *Sustainability*, 14(3), 1605. Access mode: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1605>.
64. Pugh, T. A. M., MacKenzie, A. R., Whyatt, J. D., & Hewitt, C. N. (2012). Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environ Sci Technol.*, 46, 7692–7699.
65. Rafael, S., Correia, L. P., Ascenso, A., Augusto, B., Lopes, D., & Miranda, A. I. (2021). Are green roofs the path to clean air and low carbon cities? *Sci Total Environ.*, 1, 798, 149313. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149313.
66. Ramasubramanian, P., Starry, O., Rosenstiel, T., & Gall, E. T. (2019). Pilot study on the impact of green roofs on ozone levels near building ventilation air supply. *Build. Environ.*, 151, 43–53.
67. Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environ Pollut.*, 159(8-9), 2100–2110. doi: 10.1016/j.envpol.2010.10.029.

68. Rybak, O., & Patseva, I. (2023). Zeleni dakhy yak element detsentralizovanoho upravlinnya doshchovoyu vodoyu [Green roofs as an element of decentralized rainwater management]. *Problemy khimiyi ta staloho rozvytku*, 2, 40–46 (in Ukrainian). doi: 10.32782/pcsd-2023-2-6
69. Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., & Saadatian, E. (2013). A review of energy aspects of green roofs. *Renew Sustain Energy Rev.*, 23, 155–168.
70. Sailor, D. J. (2008). A green roof model for building energy simulation programs. *Energy Build.*, 40, 1466–1478.
71. Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Sol. Energy*, 103, 682–703, doi: 10.1016/j.solener.2012.07.003.
72. Santamouris, M., Pavlou, C., Doukas, P., Mihalakakou, G., Synnefa, A., Hatzibiros, A. (2007). Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens. *Greece Energy*, 32, 1781–1788.
73. Santamouris, M., & Vasilakopoulou, K. (2021). Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation. *E-Prime. Adv. Electr. Eng. Electron. Energy*, 1, 100002.
74. Scolaro, T. P., & Ghisi, E. (2022). Life cycle assessment of green roofs: A literature review of layers materials and purposes. *Sci Total Environ.*, 10, 829, 154650. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154650
75. Sertuk, O. O., Naydenko, V. V., & Romashchenko, M. I. (2022). Zeleni dakhy yak instrument adaptatsiyi mist do zmin klimatu [Green roofs as a tool for adapting cities to climate change]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya*, 62, 156–166 (in Ukrainian). Access mode: <https://nukpjjournal.org.ua/index.php/cpam/article/view/741>
76. Seyedabadi, M. R., Eicker, U., & Karimi, S. (2021). Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. *Environ Challenges*, 4, 100119. doi: 10.1016/j.envc.2021
77. Shafique, M., Xue, X., & Luo, X. (2020). An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas. *Urban For Urban Greening*, 47. doi: 10.1016/j.ufug.2019.126515.
78. Shahmohammadmirab, M., Hosseinzadeh, M., Dvorak, B., Bordbar, F., Shahmohammadmirab, H., & Aghamohammadi, N. (2022). Sustainable green roofs: a comprehensive review of influential factors. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 1–27. doi: 10.1007/s11356-022-23405-x.
79. Spala, A., Bagiorgas, H. S., Assimakopoulos, M. N., Kalavrouziotis, J., Matthopoulos, D., & Mihalakakou, G. (2008). On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential. *Renew Energy*, 33, 173–177.
80. Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2013). Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. *Science of the Total Environment*, 461, 28–38. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713004908>.
81. Stovin, V., Vesuviano, G., & Kasmin, H. (2012). The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *J. Hydrol.*, 414, 148–161.
82. Suszanowicz, D., & Więcek, K. A. (2019). The impact of green roofs on the parameters of the environment in urban areas—Review. *Atmosphere*, 10, 792.
83. Terrassa-Soler, S., Valls-Monserrat, J., Marin-Palma, G., & Pérez-Navarro, A. (2023). Long-term monitoring and modelling of extensive green roof behaviour in a Mediterranean climate. *Sustainability*, 15(5), 4289. Access mode: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/5/4289>.
84. Tomson, M., Kumar, P., Barwise, Y., Perez, P., Forehead, H., & French, K. (2021). Green infrastructure for air quality improvement in street canyons *Environ Int*, 146, Article 106288.
85. Tong, Z., Whitlow, T. H., Landers, A., & Flanner, B. (2016). A case study of air quality above an urban roof top vegetable farm. *Environ. Pollut.*, 208, 256–260.
86. Vera, S., Pinto, C., Tabares-Velasco, P. C., & Bustamante, W. (2018). A critical review of heat and mass transfer in vegetative roof models used in building energy and urban environment simulation tools. *Appl Energy*, 232, 752–764.
87. Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renew Sustain Energy Rev*, 57, 740–752.
88. Wan Ismail, W. Z., Abdullah, M. N., & Che-Ani, A. I. (2019). A review of factors affecting carbon sequestration at green roofs. *J Facil Manag.*, 17(1), 76–89. doi: 10.1108/JFM-11-2017-0069.
89. Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., & Cregg, B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. *Landscape and Urban Planning*, 123, 41–48. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204613002276>.
90. Williams, K. J. H., Lee, K. E., Sargent, L., Johnson, K. A., Rayner, J., & Farrell, C. (2019). Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers. *Urban For Urban Green*, 44, Article 126399.
91. Williams, N. S. G., Rayner, J. P., Raynor, K. J. (2010). Green roofs for a wide brown land: opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban For Urban Green*, 9, 245–251.
92. Wong, N. H., Cheong, D. K. W., Yan, H., Soh, J., Ong, C. L., & Sia, A. (2003). The effects of roof top garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy Build*, 35, 353–364.
93. Wong, G. K., & Jim, C. Y. (2014). Quantitative hydrologic performance of extensive green roof under humid-tropical rainfall regime. *Ecol. Eng.*, 70, 366–378.
94. Yan, J., Zhang, S., Zhang, J., Zhang, S., Zhang, C., Yang, H., Wang, R., & Wei, L. (2022). Stormwater retention performance of green roofs with various configurations in different climatic zones. *J Environ Manage*, 1, 319. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115447.
95. Yang, J., & Bou-Zeid, E. (2019). Scale dependence of the benefits and efficiency of green and cool roofs *Landsc. Urban Plan.*, 185, 127–140, doi: 10.1016/j.landurbplan.2019.02.004.



96. Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmos. Environ.*, 42, 7266–7273.
97. Yao, S., Wang, Q., Zhang, J., Zhang, R., Gao, Y., Zhang, H., Li, J., & Zhou, Z. (2021). Ambient volatile organic compounds in a heavy industrial city: Concentration, ozone formation potential, sources, and health risk assessment. *Atmospheric Pollution Research*, 12, 5, 101053. doi: 10.1016/j.apr.2021.101053.
98. Zhang, Z., Szota, C., Fletcher, Tim D., Williams, Nicholas S. G., Werdin, J., & Farrell, C. (2018). Influence of plant composition and water use strategies on green roof stormwater retention, *Science of The Total Environment*, 625, 775–781, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.231.
99. Zheng, X., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Yang, S., Liu, H., & Huang, J. (2023). Green roof cooling and carbon mitigation benefits in a subtropical city. *Urban For. Urban Green*, 86, 128018.
100. Zhou, L. W., Wang, Q., Li, Y., Liu, M., & Wang, R. Z. (2018). Green roof simulation with a seasonally variable leaf area index. *Energy Build.*, 174, 156–167.

**Valerko R. A.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

**Herasymchuk L. O.**, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

**Belmega I. V.**, PhD student, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

**Shatsilo Ye. G.**, PhD student, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

### **Green roofs as a direction of scientific research**

Green roofs are artificial ecosystems that provide a natural solution to environmental problems such as climate change and the urban heat island. Green roofs help save both cooling and heating energy; settle solid particles and reduce air pollution; control effluents and water pollution; increase the amount of biodiversity and ensure its sustainability, as well as have aesthetic and psychological benefits and thus play a significant role in ensuring the sustainable development of cities. The goal of this study was the systematization and analysis of scientific research in the field of green roofs. The analysis of literary sources was carried out using the VOSviewer program. The constructed cloud of bibliographic research consists of 4 clusters, which were conventionally named: "green roofs", "cities", "conservation of natural resources" and "water". An analysis of literary sources was carried out according to the main keywords of the corresponding cluster.

In particular, two key terms were singled out in the green cluster (cities), namely atmospheric air quality and climate. Green roofs have the potential to reduce emissions of toxic pollutants when implemented on a large scale and can have a positive effect on air quality, and are also able to regulate the urban thermal climate thanks to vegetation that lowers the air temperature in the city and provides thermal insulation of urban buildings and structures. In the red cluster (conservation of natural resources), the most attention is paid to the terms carbon dioxide absorption, biodiversity and sustainable development. Grasses have been proven to offset more CO<sub>2</sub> emissions over the life cycle of green roofs, and the annual carbon sequestration capacity of green roofs ranges from 0.37 to 30.12 kg/m<sup>2</sup>. Green roofs are not only a potential home for local biodiversity, but also provide refuge for rare and endangered bird species and provide a safe habitat for invertebrates and vertebrates in urban areas. A significant number of co-benefits have been demonstrated, covering a wide range of sustainable development areas, suggesting green roofs as a popular engineering application worldwide to combat climate change, mitigate urban heat islands, and improve air and water quality. The most iconic terms of the blue cluster (rain) are: rainwater collection and retention of runoff from roofs. Green roofs, due to their ability to retain precipitation, are an effective method of reducing the load on urban drainage systems.

**Key words:** green roofs, sustainable development, climate change, air quality, precipitation.