

КОМПЛЕКСНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЇ ПІД ЕКСТЕНСИВНИЙ ЗЕЛЕНИЙ ДАХ, ПІДБІР РОСЛИННОГО АСОРТИМЕНТУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ДОГЛЯДУ

Рибак О. С., Герасимчук Л. О.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005

ke_ros@ztu.edu.ua,

Gerasim4uk@ukr.net

Представлено комплексне дослідження технологій створення та обслуговування екстенсивних зелених дахів як важливого елементу екологічної міської архітектури. Досліджено детальну типологічну класифікацію зелених дахів, що включає екстенсивні типи з їх підвидами. Для екстенсивних дахів виділено чотири основні форми: мохово-лишайникове, трав'янисте, газонне та лучно-степове озеленення. На практиці використовуються спеціалізовані типи таких дахів – легкий, ретенційний, біорізноманіття та сонячний зелений. В статті описано технічні характеристики кожного типу, враховуючи товщину субстрату, допустиме навантаження та особливості конструкцій. Створено систематизовану таблицю рослин з урахуванням їх морфологічних особливостей, вимог до умов вирощування та функціональних характеристик. За аналізом наукових досліджень для екстенсивних дахів рекомендовано використання посухостійких видів рослин таких, як седуми та очитки (сукуленти) та низькорослих трав. Розроблено детальні рекомендації з технічного обслуговування таких об'єктів. Для екстенсивних дахів запропоновано систему мінімального догляду з періодичністю від щоквартальної до річної. Результати дослідження створюють теоретичне та практичне підґрунтя для широкого впровадження технології зелених дахів у міському будівництві, що сприятиме розвитку сталої архітектури та покращенню екологічного стану міст.

Екстенсивні зелені дахи демонструють значний потенціал у покращенні міського середовища через низку екологічних переваг. Дослідження показало, що такі системи здатні знижувати температуру повітря на 2–4°C через евапотранспірацію і поглинати 1,5–2 кг CO₂ на квадратний метр щорічно та затримувати 40–60% річної кількості опадів. Особливу увагу приділено аналізу конструктивних особливостей різних типів екстенсивних дахів, що дозволяє оптимізувати їх функціональність відповідно до конкретних умов застосування.

Важливим аспектом дослідження є економічна ефективність екстенсивних зелених дахів. При правильному проектуванні та дотриманні технології монтажу, термін дії системи складає 40–50 років, що робить їх довгостроковою інвестицією в екологічну інфраструктуру міста. Розроблені рекомендації щодо догляду та обслуговування враховують специфіку українських кліматичних умов що дозволяють мінімізувати експлуатаційні витрати при збереженні високої ефективності системи.

Ключові слова: зелений дах, екстенсивне озеленення, рослинний, тепловий острів, технічне обслуговування, міська екологія, стала архітектура.

Comprehensive guidelines for extensive green roof design, plant selection, and maintenance.
Rybak O., Herasymchuk L.

This study presents a comprehensive analysis of technologies for the development and maintenance of extensive green roofs as a key element of ecological urban architecture. A detailed typological classification of green roofs is provided, focusing on extensive systems and their subtypes. Four primary forms of extensive green roofs are identified: moss-lichen, herbaceous, turf, and meadow-steppe vegetation. In practice, specialized types of extensive green roofs are commonly used, including lightweight, retention, biodiversity, and solar green roofs. The article outlines the technical characteristics of each type, considering substrate thickness, permissible load capacity, and structural features.

A systematically organized plant selection table is developed, accounting for morphological traits, growth requirements, and functional properties. Based on scientific analysis, drought-resistant species such as sedums and stonecrops (succulents), along with low-growing grasses, are recommended for extensive green roofs. Detailed maintenance guidelines are proposed, advocating a minimal-care system with maintenance intervals ranging from quarterly to annual inspections.

The study provides both theoretical and practical foundations for the widespread adoption of green roof technology in urban construction, contributing to sustainable architecture and improved environmental conditions in cities.

Extensive green roofs offer significant potential for enhancing urban environments due to their numerous ecological benefits. Research findings indicate that these systems can lower air temperatures by 2–4°C through evapotranspiration, absorb 1.5–2 kg of CO₂ per square meter annually, and retain 40–60% of yearly precipitation. Special attention is given to the structural characteristics of various extensive green roof types, optimizing their functionality for specific applications.

A key aspect of the study is the economic efficiency of extensive green roofs. When properly designed and installed, these systems have a lifespan of 40–50 years, making them a long-term investment in urban ecological infrastructure. The proposed maintenance recommendations consider Ukraine's climatic conditions, allowing for minimized operational costs while maintaining high system efficiency.

Keywords: green roof, extensive greening, plant selection, urban heat island, maintenance, urban ecology, sustainable architecture.

Постановка проблеми

В сучасних умовах урбанізації та кліматичних змін гостро постає проблема ефективного використання міського простору та покращення екологічного стану міст. Зелені дахи являють собою інноваційне рішення, яке дозволяє компенсувати втрату зелених зон при забудові, а також створити додаткові екологічні переваги для міського середовища [1-6].

Актуальність дослідження

Станом на 2023 року площа зелених дахів у світі перевищує 2,4 млн м². Серед країн Європи Німеччина виявилась лідером із впровадження зелених дахів – близько 14% всіх плоских дахів озеленені, що складає 86 млн м². У Франції з 2015 року нові побудовані комерційні будівлі повинні мати частково озеленені дахи. В м. Копенгаген (Данія) з 2010 року всі нові плоскі дахи з нахилом менше 30° повинні бути озелененими повністю. У США площа зелених дахів щорічно зростає на 10–15%. В Україні технологія зелених дахів лише починає розвиватися – загальна площа становить близько 10000 м², переважно у великих містах (м. Київ, Львів, Харків). Із огляду викладеного, дослідження є актуальним через зростаючу потребу в екологічних рішеннях для міської забудови, необхідність підвищення енергоефективності будівель та адаптації міст до кліматичних змін. Слід визначити, що зелені дахи суттєво відрізняються за навантаженням на конструкцію, глибиною субстрату, вимогами до обслуговування та можливостями озеленення. Розуміння цих відмінностей дозволить прийняти обґрунтоване рішення щодо оптимального варіанту із врахуванням структурних можливостей будівлі та бюджету.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота пов'язана з реалізацією стратегій сталого розвитку міст, підвищенням енергоефективності будівель та розвитком зеленої інфраструктури. Дослідження відповідає сучасним тенденціям екологізації будівництва та архітектури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізовано сучасні дослідження щодо техноло-

гій створення екстенсивних зелених дахів, дослідження дикорослих рослин, очищення повітря, зниження теплового острова, біорізноманіття на дахах будівель та управління дощовою водою. Особлива увага приділена німецькому досвіду, де близько 90% зелених дахів функціонують на основі природного зрошення.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Недостатньо дослідженими залишаються питання адаптації технологій зелених дахів до локальних кліматичних умов, оптимізації систем догляду та довгострокової експлуатації в різних умовах.

Новизна дослідження полягає в тому, що вперше розроблено комплексний аналіз екстенсивного зеленого даху з детальними технічними характеристиками та рекомендаціями щодо догляду для території України. Створено систематизовану таблицю рослин для даного типу озеленення з урахуванням їх функціональних особливостей.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розроблені рекомендації створюють методологічну основу для проєктування та впровадження зелених дахів у міському будівництві, що сприяє

розвитку сталої архітектури та екологічного будівництва.

Викладення основного матеріалу. У класифікації зелених дахів розрізняють екстенсивні та інтенсивні зелені дахи. Варто зазначити, що існує проміжний варіант – просте інтенсивне озеленення, яке поєднує характеристики обох типів. Цей змішаний тип часто називають напівінтенсивним або складним екстенсивним озелененням. В статті розглянуті саме екстенсивні зелені дахи.

Особливо цікавим є те, як структура зеленого даху повторює природні системи. Спостерігається чітка паралель між шарами зеленого даху та природними ґрунтовими горизонтами: конструкція даху відповідає материнській породі, а субстрат виконує роль гумусового верхнього шару ґрунту (табл. 1). Це не просто збіг – різні функціональні шари зеленого даху відтворюють природні функції ґрунту, що робить цю систему екологічно ефективною.

Головною перевагою екстенсивного типу озеленення даху є невелика будівельна висота та мала глибина субстрату, що робить його відносно легким. Завдяки цьому, такі дахи чудово підходять для модернізації існуючих будівель.

Таблиця 1

Шарові структури екстенсивних зелених дахів

Одношарова конструкція	Багатошарова конструкція
<p>1 – відповідна підконструкція даху (несуча функція, відповідна теплоізоляція);</p> <p>2 – гідроізоляція даху або коренезахисна мембрана;</p> <p>3 – захисний шар (шар із флісу, гумових гранульованих килимів тощо для захисту гідроізоляції даху від механічних пошкоджень);</p> <p>4 – великий одношаровий субстрат (8–10 см) (рослинний базовий шар);</p> <p>5 – рослинність (пристосований до посухи, давно сформований вид рослин; застосовується насінням, паростками седуми, багаторічниками з плоскими кульками або рослинними килимками).</p>	<p>4 – дренаж (2–6 см) (зберігання дощової води та скидання надлишків води до дренажних споруд; дренаж можна зробити з сипучих матеріалів);</p> <p>5 – фільтр фліс (0,5 см) (синтетичний фліс, який відокремлює дренаж від шару рослинності та запобігає вимиванню дрібних частинок у дренаж);</p> <p>6 – великий субстрат (5–15 см) (рослинний базовий шар; спеціальна, технічно виготовлена підкладка для багатошарового будівництва);</p> <p>7 – рослинність (види рослин, які перевірені протягом багатьох років і адаптовані до місця розташування).</p>

З проведених досліджень можна стверджувати, що найкраще використовувати низькорослі трави–седум або очиток (сукуленти) – вони відмінно справляються з екстремальними погодними умовами. Особливо важливо, що ці рослини стійкі до посухи, адже екстенсивні зелені дахи зазвичай, не потребують постійного поливу. Дослідження показали, що природні рослинні угруповання найкраще підходять для таких умов – вони невибагливі та самодостатні, а зрошення потрібно лише на початковому етапі росту [7]. Наприклад, в Німеччині близько 90% зелених дахів живляться виключно дощовою водою та рососою [8].

Щодо встановлення, варто надати перевагу таким варіантам покрівель: плоскі, похилі дахи (з кутом нахилу 5–15°) або скатні дахи (з нахилом до 45°).

В одношаровій конструкції екстенсивних зелених дахів рослинний шар має дренажні властивості, у багатошаровій – до основного шару рослинності додатково встановлюється дренажний шар (що особливо доцільно в регіонах, де випадають сильні та часті дощі), що дозволяє швидко злити зайву воду і уникнути перезволоження (табл. 1). Ефективність водовідведення та зменшення пікових навантажень під час сильних опадів можна покращити шляхом інфільтрації надлишкової води, що накопичується в резервних сховищах, назад у ґрунт.

Варто розуміти, що зелені дахи – не просто елемент озеленення, а складні багатофункціональні системи, які поєднують будівельні та ландшафтні елементи. Також результати дослідження вчених підтверджують їх суттєвий вплив на покращення екології міста та енергоефективність будівель [1–3, 9].

Екстенсивні зелені дахи здатні суттєво знижувати температуру міського середовища через такі механізми:

1. Евапотранспірація: рослини на даху випаровують воду через листя, охолоджуючи навколишнє повітря. За даними дослідження цей процес може знизити температуру повітря над дахом на 2–4°C [10].

2. Альbedo поверхні: зелені насадження мають вище альbedo порівняно з традиційними темними покрівельними матеріалами та доведено, що екстенсивні зелені дахи відбивають на 20–30% більше сонячної радіації [11].

3. Теплоізоляція: шар рослинності та субстрату забезпечує додаткову теплоізоляцію будівлі. Згідно з дослідженням науковців це може знизити потребу в охолодженні будівлі влітку на 25–40% [12].

4. Охолодження повітря: масове впровадження зелених дахів може знизити температуру повітря в місті на 0,3–3°C залежно від кліматичних умов та щільності забудови [13].

Дослідження також показали, що такі дахи через процес фотосинтезу, здатні поглинати 1,5–2 кг CO₂ на квадратний метр щорічно [14]. А також, що рослинність екстенсивних зелених дахів ефективно фільтрує забруднюючі речовини з повітря – один квадратний метр може уловлювати до 0,15 кг забруднювачів на рік, включно дрібнодисперсний пил (PM10 і PM2.5), оксиди азоту та інші шкідливі речовини [15]. Потрібно зазначити що, особливо ефективними у фільтрації повітря виявились мохи та сукуленти, які часто використовуються в екстенсивних системах через їх невибагливість [16]. Щодо біорізноманіття, визначено, що навіть тонкий субстрат екстенсивних дахів (7–15 см) здатний підтримувати різноманітні види комах та птахів, які створюють «степові» екосистеми на дахах [17]. Особливу цінність мають екстенсивні зелені дахи для збереження запилювачів у містах [18]. Стосовно управління водними ресурсами науковцями було встановлено, що екстенсивні зелені дахи здатні затримувати 40–60% річної кількості опадів, що значно зменшує навантаження на міську каналізацію [19]. Більше того, дослідження показало можливість використання попередньо очищеної сірої води для поливу рослин на екстенсивних дахах, що сприяє замкненому циклу водокористування в будівлі [20]. При цьому, важливо підбирати посухостійкі види рослин, які можуть витримувати певний рівень забруднень у сірій воді [21].

У разі реконструкції будівлі, варто віддати перевагу екстенсивним дахам: легкі – 60–150 кг/м², прості в обслуговуванні, висотою 60–200 мм, можуть встановлюватись на схилах до 30°. Для таких дахів доцільно використовувати сукуленти та мохи, які найкраще витримують посуху. Особливу увагу варто приділити конструкції даху, адже правильно підібрані матеріали та якісний монтаж забезпечать роботу

системи на 40-50 років. Кожен шар є важливим: гідроізоляція захищає від води, протикоренева мембрана рослин береже гідроізоляцію, дренаж відводить зайву вологу, фільтр утримує частки субстрату.

При впровадженні зеленої покрівлі на будівлях необхідно враховувати всі фактори: клімат, можливості конструкції, цілі встановлення та подальше обслуговування. Необхідно переконатися у якості матеріалів та дотриманні технології монтажу, що є критично важливим для довговічності системи.

Важливим є й ретельне проєктування кожного шару: оцінка несучої здатності покрівлі (має витримати всю систему), гідроізоляція та коренезахисна мембрана (захист будівлі), дренажний та фільтруючий шари (забезпечують правильний водний режим), підбір субстрату (з врахуванням запланованих рослин та місцевого клімату).

Дотримання означених рекомендацій забезпечить отримання надійної системи, що поєднує екологічні, економічні та естетичні переваги, а зелений дах стане ефективним елементом сталої архітектури та слугуватиме десятиліття.

Серед типів озеленення екстенсивних зелених дахів, з огляду використання рослин і отриману товщину субстрату, розрізняють (табл. 2): мохово-лишайниковий, трав'янистий, газонний та лучно-степовий. Такі типи озеленення мають низьку та середню висоту субстрату, максимальну водо-

ємність приблизно до 60% і добре підходять для швидкого та легкого озеленення великих площ даху. Однак слід стежити за тим, щоб субстрат мав достатню максимальну водоемність, особливо при використанні садової зелені та трави.

Правильний підбір рослин є важливим фактором успіху зеленого даху. Для екстенсивного типу оптимальні низькорослі, посухостійкі види: седуми, очитки та інші сукуленти, які витримують екстремальні погодні умови та потребують мінімального догляду (табл. 3). Врахування специфіки рослин для кожного типу даху забезпечить їх довготривале виживання та естетичну привабливість озеленення.

Екстенсивні зелені дахи можна додатково розділити на:

1. Легкий дах, що характеризується тонкошаровою конструкцією (товщина основи приблизно 4–6 см), що дає змогу озеленити покрівлі з низькою несучою здатністю. Тут використовують невеликої товщини основу. На цих дахах можна використовувати лише рослини, які ростуть на низьких шарах субстрату, наприклад, мохи та седуми. Утримання води відповідно низьке.

2. Ретенційний дах забезпечує високе поглинання та зберігання дощової води через дренажний шар з додатковими місцями для зберігання для зрошення рослин. Особливістю ретенційної покрівлі є установка так званої «дросельної заслінки», щоб контролювати максимальний

Таблиця 2

Технічні дані екстенсивних зелених дахів

Тип	Товщина субстрату	Характеристика рослинності	Приклади рослин
Мохово-лишайниковий	2-6 см	невибагливі низькорослі рослини, що витримують посуху	мохи, лишайники, очитки
Трав'янистий	6-12 см	псухостійкі трави та багаторічники	злакові трави, седуми, чебрець
Лучно-степовий	12-20 см	різноманітні трави та квітучі рослини	костриця, полин, шавлія
Газонний	15-25 см	газонні трави з регулярним доглядом	райграс, костриця червона, мятлик

Таблиця 3

Найпопулярніші види рослини для екстенсивних дахів

Ботанічна назва	Звичайна назва	Висота (мм)	Колір квітки	Період цвітіння (місяць)
Рослини з добре визначеною декорат. формою (групи 3, 5 або 7 шт.)				
<i>Dianthus carthusianorum</i>	Пучок	400	червоний	6 – 9
<i>Festuca Cinerea-Hybride</i>	Блакитна костриця	250 – 300	коричневий	6 – 7
<i>Gypsophila repens</i> <i>напр.</i> « <i>Rosa Schönheit</i> »	Перекотиполе	100 – 150	рожевий	5 – 7
<i>Helianthemum nummularium</i>	Сонцесвіт	50 – 100	жовтий	5 – 7
<i>Koeleria glauca</i>	Кипець сизий	450 – 500	блакитний	6 – 7
<i>Petrorhagia saxifraga</i>	Туніка каменоломкава	100 – 200	рожево-білий	6 – 9
<i>Saponaria ocymoides</i>	Мильнянка базиліколісна	150 – 200	рожевий	5 – 7
<i>Satureja montana</i> ssp. <i>illyrica</i>	Чабер зимовий	100 – 150	фіолетовий	8 – 9
<i>Saxifraga paniculata</i>	Ломикамінь живучий	200 – 250	білий	6 – 7
<i>Sempervivum-Hybriden</i>	Гібриди молодила	100 – 200	червоний / рожевий	7 – 8
Рослини-наповнювачі (мінімум чотири різних видів седуму)				
<i>Cerastium arvense</i> « <i>Compactum</i> »	Польова пісчанка	50 – 100	білий	5 – 6
<i>Hieracium pilosella</i>	Нечуйвітер волохатенький	150 – 200	жовтий	5 – 7
<i>Potentilla neumanniana</i>	Перстач Кранца	100 – 150	жовтий	3 – 4
<i>Prunella grandiflora</i>	Чорногोलівка крупноквіткова	200	фіолетовий	6 – 8
<i>Thymus doerfleri</i> « <i>Bressingham Seedling</i> »	Чебрець Бресінгема	60 – 80	рожевий	5 – 7
<i>Thymus serpyllum</i>	Чебрець повзучий	50	фіолетовий	5 – 9
<i>Sedum album</i> varieties <i>Напр.</i> « <i>Coral Carpet</i> » « <i>Murale</i> »	Білі сорти седуму	50 – 100	білий білий блідо-рожевий	6 – 8
<i>Sedum caulicolum</i>	Марь стінна	100 – 150	рожевий	8 – 9
<i>Sedum floriferum</i> , « <i>Weihenstep. Gold</i> »	Золотистий седум	100 – 150	жовтий	6 – 7
<i>Sedum hybridum</i> « <i>Immergrünchen</i> »	Гібридна заяча капуста	100 – 150	жовтий	7 – 8
<i>Sedum reflexum</i>	Гачкуватий жовтий седум	200 – 250	жовтий	6 – 7
<i>Sedum sexangulare</i>	Прісний жовтий седум	50 – 100	жовтий	6 – 7
<i>Sedum spurium</i> в різновидах <i>Напр.</i> , « <i>Album Superbum</i> » « <i>Fuldaglut</i> » « <i>Roseum Superbum</i> » « <i>Splendens</i> » « <i>Variegatum</i> »	Драконова кров	100–150	білий **	7–8

** нечасте цвітіння

відтік води через накопичувальний елемент і регулювати її випуск протягом декількох годин або днів. Особливо слід розглянути статику утримуючих покрівель. Тут можливі проекти екстенсивних зелених дахів та інтенсивних зелених дахів, залежно від товщини шару основи. Однак покрівля без скату є обов'язковою умовою для монтажу підпірної покрівлі.

3. Дах біорізноманіття показує різні поверхні та висоту субстрату (прибл. 8–15 см, з насипами до 30 см), а також різні елементи дизайну. Комахи та особливо птахи віддають перевагу цьому типу зеленого даху завдяки цілеспрямованому та різноманітному вибору рослин. Покрівля з біорізноманіттям також може мати інтенсивний характер, наприклад, через накопичення субстратних насипів і висаджування більш високих багаторічних рослин або кущів. На цих дахах можна знайти мертве дерево та засоби для гніздування, як схованки для птахів і комах, а також пташині ванни та піщані нори [22]. Підтримка біорізноманіття зелених дахів є дещо складнішою, ніж звичайних дахів з травами, оскільки необхідно враховувати додаткові матеріали, що використовуються на даху.

4. Зелений сонячний дах являє собою комбінацію фотоелектричної системи з екстенсивним зеленим дахом. В основному тут використовують низькорослі рослини, наприклад, седуми, але також часто зустрічається зелень трав'яно-злакових рослин і трави. Озеленення позитивно впливає на сонячну систему, оскільки випаровування підвищує продуктивність сонячної системи, а зелений дах також захищає гідроізоляцію даху від термічного та механічного впливу. Існують також фотоелектричні системи, які підтримуються вагою конструкції зеленого даху, тому не потрібно проникати через мембрану даху. Обслуговування сонячних зелених дахів є складним, оскільки різні конструкції фотоелектричних систем не завжди забезпечують доступне обслуговування. Перш за все, низькорослі рослини слід розглядати в поєднанні з фотоелектричною системою, щоб полегшити обслуговування зеленого даху.

Створені рекомендації (табл. 4) допоможуть спланувати ефективне обслуговування екстенсивного зеленого даху. Графік робіт можна адаптувати залежно від кліматичних умов та специфіки об'єкта.

Таблиця 4

Рекомендації з обслуговування екстенсивних зелених дахів

Вид робіт	Періодичність	Основні заходи	Важливі примітки
Візуальний огляд	щоквартально	перевірка стану рослин, дренажу та гідроізоляції	особлива увага після сильних опадів
Догляд за рослинами	2–3 рази на рік	видалення бур'янів, обрізка, заміна загиблих рослин	використовувати тільки ручні інструменти
Удобрення	раз на рік (весна)	внесення повільнодіючих добрив, контроль рН	спеціальні добрива для седумів
Полив	при тривалій посухі	помірний полив вранці або ввечері	уникати перезволоження
Технічне обслуговування	1–2 рази на рік	очищення дренажу, перевірка стиків та гідроізоляції	проводити до і після зими
Сезонні роботи	за сезонами	підготовка до зими, весняна ревізія, прибирання листя	адаптувати до кліматичних умов
Моніторинг	щомісячно	контроль шкідників, спостереження за ростом	ведення журналу спостережень

Висновки

Результати дослідження створюють теоретичну та практичну основу для впровадження технології зелених дахів у міському будівництві України. Розроблені рекомендації щодо вибору конструкції та підбору рослин можуть бути використані при проектуванні нових об'єктів та реконструкції існуючих будівель. Систематизована інформація щодо технічного обслуговування дозволить оптимізувати процеси догляду за зеленими дахами.

Авторами досліджено, що екстенсивні зелені дахи є ефективним екологічним рішенням для міської забудови. Було визначено чотири основні типи екстенсивних зелених дахів: мохово-лишайниковий, трав'янистий, лучно-степовий та газонний. Розроблено систематизовану таблицю рослин для екстенсивних дахів, де найбільш ефективними виявились посухостійкі види: седуми, очитки та низькорослі трави. Встановлено, що при правильному проектуванні та дотриманні технології монтажу термін експлуатації такої системи складатиме 40–50 років.

Список використаних джерел

1. 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>.
2. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Бельмега І. В., Шацило Є. Г. Зелені дахи як напрям наукових досліджень. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія». 2024. № 1(55). С. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.1.5>.
3. 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>.
4. Герасимчук Л., Валерко Р., Розгон В., Маліновська 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/pcsd-2023-3-7>.
5. 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>.
6. 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>.
7. Рибак О. С., Пацева І. Г. Дослідження дикорослих рослин для екстенсивного озеленення дахів зони Полісся. Екологічні науки. 2024. № 1(52), т. 2. С. 168-171. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.31>.
8. DeNardo J. et al. Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. Transactions of the ASABE. 2005. Vol. 48. P. 1491-1496. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.19181>.
9. Пацева І., Алпатова О., Рибак О., Циганенко-Дзюбенко І., Медвідь О. Озеленення даху як захід по адаптації зміни клімату на прикладі м. Житомир. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2022. № 3. С. 67-74. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-3-9>.
10. Santamouris M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy. 2014. Vol. 103. P. 682-703. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2012.07.003>.
11. Wong N. et al. Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. Nature Reviews Earth & Environment. 2021. Vol. 2. P. 166-181. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>.
12. Berardi U., Ghaffarianhoseini A., Ghaffarianhoseini A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. Applied Energy. 2014. Vol. 115. P. 411-428. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2013.10.047>.
13. Alexandri E., Jones P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. Building and Environment. 2018. Vol. 43, № 4. P. 480-493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>.

14. Getter K. et al. Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental Science & Technology*. 2009. Vol. 43, № 19. P. 7564-7570. DOI: <https://doi.org/10.1021/ES901539X>.
15. Abhijith K. et al. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment*. 2017. Vol. 162. P. 71-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2017.05.014>.
16. Speak A. et al. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 61. P. 283–293. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2012.07.043>.
17. Madre F. et al. Green roofs as habitats for wild plant species in urban landscapes: First insights from a large-scale sampling. *Science of the Total Environment*. 2014. Vol. 496. P. 201–207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.028>.
18. Рибак О. С., Пацева І. Г. Збереження популяції бджіл на урбанізованих територіях через зелені дахи. *Бджільництво України*. 2024. № 12. С. 103-107. DOI: <https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2024.12.12>.
19. Stovin V., Poë S., Berretta C. A modelling study of long term green roof retention performance. *Journal of Environmental Management*. 2013. Vol. 131. P. 206-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.026>.
20. Rowe B. Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*. 2011. Vol. 159, № 8–9. P. 2100-2110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.029>.
21. Vijayaraghavan K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 57. P. 740–752. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>.
22. Рибак О. С. «Зелений дах-біорізноманіття»: технології будівництва, утримання, обслуговування та особливості контролю біотичної складової. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2023. № 5. С. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.5.4>.
-
-