

## МІСЬКЕ СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО — ЯК СКЛАДОВА КОНЦЕПЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ГРОМАДИ

Н.А. Пасічник<sup>1</sup>, О.Г. Тараріко<sup>2</sup>, Н.О. Ясінська<sup>3</sup>, О.О. Опришко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування  
МОН України (м. Київ, Україна)

e-mail: [n.pasichnyk@nubip.edu.ua](mailto:n.pasichnyk@nubip.edu.ua); ORCID: 0000-0002-2120-1552

e-mail: [ozon.kiev@nubip.edu.ua](mailto:ozon.kiev@nubip.edu.ua); ORCID: 0000-0001-6433-3566

<sup>2</sup> Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: [tarariko@ukr.net](mailto:tarariko@ukr.net); ORCID: 0000-0002-5132-0157

<sup>3</sup> Президія Національної академії аграрних наук України (м. Київ, Україна)

e-mail: [yasinska.nadiia@gmail.com](mailto:yasinska.nadiia@gmail.com); ORCID: 0000-0001-8100-019X

Для населення урбанізованих територій критично важливими стають питання якості та різноманітності доступних харчових продуктів, екологічної безпеки та гарантій сталою енергозабезпечення. Частина урбанізованих територій не може використовуватись безпосередньо для виробництва харчових продуктів з екологічних причин, проте цілком придатна для виробництва енергії з біомаси. Для створення стратегії переробки органічної біомаси з міських насаджень парків та скверів потрібно визначитись з інструментарієм для отримання та інтерпретації даних щодо наявної та перспективної кількості біомаси в містах, що і становило мету нашої роботи. Дослідження за допомогою безпілотних засобів здійснювали в ботанічному саду Національного університету біоресурсів і природокористування України, з використанням мульти-спектральної сенсорної системи Slanrange 3P з платформи БПЛА промислового типу. Дослідження скверів та газонів міста проводили з використанням архіву супутникових знімків у видимому діапазоні високої роздільної здатності — 0,5 м/піксель — та спеціалізованого сервісу аграрного призначення EO Browser із роздільною здатністю знімків у 10 м/піксель. Моніторинг парку з використанням комплексу Slanrange 3P, із спеціалізованим програмним забезпеченням SlantView, дав змогу ідентифікувати крони дерев та трав'яне покриття, водночас розрізнити ліани не вдалося. Найкращі результати ідентифікації для комплексу Slanrange було отримано для червоного та інфрачервоного каналів вимірювання. За використання даних супутникового моніторингу відмічена можливість ідентифікації біомаси дерев та кущів відбувається в умовах посухи, коли трава на газонах страждає більше, ніж дерева і кущі, очевидно, завдяки розвиненій кореневій системі. Відмічено, що супутникова зйомка зазвичай здійснюється під різними кутами і, відповідно, фіксуються як дахи, так і частково стіни будівель, а відповідно, саме така зйомка є більш придатною для оцінки біомаси перспективного вертикального озеленення за допомогою ліан.

**Ключові слова:** фітомаса міста, кількість фітомаси, дистанційний моніторинг.

### ВСТУП

В умовах тенденції на глобальну урбанізацію, яка є характерною для сучасного суспільства в Європі, населення може вирішувати свої питання щодо якості життя громадою, що створює як новітні проблеми, так і надає новітні можливості. Так, саме для урбанізованих територій для населення критично важливими стають питання якості та різноманітності доступних

харчових продуктів, екологічної безпеки та гарантій сталого енергозабезпечення. Такі різнопланові питання висвітлені в оглядових дослідженнях О.І. Дребот (2021) [1], Melissa N. Poulsen et al. (2015) [2], де показано, що найбільш ефективно вирішуються комплексними заходами, такими як концепція міського сільського господарства, яка активно просувається з 80-х років минулого сторіччя. Традиційними рішеннями для міського сільського господарства є тепличні комплекси на дахах будівель, гло-

© Н.А. Пасічник, О.Г. Тараріко,  
Н.О. Ясінська, О.О. Опришко, 2022

бальні тенденції та кількісне збільшення яких показано в роботі Elisa Appolloni et al. (2021) [3]. Такі рішення дають можливість покращити сумарну енергоефективність як власне теплиці за рахунок сучасних стратегій інтелектуального керування енергоспоживання, показаних у роботі A. Dudnyk et al. (2019) [4] та V. Lysenko et al. (2019) [5], так і загалом основної споруди. Однією з причин створення теплиць на дахах будівель є зменшення викидів CO<sub>2</sub>, який є одним із найвпливовіших парникових газів, утворення якого є наслідком життєдіяльності людини. Озелененням міст займається паркове господарство. Однією з причин культивування саме декоративних рослин на урбанізованих територіях є забруднення ґрунтів важкими металами, як показано в роботах S. Joimel et al. (2016) [6] для Франції, так і загальним зниженням родючості ґрунтів у містах, відміченим у роботі Enzai Du et al. (2022) [7] з Китаю. Окрім забруднення на урбанізованих територіях відбувається і зміна ґрунтогенезу, як показано в роботі В.В. Кацевич (2020) [8]. Отже, частина території на урбанізованих територіях, з екологічних причин, не може використовуватись безпосередньо для виробництва харчових продуктів, однак цілком придатна для виробництва енергії з біомаси, що обґрунтовано в роботах Mohammad M. Shahsavvar et al. (2021) [9].

У попередні роки, за наявності дешевих енергоресурсів, питаннями переробки міської фітомаси (опалого листя, обрізаних гілок тощо) нехтували, проте такий досвід існує стосовно географічно ізольованих острівних територій, де раціональне використання природних ресурсів актуальне. Так, за даними Keyu Bao et al. (2022) [10] для Réunion (a French) вдалось задовільнити до 22% електроенергії громади. В роботі Nicolás M. Clauser et al. (2021) [11] доведено доцільність створення спеціалізованих підприємств для переробки відходів фітомаси з міських територій, що мають бути адаптовані під оптимальну для громади сировину. Таку необхідність врахування технології виробництва було підтверджено і в роботі M. Zabldsky et al. (2020) [12],

де було показано, що на вихід біогазу при зброджуванні рослинної біомаси впливало не лише склад і об'єми рослинної сировини, а навіть і методика її подрібнення.

У розглянутих вище роботах [10; 11] для побудови стратегій переробки біомаси використовувались ГІС-технології при відомих обсягах сировини, що потребують адаптації до урбанізованих територій. Озеленення території міст передбачає норми щодо кількості дерев та кущів відповідно до питомої концентрації мешканців, однак у роботі Jie Ma et al. (2021) [13] увагу сконцентровано саме на ефективність поглинання і накопичення вуглецю деревами в місті за рахунок, насамперед, різниці габаритів рослинних насаджень. Відтак, незважаючи на наявність у державних структур інформації про вік, локацію і номенклатуру деревини в місті, важливо знати й їх габарити, що можуть варіюватись у широких межах. Відповідно, для створення стратегій переробки утилізаційної фітомаси міських територій потрібно визначитись з інструментарієм для отримання та інтерпретації об'єктивних даних, що і становило мету нашої роботи.

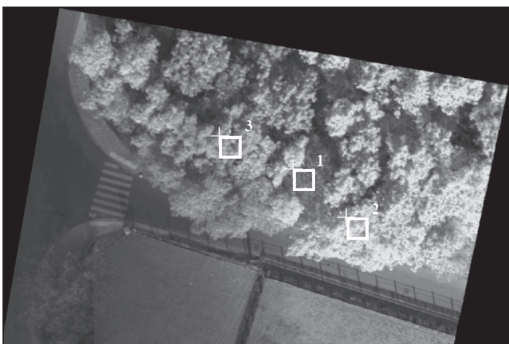
## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питання визначення обсягу фітомаси (габаритів рослин) актуальне для тепличних господарств, де для цього використовують різні технічні засоби і зокрема мобільні роботи, як показано в роботі V. Lysenko et al. (2019) [14], проте такий робот пересувався спеціальними коліями відсутніми у місті. Karolina Zięba-Kulawik et al. (2021) [15] для моніторингу міських лісів у Ліхтенштейні використали 3D сканування, ввівши поняття 3D ГІС, однак, враховуючи складність проведення досліджень та вартість обладнання, масштабування цієї технології для міст України сумнівна. Лазерні радары (LiDAR), на відміну від 3D сканерів, не здатні оцінювати внутрішню структуру об'єкта, проте можуть визначити параметри його поверхні. Таке знаряддя може бути встановленим на БПЛА для оцінки рослинних насаджень, що було екс-

периментально доведено в роботі Sadeera Jayathunga et al. (2018) [16], де автори задіяли потужну літакову платформу, можливість використання яких в умовах щільної забудови міст сумнівна. В оглядовій роботі Alvarez-Vanhard Emilien et al. (2021) [17] стосовно порівняння ефективності використання супутників та БПЛА для екологічного моніторингу показано доцільність поєднання цих технологій.

У роботах N. Pasichnyk et al. (2021) [16] та Masoud Mahdianpari et al. (2021) [19] здійснювали моніторинг біомаси міста з використанням супутникових знімків у видимому інфрачервоному діапазоні, де показали можливість розрізнити тип рослинності, проте вартість знімків із роздільною здатністю в 0,5 м/піксель є високою. Крім комерційних систем супутникового моніторингу, для наукової та комерційної діяльності доступні й стрімко розвиваються і державні наукові проекти з вільним доступом до оперативних та архівних спектральних даних, такі як Sentinel-2 (Copernicus programme of the European Union), із роздільною здатністю в 10 м/піксель. У роботі Bashir Adamu et al. (2021) [20] саме їх використовували для оцінки міської фітомаси західноафриканської савани, проте автори не ставили за мету відокремити траву від дерев та кущів, потенціал біомаси яких істотно різняться.

З огляду на аналіз літературних джерел, для моніторингу фітомаси міст найдоціль-



**Рис. 1.** Дослідні ділянки ботанічного саду НУБіП України: 1 — трава; 2 — крона дерева із додатковою ліаною; 3 — крона дерева

ніше використовувати поєднання супутникових рішень та БПЛА для вулиць, скверів та паркових зон відповідно. Оперативні супутникові знімки високої роздільної здатності є комерційним продуктом, але існують сервіси доступу до спектральних даних у видимому діапазоні Google Earth Pro (сервер kh.google.com), які доцільно розглянути. Потрібно перевірити можливість ідентифікації типу рослинних насаджень для міської рослинності від супутників, що надають загальнодоступні дані з середньою роздільною здатністю, зокрема Sentinel-2.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень було обрано ботанічний сад Національного університету біоресурсів і природокористування України (далі НУБіП), колекція якого містить майже весь спектр рослинних насаджень для озеленення міст півночі України (рис. 1).

Окрім традиційних для озеленення міст дерев та кущів, у саду є і перспективні для озеленення ліани. Моніторинг парку НУБіП проводили з висоти 100 м, з використанням гексакоптера DJI Matrice 600, сенсорна система Slangrange 3. Для позиціонування використовувались засоби штатного ПЗ SlantView, з його допомогою обчислювали також вегетаційні індекси.

Введення до колекції цих рослин обґрунтоване тим, що в частині мегаполісів України, за комерційного будівництва житлових комплексів спостерігається значне зростання щільності населення як за рахунок збільшення висотності новобудов, так і максимізації кількості будов на території комплексу. За досвідом Іспанії, викладеним у роботі Jaime Marlès Magre et al. (2019) [21], Китаю, представлені в Zhiwen Gao et al. (2021) [22], саме ліани можуть ефективно використовуватись для озеленення таких об'єктів.

Дослідними зразками міських скверів було вибрано 2 ділянки у м. Києві, зокрема вздовж вул. Прилужна, а також між вул. Чорнобильська і М. Ушакова. Вибір



**Рис. 2.** Фото ландшафту вул. Прилужна, м. Київ  
(дата зйомки 05.2019 р., отримана з сервісу Google maps)

саме цієї локації був обумовлений тим, що поруч знаходяться квартали, спроектовані за часів СРСР та сучасні новобудови, на *рис. 2* відповідно ліворуч та праворуч.

За часів СРСР щільність забудови була значно нижчою, завдяки чому було більше місця для розташування зелених насаджень. Скріншоти інтерфейсів знімка та карти зазначених ділянок наведені на *рис. 3*.



**Рис. 3.** Дослідні ділянки на супутникових знімках від сервісу Google Earth:  
1 — будинки часів СРСР, 2 — новобудови  
(дата зйомки 04.03.2019 р.)

Мультиспектральні супутникові дані отримували з Інтернет сервісу EO Browser від супутнику Sentinel-2 (L2A). Використовували фотознімки ділянок, виконані в безхмарну погоду. Атмосферна корекція та обчислення вегетаційного індексу NDVI здійснювалися постачальниками даних. Для проведення досліджень приймали дані, отримані за максимальної кіль-

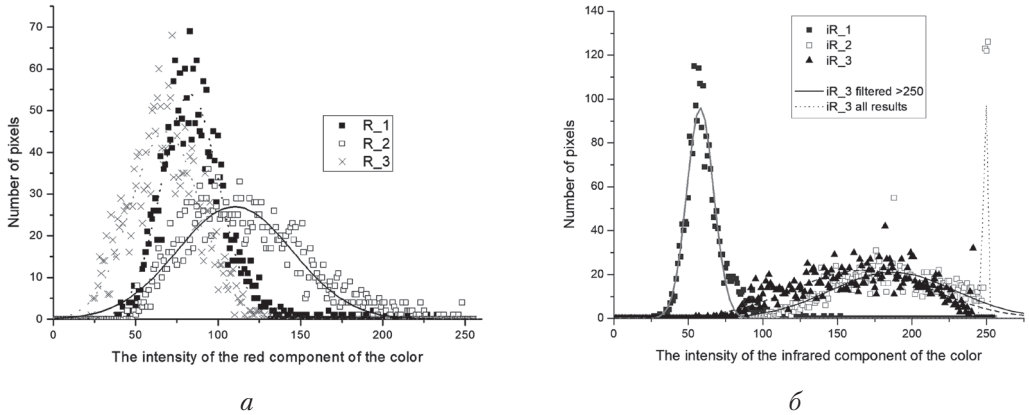
кості фітомаси у парках та скверах, а саме з червня по вересень.

Перерахунок спектральних даних, збережених у вигляді монохромних та кольорових зображень форматів bmp та jpeg, здійснювали в ПЗ MathCad за методикою, описаною в роботі M.Dolia et al. (2019) [23]. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення OriginPro 8 Sp4 (розробник Origin Lab Corporation).

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

**Парк.** На *рис. 4a* та *4б* представлено розподіл інтенсивності складових кольору для відповідних спектральних каналів Slanrange 3. Розмір дослідної ділянки становив  $50 \times 50$  пікселів ( $3 \times 3$  м). Апроксимацію експериментальних даних здійснювали з використанням рівняння для Гауссового розподілу.

Статистичним аналізом було встановлено, що розподіл інтенсивності складових кольору пікселів для трави (1) та крони дерева (3) добре описуються Гауссовою залежністю ( $R^2$  0,96 і 0,8 відповідно), що підтверджує результати, отримані Yaokai Liu et al. (2012) [24] за аеромоніторингу рослинних насаджень. Для зразка крони дерева з ліаною, якщо розглядати усі дані (iR\_3 all results)  $R^2$ , становить 0,34, а якщо відкинути пікселі, інтенсивність складових кольору яких перевищує 255, то  $R^2$  набуває



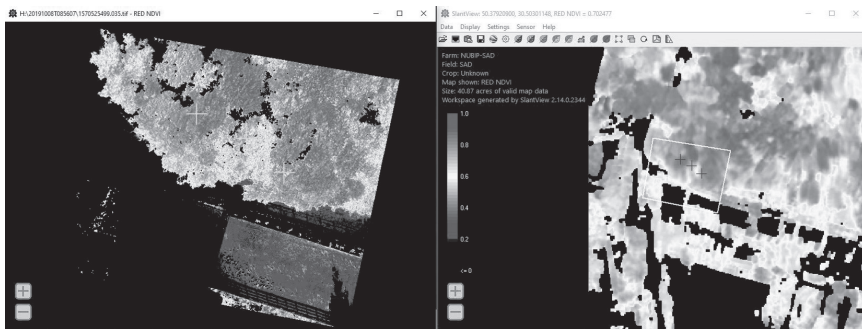
**Рис. 4.** Залежність кількості пікселів від інтенсивності складових кольору для червоного (а) та інфрачервоного каналу (б):  
 1 – трава; 2 – крона дерева з ліанною; 3 – крона дерева

значення 0,8, як і для крони дерева без ліани. Кількість ділянок, інтенсивність кольору яких перевищує 250, становила понад 15% від загальної, що не може бути наслідками похибок вимірювання. Вочевидь, зафіксовані 2 окремих розподіли, що мають належати двом різним об'єктам і, ймовірно, це пояснюється саме наявністю ліани в кроні дерева, що необхідно враховувати за ідентифікації біологічних об'єктів міста.

Якщо у видимому діапазоні (див. *рис. 4а*) відрізняти траву від крони дерева проблематично: максимум розподілу для ділянок 1, 2 і 3 становить 83, 110 та 68 відповідно, то в інфрачервоному каналі ситуація з ідентифікацією інша і максимуми розподілу становлять 58, 167 і 187 відповідно.

Однією з переваг системи Slantrange є фірмове програмне забезпечення для обробки даних Slant View, що надає, зокрема, різні вегетаційні індекси: Stress, Veg. fraction, Yield potential та ін. Проведенням досліджень, зокрема під час побудови карти розподілу на прикладі поширених вегетаційних індексів типу NDVI, було встановлено, що обчислені ПЗ Slant View дані відрізняються від збережених нами за даними відповідних спектральних каналів. На *рис. 5* наведені скріншоти інтерфейсів знімка та карти програми Slant View для розподілу індексу Red NDVI для дослідної ділянки парку.

Для обох інтерфейсів використовується єдина палітра для кодування даних. У вікні



**Рис. 5.** Скріншоти інтерфейсів знімка (зліва) та карти (справа) програми Slant View

карти розшифрування палітри знаходиться в лівій частині інтерфейсу. Результати декодування палітри для різних інтерфейсів мали принципову різницю, так, наприкладі першої ділянки середнє значення індексу Red NDVI сягає близько 0,22 (кодування відтінками червоного кольору), що відповідає розрахункам, а у вікні карт середнє значення індексу становить  $0,68 \pm 0,01$ , тобто перевищує втричі. Така різниця в результатах, на думку авторів, пояснюється використанням вбудованої системи фільтрації ділянок розпізнаних як ґрунт, тінь тощо. У *табл.* наведені результати величин вегетаційних індексів для дослідних ділянок, обчислених засобами ПЗ Slant View.

**Величини вегетаційних індексів для дослідних ділянок, розраховані з використанням ПЗ Slant View**

Веґетаційний індекс	Дослідна ділянка		
	1	2	3
Stress	$0,35 \pm 0,01$	$0,20 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,02$
Veg. fraction	$0,85 \pm 0,04$	$0,98 \pm 0,01$	$0,95 \pm 0,03$
Yield potential	$0,55 \pm 0,03$	$0,76 \pm 0,02$	$0,67 \pm 0,02$
Red NDVI	$0,68 \pm 0,02$	$0,80 \pm 0,02$	$0,85 \pm 0,01$

В усіх випадках фіксується нормальний розподіл, для якого за використання Гаусового розподілу коефіцієнт детермінації перевищує 0,8. Отже, якщо для ділянки, що відповідала кроні дерева із ліаною за каналами Green, Red Edge та iRed, попиксельним аналізом зображення фіксується наявність додаткового об'єкта  $R^2=0,3$ ), то для карти розподілу обчислених ПЗ Slant View це не фіксується  $R^2 \geq 0,8$ . Тобто, вибірковість результатів моніторингу була втрачена, оскільки наявність додаткового розподілу на який припадало 15% площі дослідної ділянки, що належала ліані не фіксувалася.

Слід зазначити, що для оцінки горизонтальної проекції крони дерев парків доцільно використовувати інфрачервоний

спектральний діапазон (Red Edge та iRed). Водночас, оцінка об'єму фітомаси ліан буде ускладнена через особливості їх архітектури, адже спектральний комплекс розраховано саме на моніторинг горизонтальних поверхонь. Для ліан, що мають істотну вертикальну проекцію, ймовірно, доцільно використовувати БПЛА з рухомою камерою, такі як DJI Phantom 4 multispectral, що в роботі Run Yu et al. (2021) [25] використовувався саме для оцінки вертикальної проекції дерев.

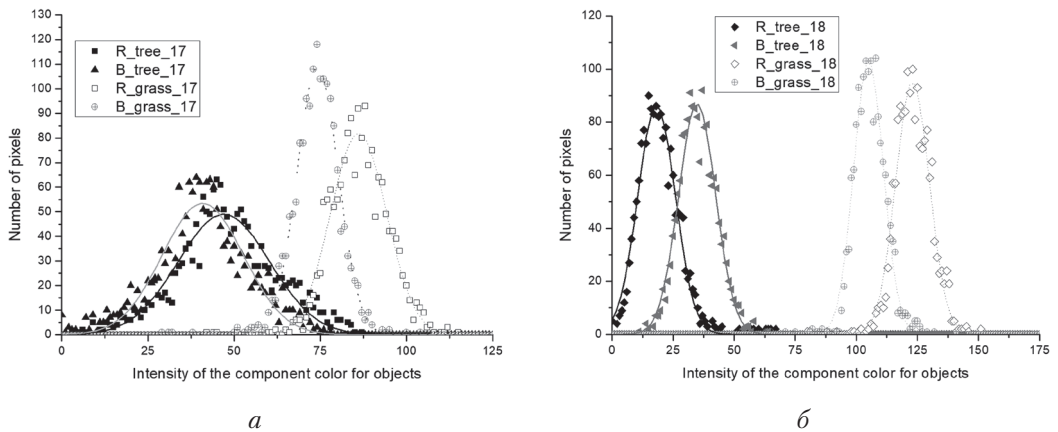
**Сквери.** Можливість ідентифікувати рослинність у місті за супутниковими знімками в оптичному діапазоні, а саме відізнати дерева та кущі від трави газонів показана в роботі N. Pasichnyk et al. (2021) [18], де відмічена низька вибірковість порівняно з інфрачервоним діапазоном. Незважаючи на це, наявність доступних та безкоштовних даних є принципово важливим для дослідників, а тому є сенс адаптувати технології інтерпретації саме таких даних. Було висунуто гіпотезу можливості ідентифікації фітомаси дерев та кущів, базуючись на відмінностях у стійкості до посухи багаторічних рослин із глибокою кореневою системою порівняно з травами. Було враховано неоднозначність такого припущення, адже частина газонних насаджень підтримуються поливними системами. Тому такий порівняльний аналіз передбачав вибірковість. Архів дає можливість отримати дані за кілька років і відповідно є можливість отримати дані за засушливий період, коли трава перебуває у пригніченому стані. На *рис. 6* представлені знімки дослідних ділянок, отримані за сприятливих умов (2017 р.) та за посухи (2018 р.).

На *рис. 7а* і *7б* наведено результати досліджень ділянок візуально ідентифікованих як крона дерев та газон відповідно.

Максимуми розподілу за червоним каналом для ділянки крони дерева зйомки в 2017 і 2018 рр. становили 18 та 42 відповідно. Поясненням такої різниці є відсутність атмосферної корекції знімків, оскільки вони не розглядалися розробниками сервісу, як такі що будуть використовуватись для спектральних досліджень. За потреби,



**Рис. 6.** Супутникові знімки дослідної ділянки скверів міста від 08.10.2017 для нормальних (зліва) та засушливих умов від 06.08.2018 (справа)

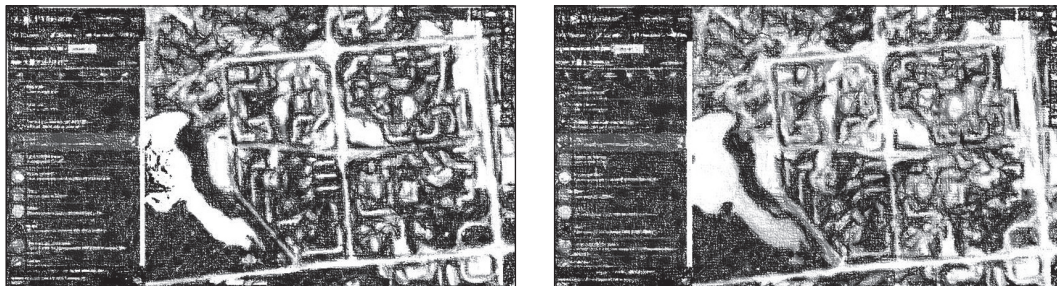


**Рис. 7.** Залежність кількості пікселів від інтенсивності червоної (R) та синьої (B) складових кольору для візуально ідентифікованих ділянок крон дерев та трави, сфотографовані 08.10.2017 (а) та 06.08.2018 (б)

є можливість здійснювати обробку даних для кожного знімку окремо, що можна здійснити, орієнтуючись, зокрема, на дахи будівель чи асфальтовані дороги.

Якщо в 2017 р., за сприятливих умов, розподіли для інтенсивності складових ко-

льору мали близькі значення, то в умовах засухи 2018 р., коли трава на газонах вигоріла, різниця була істотна і, відповідно, з'явилась можливість отримати дані з високою вибірковістю. Аналогічні результати були отримані і для сервісу EO Browser,



**Рис. 8.** Розподіл індексу NDVI для дослідних ділянок в нормальних кліматичних умовах (2017 р.) та за недостатнього зволоження (2018 р.) зліва та справа відповідно

представлені на рис. 8, що підтверджують ці висновки.

Сервіс EO Browser, на відміну від Google Earth, надає дані для принципово більшої кількості дат, проте роздільна здатність знімків виявилася замалою і їх придатність для оцінки біомаси потребує додаткового вивчення.

### ВИСНОВКИ

За моніторингу парку з платформи БПЛА із сенсорним комплексом Slantrange вдалось ідентифікувати крони дерев та траву, проте за допомогою штатного програмного забезпечення Slant View ідентифікувати ліани не вдалось. Найкращі

результати ідентифікації для комплексу Slantrange були отримані для червоного та інфрачервоних каналів вимірювання. Використанням даних супутникового моніторингу найбільш достовірна ідентифікація фітомаси з дерев та кущів відбувається в умовах засухи, від якої трава на газонах страждає сильніше, ніж дерева із розвинутою кореневою системою. За використання супутників, за рахунок особливостей орбіти космічних апаратів, зйомка зазвичай здійснюється під різними кутами і, відповідно, фіксуються як дахи, так і частково стіни будівель, тому саме така зйомка є більш придатною для оцінки біомаси перспективного озеленення — ліан.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Дребот О.І., Бендасюк О.О., Височанська М.Я., Шавінська А.Л. Концептуальні аспекти підвищення енергоефективності агропромислового комплексу в умовах сталого розвитку. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 1. С. 182–188. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227257>
2. Poulsen M.N., McNab P.R., Clayton M.L. and Neff R.A. A systematic review of urban agriculture and food security impacts in low-income countries. *Food Policy*. 2015. Vol. 55. P. 131–146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.07.002>
3. Appolloni E. et al. The global rise of urban rooftop agriculture: A review of worldwide cases. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 296. P. 126556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126556>
4. Dudnyk A. et al. Intelligent control system of biotechnological objects with fuzzy controller and noise filtration unit. *International Scientific-Practical Conference on Problems of Info communications Science and Technology (PIC S&T)* (October 9–12, 2018). Kharkiv. Ukraine. P. 586–590. DOI: <http://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632007/>
5. Лисенко В.П., Болбот І.М., Лендел Т.І. Енергоефективна система керування електротехнологічним комплексом промислових теплиць. *Технічна електродинаміка*. 2019. № 2. С. 78–81. DOI: <http://doi.org/10.15407/techne2019.02.078>
6. Joimel S. et al. Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France. *The Science of The Total Environment*. 2016. Vol. 545–546. P. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.035>
7. Enzai Du et al. Anthropogenic and climatic shaping of soil nitrogen properties across urban-rural-natural forests in the Beijing metropolitan region. *Geoderma*. 2022. Vol. 406. P. 115524. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115524>
8. Кацевич В.В. Агроекологічні особливості мікроморфології техноземів. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 4. С. 38–46. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2020.219444>
9. Shahsavari M.M. et al. Constructing a smart framework for supplying the biogas energy in green buildings using an integration of response surface methodology, artificial intelligence and petri net modelling. *Energy Conversion and Management*. 2021. Vol. 248. P. 114794. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114794>



10. Keyu Bao et al. Bottom-up assessment of local agriculture, forestry and urban waste potentials towards energy autonomy of isolated regions: Example of Réunion. *Energy for Sustainable Development*. 2022. Vol. 66. P. 125–139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.12.002>
11. Clauser N.M., Felissia F.E., Area M.C. and Vallejos M.E. A framework for the design and analysis of integrated multi-product biorefineries from agricultural and forestry wastes. Renewable and Sustainable. *Energy Reviews*. 2021. Vol. 139. P. 110687. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110687>
12. Заблудський М.М., Клендїй П.Б., Клендїй Г.Я. Вплив подрібнення соломи на інтенсивність виходу біогазу. *Енергетика і автоматика*. 2020. № 6. С. 5–14. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.06.005>
13. Jie Ma et al. Spatial variation analysis of urban forest vegetation carbon storage and sequestration in built-up areas of Beijing based on i-Tree Eco and Kriging. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2021. Vol. 66. P. 127413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127413>
14. Lysenko V. et al. Phytomonitoring in the phytometrics of the plants. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 154. 07012. DOI: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407012>
15. Zięba-Kulawik K. et al. Monitoring of urban forests using 3D spatial indices based on LiDAR point clouds and voxel approach. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2021. Vol. 65. P. 127324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127324>
16. Jayathunga S., Owari T. and Tsuyuki S. The use of fixed-wing UAV photogrammetry with LiDAR DTM to estimate merchantable volume and carbon stock in living biomass over a mixed conifer-broadleaf forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2018. Vol. 73. P. 767–777. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.08.017>
17. Alvarez-Vanhard Emilien, Corpetti Thomas and Houet Thomas. UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review. *Science of Remote Sensing*. 2021. Vol. 3. 100019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100019>
18. Pasichnyk N. et al. Technologies for Environmental Monitoring of the City. In: *2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)* (February 22–26, 2021). Lviv, Ukraine. P. 40–43. DOI: <http://doi.org/10.1109/CADSM52681.2021.9385213>
19. Mahdianpari M. et al. Smart solutions for smart cities: Urban wetland mapping using very-high resolution satellite imagery and airborne LiDAR data in the City of St. John's, NL, Canada. *Journal Environ Manage*. 2021. Vol. 280. P. 111676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111676>
20. Adamu B. et al. Evaluating the accuracy of spectral indices from Sentinel-2 data for estimating forest biomass in urban areas of the tropical savanna. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2021. Vol. 22. P. 100484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100484>
21. Magre J.M. et al. How urban green management is influencing passerine birds' nesting in the Mediterranean: A case study in a Catalan city. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2019. Vol. 41. P. 221–229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.012>
22. Zhiwen Gao et al. Drivers of spontaneous plant richness patterns in urban green space within a biodiversity hotspot. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2021. Vol. 61. P. 127098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127098>
23. Dolia M. et al. Information Technology for Remote Evaluation of After Effects of Residues of Herbicides on Winter Crop Rape. In: *3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)* (July 2–6, 2019). Lviv, Ukraine. P. 469–473. DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847850>
24. Yaokai L., Xihan M., Haoxing W. and Guangjian Y. A novel method for extracting green fractional vegetation cover from digital images. *Journal of Vegetation Science*. 2012. Vol. 23. P. 406–418. DOI: <https://doi.org/10.2307/23251074>
25. Run Y. et al. Early detection of pine wilt disease using deep learning algorithms and UAV-based multispectral imagery. *Forest Ecology and Management*. 2021. Vol. 497. P. 119493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119493>

## REFERENCES

1. Drebot, O.I., Bendasiuk, O.O., Vysochanska, M.Ya. & Shchavinska, A.L. (2021). Kontseptualni aspekty pidvyshchennia enerhoefektyvnosti ahropromyslovoho kompleksu v umovakh staloho rozvytku [Conceptual aspects of improving the energy efficiency of agricultural complex in conditions of sustainable development]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological journal*, 1, 182–188. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227257> [in Ukrainian].
2. Poulsen, M.N., McNab, P.R., Clayton, M.L. & Neff, R.A. (2015). A systematic review of urban agriculture and food security impacts in low-income countries. *Food Policy*, 55, 131–146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.07.002> [in English].
3. Appolloni, E et al. (2021). The global rise of urban rooftop agriculture: A review of worldwide cases. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126556> [in English].
4. Dudnyk, A. et al. (2019). Intelligent control system of biotechnological objects with fuzzy controller and noise filtration unit. *International Scientific-Practical Conference on Problems of Info communications Science and Technology (PIC S&T)* (pp. 586–590). Kharkiv, Ukraine. DOI: <http://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632007> [in English].
5. Lysenko, V., Bolbot, I. & Lendel, T. (2019). Enerhoefektyvna systema keruvannia elektrotekhnolohichnym kompleksom promyslovykh teplyts [Energy efficient system of electrotechnological complex control in industrial greenhouse]. *Technical Electrodynamics*, 2, 78–81. DOI: <http://doi.org/10.15407/techned2019.02.078> [in Ukrainian].

6. Joimel, S. et al. (2016). Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France. *The Science of The Total Environment*, 545–546, 40–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.035> [in English].
7. Enzai, Du et al. (2022). Anthropogenic and climatic shaping of soil nitrogen properties across urban-rural-natural forests in the Beijing metropolitan region. *Geoderma*, 406, 115524. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115524> [in English].
8. Katsevych, V.V. (2020). Ahroekolohichni osoblyvosti mikromorfolohii tekhnozemiv [Agroecological features of technozems micromorphology]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 4, 38–46. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2020.219444> [in Ukrainian].
9. Shahsavari M.M. et al. (2021). Constructing a smart framework for supplying the biogas energy in green buildings using an integration of response surface methodology, artificial intelligence and petri net modelling. *Energy Conversion and Management*, 248, 114794. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114794> [in English].
10. Keyu, Bao et al. (2022). Bottom-up assessment of local agriculture, forestry and urban waste potentials towards energy autonomy of isolated regions: Example of Réunion. *Energy for Sustainable Development*, 66, 125–139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.12.002> [in English].
11. Clauser, N.M., Felissia, F.E., Area, M.C. & Vallejos, M.E. (2021). A framework for the design and analysis of integrated multi-product biorefineries from agricultural and forestry wastes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110687. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110687> [in English].
12. Zablodsky, M.M., Klendiy, P.B. & Klendiy, G.Y. (2020). Vplyv podribnennia solomy na intensyvniyst vykhodu biohazu [Effect of chopping straw on the intensity of biogas output]. *Enerhetyka i avtomatyka — Energy and Automation*, 6, 5–14. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/enerhiya2020.06.005> [in Ukrainian].
13. Jie, Ma et al. (2021). Spatial variation analysis of urban forest vegetation carbon storage and sequestration in built-up areas of Beijing based on i-Tree Eco and Kriging. *Urban Forestry and Urban Greening*, 66, 127413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127413> [in English].
14. Lysenko, V. et al. (2020). Phytomonitoring in the phytometrics of the plants. *E3S Web of Conferences*, 154, 07012. DOI: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407012> [in English].
15. Zięba-Kulawik, K. et al. (2021). Monitoring of urban forests using 3D spatial indices based on LiDAR point clouds and voxel approach. *Urban Forestry and Urban Greening*, 65, 127324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127324> [in English].
16. Jayathunga, S., Owari, T. & Tsuyuki, S. (2018). The use of fixed-wing UAV photogrammetry with LiDAR DTM to estimate merchantable volume and carbon stock in living biomass over a mixed conifer-broadleaf forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 767–777. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.08.017> [in English].
17. Alvarez-Vanhard, E., Corpetti, T. & Houet, T. (2021). UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review. *Science of Remote Sensing*, 3, 100019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100019> [in English].
18. Pasichnyk, N. et al. (2021). Technologies for Environmental Monitoring of the City. *2021 IEEE 16<sup>th</sup> International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)* (pp. 40–43). Lviv, Ukraine. DOI: <http://doi.org/10.1109/CADSM52681.2021.9385213> [in English].
19. Mahdianpari, M. et al. (2021). Smart solutions for smart cities: Urban wetland mapping using very-high resolution satellite imagery and airborne LiDAR data in the City of St. John's, NL, Canada. *Journal Environ Manage*, 280, 111676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111676> [in English].
20. Adamu, B. et al. (2021). Evaluating the accuracy of spectral indices from Sentinel-2 data for estimating forest biomass in urban areas of the tropical savanna. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100484> [in English].
21. Magre, J.M. et al. (2019). How urban green management is influencing passerine birds' nesting in the Mediterranean: A case study in a Catalan city. *Urban Forestry and Urban Greening*, 41, 221–229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.012> [in English].
22. Gao, Zuo (2021). Drivers of spontaneous plant richness patterns in urban green space within a biodiversity hotspot. *Urban Forestry and Urban Greening*, 61, 127098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127098> [in English].
23. Dolia, M. et al. (2019). Information Technology for Remote Evaluation of after Effects of Residues of Herbicides on Winter Crop Rape. *3<sup>rd</sup> International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)* (pp. 469–473). Lviv, Ukraine. DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847850> [in English].
24. Yaokai, L., Xihan, M., Haoxing, W. & Guangjian, Y. (2012). A novel method for extracting green fractional vegetation cover from digital images. *Journal of Vegetation Science*, 23, 406–418. DOI: <https://doi.org/10.2307/23251074> [in English].
25. Run, Y. et al. (2021). Early detection of pine wilt disease using deep learning algorithms and UAV-based multispectral imagery. *Forest Ecology and Management*, 497, 119493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119493> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 09.12.2021