

СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ У РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА В УРБАНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

О. О. Опришко, кандидат технічних наук, доцент

Ю. Л. Цицюрський, інженер

С. С. Омельченко, студент магістратури

О. В. Глущенко, студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: ozon.kiev@nubip.edu.ua

Анотація. Міста, завдяки забудові та людській активності, створюють теплові острови, що мають потенціал для сільськогосподарського виробництва. Теплові викиди сприяють подовженню вегетаційного періоду, що дозволяє вирощувати технічні культури навіть на забруднених ґрунтах, важливих для біоенергетики та виробництва біогазу. Розглянуто технології моніторингу теплових островів, з використанням супутників, що дозволяють ідентифікувати ділянки з найбільшими викидами тепла. Дослідження в Києві показали, що найбільш стабільні теплові викиди спостерігаються у весняно-осінній період, коли температура варіюється від 5 до 25 °С, що є оптимальним для розвитку рослин. Технології супутникового моніторингу дозволяють не тільки виявляти теплові аномалії, а й визначати оптимальні місця для розташування зелених насаджень, що допомагають зменшити негативний вплив міського середовища на рослинність. Розроблене програмне рішення на основі супутникових даних допомагає відстежувати зміни температури земної поверхні та їх вплив на вегетацію, що дозволяє краще планувати аграрне виробництво в містах. На прикладі торгово-розважального центру Lavina в Києві було виявлено стабільні теплові викиди, які можна використати для розвитку урбанізованого сільського господарства. Запропоновані адаптовані до цих умов культури можуть оптимізувати використання тепла для рослинництва та забезпечити екологічну вигоду для міста. Висновки підтверджують значний потенціал теплових островів для розвитку міського сільського господарства, що сприяє покращенню екології в мегаполісах та забезпеченню місцевих жителів якісними продуктами.

Ключові слова: супутники, теплові острови, урбанізоване фермерство

Актуальність. Сільське господарство в межах мегаполісів стає актуальним трендом, сприяючи як покращенню екології, так і частковому забезпеченню населення якісними продуктами. Проте, як зазначено в С. Тарія (2021) [1], аспекти управління цим процесом ще недостатньо опрацьовані. Сучасні міста мають

потенціал для аграрного виробництва завдяки зниженню логістичних витрат, що особливо важливо для швидкопсувної продукції (S. Ghosh, 2021) [2]. GIS-технології можуть значно підвищити ефективність міського фермерства, зокрема через аналіз рентабельності земель (E. Ustaoglu, 2021 [3]; I. V. Hume, 2021 [4]). Інноваційні підходи, як-от оцінка харчових відходів для органічних добрив (T. Weidner, 2020 [5]) або визначення освітленості ділянок за допомогою БПЛА (M. Saha, 2017 [6]), розширюють можливості таких технологій. Дослідження також зосереджені на впливі міського середовища на рослинництво. Наприклад, у В'єтнамі (M. Schaefer, 2019 [7]) аналізували теплові острови, а в Китаї (W. Hu, 2018 [8]) – забруднення ґрунтів. У посушливих регіонах (C. S. Amos, 2018 [9]) вивчали потенціал використання дощової води, а в Барселоні (A. M. Beltran, 2022 [10]) – емісію N₂O. В Україні, де клімат прохолодніший, варто враховувати можливість використання теплових викидів мегаполісів для подовження вегетаційного періоду, як це підтверджено у дослідженнях M. K. Firozjaei (2020) [11] та P. Kabano (2020) [12]. Зростання вартості енергоносіїв лише підсилює актуальність цього підходу.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій. Використання теплових островів мегаполісів України для міського фермерства майже не досліджувалося. Натомість питання теплових просторів розглядалися здебільшого у контексті закритого ґрунту, де спостерігається нерівномірність температурного розподілу. Наприклад, у сучасних теплицях (висотою до 6 м і площею кілька гектарів) для контролю температури застосовують мережі сенсорів: провідні (Hudz, 2021) [13] та безпровідні (Kho, 2022) [14]. Однак висока вартість таких систем залишається проблемою (Golub, 2019) [15]. Для підвищення точності вимірювань пропонуються мобільні роботи (Levintal, 2022) [16], а також алгоритми адаптивного керування опаленням з урахуванням прогнозу (Dudnyk, 2018) [17].

Використання теплових островів міст у контексті урбаністичного фермерства майже не вивчалось, ймовірно, через низьку вартість енергоресурсів у минулому. Натомість міські парки досліджувалися як засіб пом'якшення теплового ефекту міст (Nitoslawski, 2019) [18]. Рослинність здатна споживати теплові викиди, що відкриває можливості для рослинництва. Проте міські ґрунти часто забруднені важкими

металами (Joimel, 2016) [19], що обмежує їх використання для продовольства, хоча вони можуть слугувати сировиною для біогазу (Polishchuk, 2021) [20], [21].

Теплові острови міст залежать від забудови та рельєфу (Liu, 2019) [22], а також від щільності та геометрії зелених насаджень (Kuanbiao, 2019) [23]. Дослідження показали, що озеленення пакувальних майданчиків машин травною та деревами має подібний ефект, якщо частка дерев не перевищує 30 % (Onishi, 2010) [24]. Альтернативою є ліани, які підходять для щільної забудови та зменшують нагрівання фасадів будівель (Hunter, 2014) [25]; (Yin, 2017) [26]. Вони також ефективніші за дерева у фільтрації повітря (Abhijith, 2017) [27].

Для моніторингу теплових островів застосовують різні методи: наземні тепловізійні зйомки (Elmarakby, 2022) [28], аерофотозйомку з БПЛА (Teranosyan, 2021) [29] та супутниковий моніторинг. Проте у містах використання БПЛА обмежене законодавчо, а GPS-перешкоди ускладнюють картографування. Супутникові методи включають як прямі, так і опосередковані вимірювання, наприклад, аналіз вегетаційних індексів (Halder, 2021) [30] та оцінку міських зелених зон (Pasichnyk, 2021) [31]. Однак у щільній забудові тінь від будівель ускладнює визначення рослинності.

Нічна супутникова зйомка дозволяє ідентифікувати стабільні джерела тепла (Sun, 2020) [32] та потенційні викиди CO₂ (Yang, 2020) [33], проте сучасні високоточні сенсори поки що не покривають всю територію України. Добова динаміка теплових островів вимагає безперервного моніторингу, як це показано у дослідженнях Бостона (Chang, 2021) [34]. Поєднання різних методів підвищує точність результатів, що підтверджено на прикладі Гонконгу (Zheng, 2021) [35], хоча їх ефективність в умовах української зими обмежена.

Прямі вимірювання теплових параметрів поверхні можливі за допомогою супутників EOS (TERRA, AQUA), METOP, Suomi-NPP, Landsat, досвід використання яких для моніторингу теплових полів представлено в Cheval (2022) [36], Chakraborty (2021) [37] та Mushore (2017) [38]. У порівнянні з БПЛА супутникові платформи мають значно нижчу роздільну здатність та обмежену придатність у хмарну погоду. Водночас вони забезпечують тривалі серії

спостережень і дозволяють калібрувати дані на основі наземних вимірювань завдяки великій площі охоплення.

При супутниковій зйомці кут огляду, як правило, є постійним, що унеможливує спостереження об'єкта з різних ракурсів. Це є певним обмеженням методу, проте за його допомогою можна визначати перспективні ділянки для подальшого обстеження з землі або за допомогою БПЛА в режимі ручного керування.

На основі аналізу літератури для моніторингу температурних полів міста з метою розвитку міського сільського господарства, зокрема для подовження періоду вегетації у весняний та осінній сезони, можна зробити такі узагальнення:

- Використання теплових островів урбанізованих територій дає змогу вирощувати технічні культури навіть на забруднених ґрунтах, зокрема для виробництва біогазу.
- При виборі локацій для розміщення зелених насаджень, спрямованих на виробництво біомаси, слід враховувати сезонні особливості теплових островів, коли надлишковий нагрів поверхні найстабільніше спостерігається саме у весняний та осінній періоди.
- Для визначення сталих локацій теплових островів упродовж року доцільно використовувати дані спеціалізованих супутників із тепловими каналами вимірювання, враховуючи адміністративно-організаційні особливості України.

Метою роботи є розробка методів і засобів для визначення стабільних островів теплової енергії для обґрунтування енергетично оптимальних локацій щодо збільшення вегетаційного періоду в рослинницьких практиках в мегаполісах України.

Матеріали та методи дослідження.

Об'єкт дослідження. Дослідження проводилися в м. Києві, найбільшому мегаполісі України. Для наукових та практичних досліджень регіонального масштабу найбільшу цінність становлять дані температури земної поверхні середнього масштабу. Для проведення аналізу актуальними є дані супутників Landsat 8 та 9, оскільки вони мають допустиме просторове розрізнення та є

найсвіжішими на цей час. Загалом дані про температуру земної поверхні можна отримувати з 1982 року (від початку роботи Landsat-4).

Крім того, при кількісному аналізі даних теплового інфрачервоного датчика для оцінки температури Геологічна служба США рекомендує використовувати дані Landsat 8 Band 10 (USGS, [номер посилання]). Доступ до цих даних можливий через спеціалізований EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>), інтерфейс якого представлено на рис. 1. Означений інтерфейс передбачає єдину шкалу для індикації температури поверхні від -50 до 100 °С, завдяки чому візуально у міських умовах вкрай важко виділити теплові аномалії, оскільки діапазон розподілу температур у місті навіть в літні місяці не перевищує 25 °С. На сайті передбачено можливість завантаження даних супутникової зйомки для їх подальшої обробки в спеціалізованих GIS системах, таких як QGIS, для яких створені спеціальні плагіни, наприклад, Q-LIP для обробки даних від Landsat (Sebbah, 2021, [39]).

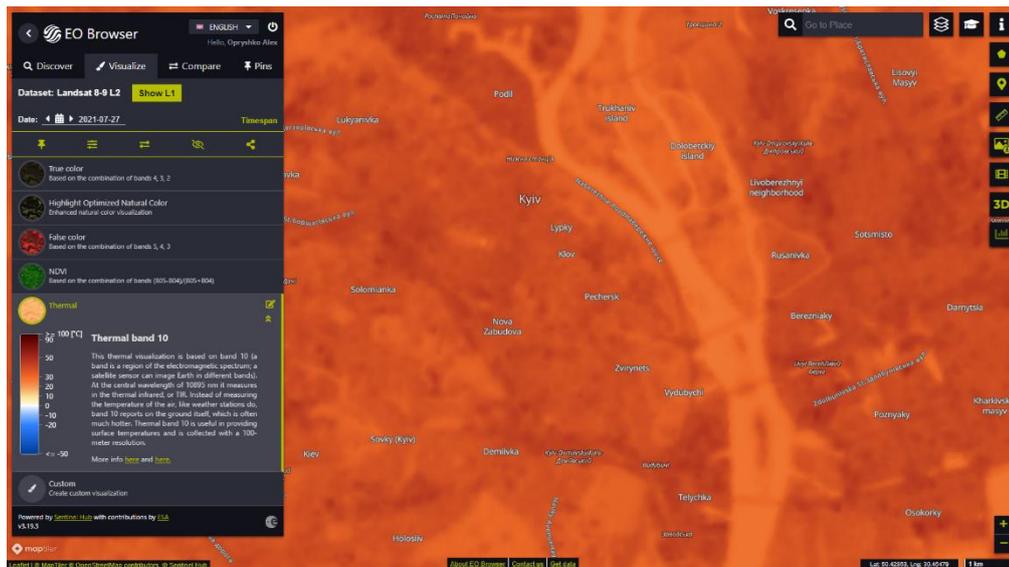


Рис. 1 Інтерфейс EO Browser для карти розподілу теплових полів м Київ на 2021.07.27

З використанням QGIS для карти розподілу теплових полів було запроваджено іншу палітру кольорів, яка налаштовувалась виходячи з максимальної та мінімальної температури. Було обрано ділянки, що належали до всього спектру температур, зафіксованих на супутниковому тепловому знімку, наведеному на рис. 2.

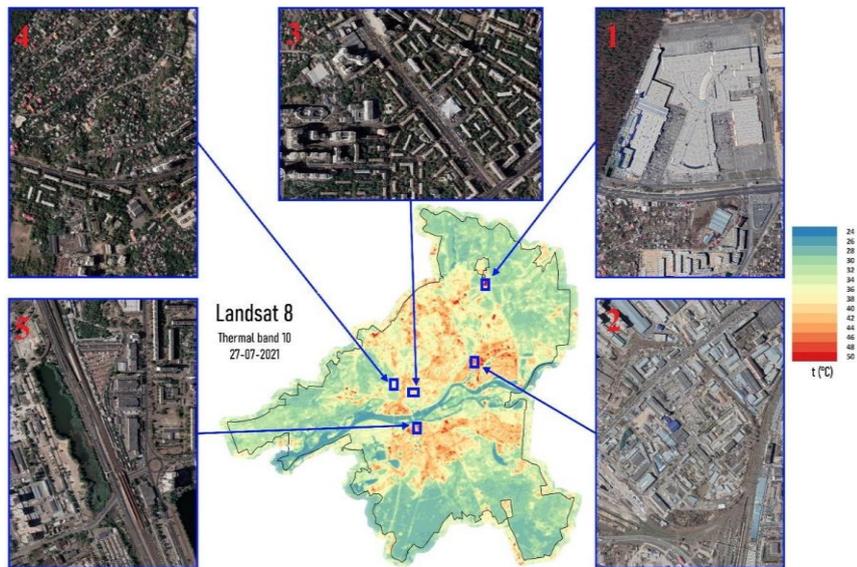


Рис. 2 Карта розподілу температури поверхні для м. Києва на 2021.07.27

Для проведення досліджень було вибрано 5 характерних ділянок міста стосовно теплових островів визначених в літку 2021 року.

1. Lavina. Розміри дослідних ділянок (50×70 пікселів) було вибрано, виходячи з габаритів теплового острова, обумовленого функціонуванням торговельно-розважального центру «Lavina Mall», який є найбільшим в Україні. Центр збудовано в 2016 році на околиця м. Києва. Координати центру ділянки: 50.49524675701033, 30.360099616330437.

2. Podol. Ділянка в Подільському районі, що характеризується комплексом виробничих та складських приміщень. Координати центру ділянки: 50°28'56.9"N 30°29'30.0"E.

3. Pechersk. Ділянка поблизу Торгового центру «Дім меблів» в Печерському районі, яка характеризується забудовою радянських часів із сучасними торговельними майданчиками на підземних ярусах та станцією метро «Звіринецька». Координати центру ділянки: 50.41651429843521, 30.54312477326055.

4. Tsimbal. Ділянка в Голосіївському районі здебільш приватного сектору з низькою концентрацією населення та великими зеленими зонами парків та присадибних господарств. Координати центру ділянки: 50.394918091047955, 30.532143570373048.

5. Vereznyki. Ділянка в Дарницькому районі, частина якої займає масив металевих гаражів для легкових автомобілів а також озеро (Нижній Тельбін). Координати центру ділянки: 50°25'11.9"N 30°36'04.8"E

Під час попередніх досліджень було виявлено теплові острови, але цілком можливий випадковий характер цих проявів, тому разові досліди є неприйнятними для побудови стратегії щодо міського сільського господарства. Якщо для разових досліджень використання спеціалізованого програмного забезпечення (QGIS чи його аналогів) є доцільним, то для серійних досліджень необхідно розробити спеціалізоване програмне забезпечення. Оскільки міське сільське господарство потребує задіяння фахівців з різних галузей, таких як агрономи, агрохіміки, біологи тощо, у яких можуть бути обмежені знання щодо використання універсальних GIS систем, на думку авторів, перспективними є використання web-інтерфейсів, аналогічних EO Browser.

Результати досліджень та їх обговорення. Температурна карта міста Києва від 23.01.2021 свідчить, що в межах міста зафіксована за допомогою супутнику Landsat 8 різниця становить біля 5 °C (рис. 3). При цьому для частини об'єктів Pechersk, Podol, Tsimbal описується нормальним розподілом (за аналогією з роботою D.Komarchuk (2020) в [40] було обрано модель Gauss рівняння (1) із коефіцієнтом детермінації R^2 більшим за 0,96:

$$N = Ae^{-\frac{(t-t_c)^2}{2w^2}}, \quad (1)$$

де N – кількість пікселів (мінімальних ділянок зображення); A – амплітуда; t – температура (°C), t_c – середнє значення температури (°C); w - стандартне відхилення (відповідає значенню $A/2$).

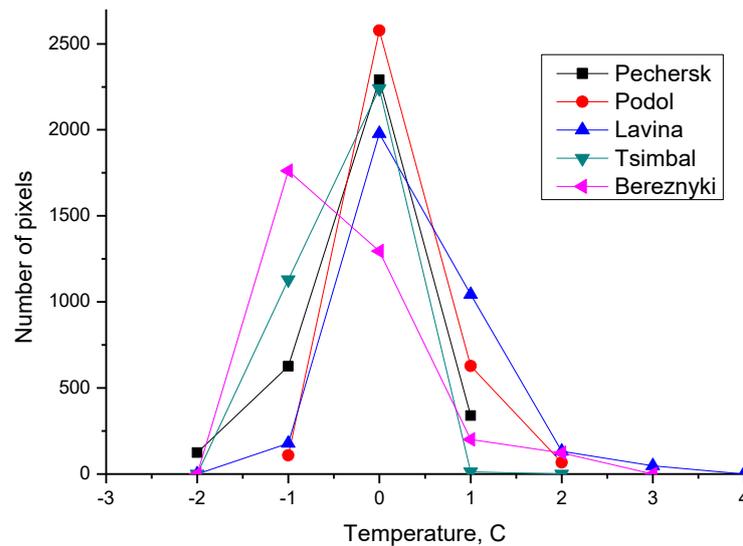


Рис. 3. Розподіл температури для дослідних об'єктів у м. Києві від 23.01.2021

Для ділянок Lavina та Bereznyki ситуація відрізняється, ймовірно, через наявність об'єктів з різними тепловими характеристиками. На Lavina кількість ділянок з мінімальною та максимальною температурою приблизно однакова, тоді як на Bereznyki ділянок з мінімальною температурою значно більше. Це пояснюється наявністю водойм (низька температура) та торгівельно-офісних споруд з високими тепловими викидами на Bereznyki. Зростання температури у весняно-осінній період збільшує вегетаційний період для рослин, що було доведено у роботах You-Rep Wang (2023) [40] та Xueling Zhang (2024) [41] на прикладі китайських міст.

Крім зимових місяців весняно-осінній період важливий для розвитку вегетації, а літній — для оцінки посухи. За результатами січневого моніторингу ділянки були поділені на дві групи: Pechersk, Podol, Tsimbal, Lavina та Bereznyki (рис. 4). Для моніторингу у весняно-осінній період, де температура варіюється від 5 до 25 °C, а в літній — від 30 до 50 °C, розглядали різницю між мінімальною та максимальною температурою, а не їх абсолютні значення. Мінімальна температура при моніторингу температури поверхні з весни по осінь фіксувалась на півночі м. Києва в руслі річки Дніпро (координати 50°32'47.2"N 30°31'19.1"E).

Отримані результати для першої групи ділянок наведено на рис.4

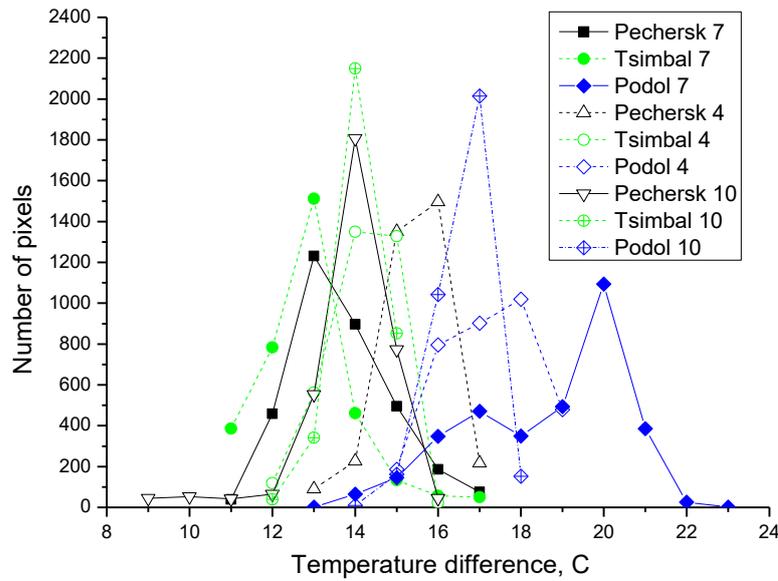


Рис. 4 Розподіл різниці температур для дослідних об'єктів в м. Києві для 06.04.2021, 15.10.2021 та 01.07.2021

Статистичний аналіз показав, що для ділянок Pechersk і Tsimbal коефіцієнт детермінації R^2 завжди перевищував 0,98, а стандартне відхилення в січні було мінімальним (0,5 °C) і зростало до максимуму в липні (1 °C). Для ділянки Podol в липні R^2 становило 0,51, а в квітні — 0,8, тоді як у січні та жовтні цей показник був 0,98. Стандартне відхилення на Podol було мінімальним у січні та жовтні (0,46 °C і 0,59 °C), але в квітні та липні зросло до 1,4 °C та 1,9 °C. Це свідчить, що на промислових зонах, таких як Podol, стандартне відхилення зростає значно більше, ніж на житлових ділянках, через менший рівень озеленення та типові плоскі дахи будівель. Більша концентрація нежитлових приміщень притаманна другій групі, а саме ділянкам Verezhnyki та Lavina, результати досліджень яких представлено на рис.5.

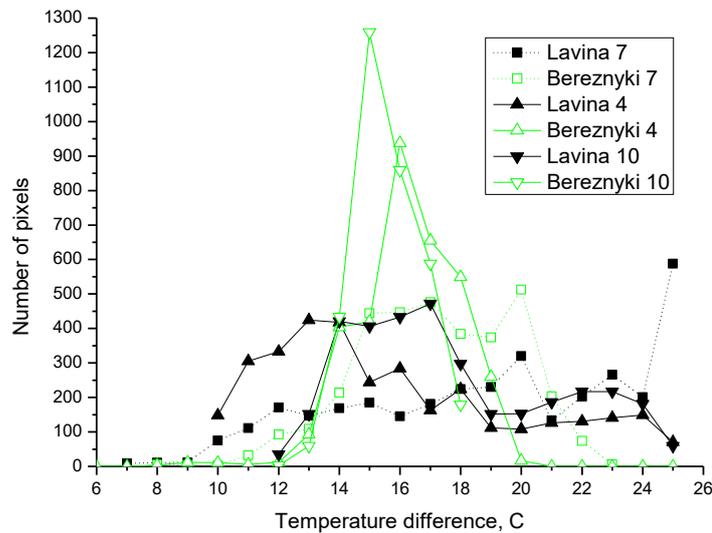


Рис. 5 Розподіл різниці температур для дослідних об'єктів в м. Києві для 06.04.2021, 15.10.2021 та 01.07.2021

Для ділянки Bereznyki коефіцієнт детермінації R^2 становив 0,97 в січні, 0,94 в квітні, 0,88 в жовтні та липні. Стандартне відхилення мінімальне в січні (0,5 °C), максимальне в липні (2,8 °C), а в квітні та жовтні — 1,7 °C і 1,2 °C, відповідно. Зростання відхилення влітку пов'язане з аномально теплими ділянками, зокрема через металеві гаражі, що сильно нагріваються вдень. Це можна компенсувати нанесенням відбиваючого покриття на дахи.

Для ділянки Lavina результати були інші: R^2 в січні — 0,99, в квітні — 0,54, в жовтні — 0,38, в липні — 0,57, що свідчить про стабільне теплове навантаження лише в січні. Це пояснюється тепловими викидами від техногенних джерел, зокрема вентиляційних систем на дахах торгових центрів. Різниця температури на Lavina в січні досягала 4 °C, що може бути використано для міського сільського господарства. Тому розвиток рослинництва на такій ділянці вигідний як з енергетичних, так і з екологічних міркувань. Оскільки вертикальне озеленення обмежене, альтернативою можуть бути однорічні культури, такі як тикви чи дині, які зможуть затемнити будівлю під час перегрівання.

Економічні ефекти від міського фермерства, такі як утилізація зайвого тепла та використання дощової води, можуть бути значними. Для досягнення максимального ефекту важливо, щоб рослини швидко досягли максимальної фітомаси, яка функціонуватиме якнайдовше. В Україні кліматичні зміни

спричинили збільшення літнього та зимового періодів і зменшення весняного та осіннього, що негативно впливає на вегетацію. Це явище, характерне для південних країн Європи, описане у роботі Marie Van Espen (2023) в [42]. За Markus Simbürger (2022) в [43], глобальне потепління також спричиняє ризик весняних заморозків, що можуть критично вплинути на рослини. Для міського фермерства важливі не стабільні температури, а умови, які сприяють вегетації навесні та, в меншій мірі, восени. Тому енергетично оптимальними є локації з тепловими викидами в ці періоди.

Висновки та перспективи.

- Встановлено, що теплові острови міста цілком придатні для впровадження практики урбанізованого аграрного виробництва стосовно збільшення вегетативного періоду.
- На базі програмних продуктів від постачальників безкоштовних даних супутникового моніторингу було створено спеціалізоване програмне рішення для урбанізованого аграрного призначення.
- Вдалось виявити ділянки зі стабільними викидами тепла обумовлені дією сучасного торгівельно-розважального центру Lavina і запропоновано нетрадиційні культури для озеленення адаптовані до його конструкції.

References

1. C.Tapia, L.Randall, S.Wang, & L.Aguiar Borges, (2021). Monitoring the contribution of urban agriculture to urban sustainability: an indicator-based framework. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103130. doi:10.1016/j.scs.2021.103130;
2. S.Ghosh (2021). Urban agriculture potential of home gardens in residential land uses: A case study of regional City of Dubbo, Australia. *Land Use Policy*, 109, 105686. doi:10.1016/j.landusepol.2021.105686;
3. E.Ustaoglu, S.Sisman & A.C.Aydinoglu (2021). Determining agricultural suitable land in peri-urban geography using GIS and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) techniques. *Ecological Modelling*, 455, 109610. doi:10.1016/j.ecolmodel.2021.109610;
4. I.V.Hume, D.M.Summers & T.R.Cavagnaro, (2021). Self-sufficiency through urban agriculture: Nice idea or plausible reality? *Sustainable Cities and Society*, 68, 102770. doi:10.1016/j.scs.2021.102770;
5. Till Weidner & Aidong Yang (2020). The potential of urban agriculture in combination with organic waste valorization: Assessment of resource flows and emissions

for two european cities. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118490. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118490;

6. Saha, M., & Eckelman, M. J. (2017). Growing fresh fruits and vegetables in an urban landscape: A geospatial assessment of ground level and rooftop urban agriculture potential in Boston, USA. *Landscape and Urban Planning*, 165, 130–141. doi:10.1016/j.landurbplan.2017.04.015;

7. Mathias Schaefer & Nguyen Xuan Thinh (2019) Evaluation of Land Cover Change and Agricultural Protection Sites: A GIS and Remote Sensing Approach for Ho Chi Minh City, Vietnam. *Heliyon*, 5, Issue 5, e01773, doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01773;

8. Wenyong Hu, Huifeng Wang, Lurui Dong, Biao Huang, Ole K. Borggaard, Hans Christian Bruun Hansen, Yue He, Peter E. Holm (2018) Source identification of heavy metals in peri-urban agricultural soils of southeast China: An integrated approach, *Environmental Pollution*, 237, 650-66, doi: 10.1016/j.envpol.2018.02.070;

9. Amos, Caleb Christian; Rahman, Ataur; Karim, Fazlul; Gathenya, John Mwangi (2018). A Scoping Review of Roof Harvested Rainwater Usage in Urban Agriculture: Australia and Kenya in Focus. *Journal of Cleaner Production*, S0959652618324508–. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.108;

10. Angelica Mendoza Beltran, Kelzy Jepsen, Martí Rufí-Salís, Sergi Ventura, Cristina Madrid Lopez, Gara Villalba (2022) Mapping direct N2O emissions from peri-urban agriculture: The case of the Metropolitan Area of Barcelona. *Science of The Total Environment*, 822, 153514, doi:10.1016/j.scitotenv.2022.153514;

11. Mohammad Karimi Firozjaei, Solmaz Fatholouloumi, Majid Kiavarz, Jamal Jokar Arsanjani, Seyed Kazem Alavipanah (2020) *Ecological Indicators*, 109, 105816, doi:10.1016/j.ecolind.2019.105816;

12. Peter Kabano, Sarah Lindley, Angela Harris (2020) Evidence of urban heat island impacts on the vegetation growing season length in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, 206, 103989, doi:10.1016/j.landurbplan.2020.103989;

13. O.V.Hudz, A.D.Karpiuk, B.L.Holub, A.O.Dudnyk, A.V.Bushma, (2021) Optical sensor for the detection of mycotoxins, *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics* This link is disabled., 2021, 24(2), pp. 227–233, doi: /10.15407/spqeo24.02.227;

14. Ee Ping Kho, Sing Ngie David Chua, Soh Fong Lim, Lee Chung Lau, Mohd Tirmidzi Ngapdul Gani (2022) Development of young sago palm environmental monitoring system with wireless sensor networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, 106723. doi: 10.1016/j.compag.2022.106723;

15. Bella Golub, Aleksandr Hudz, Alla Dudnyk, Aleksandr Bushma (2019) Production of Biotechnological Objects using Business Intelligence. 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), 200-204, doi: 10.1109/ACITT.2019.8780061;

16. Elad Levintal, Kenneth Lee Kang, Lars Larson, Eli Winkelman, Lloyd Nackley, Noam Weisbrod, Joh S. Selker, Chester J. Udell (2021) eGreenhouse: Robotically positioned, low-cost, open-source CO2 analyzer and sensor device for greenhouse applications. *HardwareX*, 9, e00193, doi:10.1016/j.ohx.2021.e00193;

17. A.Dudnyk, V.Lysenko, N.Zaets, D.Komarchuk, T.Lendiel and I.Yakymenko (2018), "Intelligent Control System of Biotechnological Objects with Fuzzy Controller and

Noise Filtration Unit," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 586-590, doi:10.1109/INFOCOMMST.2018.8632007;

18. Sophie A.Nitoslawski, Nadine J.Galle van den Bosch, Cecil Konijnendijk; Steenberg, James W.N. (2019). Smarter ecosystems for smarter cities? A review of trends, technologies, and turning points for smart urban forestry. *Sustainable Cities and Society*, 101770. doi:10.1016/j.scs.2019.101770;

19. S.Joimel, J.Cortet, C.C.Jolivet, N.P.A.Saby, E.D.Chenot, P.Branchu, J.N.Consalès, C. Lefort, J.L.Morel, C.Schwartz (2016) Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France. *Science of The Total Environment*, 545–546, pp. 40-47, doi:10.1016/j.scitotenv.2015.12.035;

20. V.M.Polishchuk, S.A.Shvorov, I.V.Flonts, T.S.Davidenko, Ye.O. Dvornyk (2021) Increasing the Yield of Biogas and Electricity during Manure Fermentation Cattle by Optimally Adding Lime to Extruded Straw. *Problemele Energeticii regionale*. 1, Iss. 49. pp. 73-85, doi:10.52254/1857-0070.2021.1-49.02;

21. V.M.Polishchuk, S.A.Shvorov, M.M.Zablodskiy, P.P.Kucheruk, T.S.Davidenko, Ye.O. Dvornyk (2021) Effectiveness of Adding Extruded Wheat Straw to Poultry Manure to Increase the Rate of Biogas Yield. *Problemele Energeticii regionale*. 3, Iss. 51. pp. 111-124. doi:10.52254/1857-0070.2021.3-51.10;

22. J.Liu, L.Zhang, Q.Zhang, G.Zhang, & J.Teng (2021). Predicting the surface urban heat island intensity of future urban green space development using a multi-scenario simulation. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102698. doi:10.1016/j.scs.2020.102698;

23. Qiu Kuanbiao, Jia Baoquan (2019). The roles of landscape both inside the park and the surroundings in park cooling effect. *Sustainable Cities and Society*, 101864. doi:10.1016/j.scs.2019.101864;

24. A.Onishi, X.Cao, T.Ito, F.Shi, & H.Imura (2010). Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(4), 323–332. doi:10.1016/j.ufug.2010.06.002;

25. A.M.Hunter, N.S.G.Williams, J.P.Rayner, L.Aye, D.Hes, & S.J.Livesley (2014). Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review. *Ecological Engineering*, 63, 102–113. doi:10.1016/j.ecoleng.2013.12.021;

26. H.Yin, F.Kong, A.Middel, I.Dronova, H.Xu & P.James (2017). Cooling effect of direct green façades during hot summer days: An observational study in Nanjing, China using TIR and 3DPC data. *Building and Environment*, 116, 195–206. doi:10.1016/j.buildenv.2017.02.020;

27. K.V.Abhijith, Prashant Kumar, John Gallagher, Aonghus McNabola, Richard Baldauf, Francesco Pilla, Brian Broderick, Silvana Di Sabatino & Beatrice Pulvirenti (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment*, 162, 71–86. doi:10.1016/j.atmosenv.2017.05.01;

28. Esraa Elmarakby, Marwa Khalifa, Abeer Elshater & Samy Afifi (2022) Tailored methods for mapping urban heat islands in Greater Cairo Region. *Ain Shams Engineering Journal*, 13 (2), 101545, doi:10.1016/j.asej.2021.06.030;

29. Garegin Tepanosyan, Vahagn Muradyan, Azatuhi Hovsepyan, Gleb Pinigin, Andrey Medvedev & Shushanik Asmaryan (2021) Studying spatial-temporal changes and

relationship of land cover and surface Urban Heat Island derived through remote sensing in Yerevan, Armenia. *Building and Environment*, 187, 107390, doi:10.1016/j.buildenv.2020.107390;

30. Bijay Halder, Jatisankar Bandyopadhyay, Papiya Banik (2021) Monitoring the effect of urban development on urban heat island based on remote sensing and geo-spatial approach in Kolkata and adjacent areas, India. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103186. doi:10.1016/j.scs.2021.103186;

31. N. Pasichnyk, D. Komarchuk, O. Opryshko, S. Shvorov, V. Reshетиuk and B. Oksana, "Technologies for Environmental Monitoring of the City," 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), 2021, pp. 40-43, doi:10.1109/CADSM52681.2021.9385213;

32. Yeran Sun, Shaohua Wang, Yu Wang (2020) Estimating local-scale urban heat island intensity using nighttime light satellite imageries. *Science of The Total Environment*, 763, 144224. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144224;

33. Di Yang, Weixin Luan, Lu Qiao, Mahardhika Pratama (2020) Modeling and spatio-temporal analysis of city-level carbon emissions based on nighttime light satellite imagery. *Applied Energy*, 268, 114696. doi:10.1016/j.apenergy.2020.114696;

34. Yue Chang, Jingfeng Xiao, Xuxiang Li, Steve Frothing, Decheng Zhou, Annemarie Schneider, Qihao Weng, Peng Yu, Xufeng Wang, Xing Li, Shuguang Liu, Yiping Wu (2021) Exploring diurnal cycles of surface urban heat island intensity in Boston with land surface temperature data derived from GOES-R geostationary satellites. *Science of The Total Environment*, 763, 144224. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144224;

35. Yuanmao Zheng, Lina Tang, Haowei Wang (2021) An improved approach for monitoring urban built-up areas by combining NPP-VIIRS nighttime light, NDVI, NDWI, and NDBI. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129488. doi:10.1016/j.jclepro.2021.129488;

36. Sorin Cheval, Alexandru Dumitrescu, Adrian Iraşoc, Monica-Gabriela Paraschiv, Michael Perry, Darren Ghent (2022) MODIS-based climatology of the Surface Urban Heat Island at country scale (Romania). *Urban Climate*, 41, 101056. doi:10.1016/j.uclim.2021.101056;

37. TC Chakraborty, Xuhui Lee, Sofia Ermida, Wenfeng Zhan (2021) On the land emissivity assumption and Landsat-derived surface urban heat islands: A global analysis. *Remote Sensing of Environment*, 265, 112682, doi: 10.1016/j.rse.2021.112682;

38. Terence Darlington Mushore, John Odindi, Timothy Dube, Trylee Nyasha Matongera, Onesimo Mutanga (2017) Remote Sensing Applications: Society and Environment, 8, pp.83-93. doi:10.1016/j.rsase.2017.08.001;

39. Boutaina Sebbah, Otmane Yazidi Alaoui, Miriam Wahbi, Mustapha Maâtouk, Nizar Ben Achhab (2021) QGIS-Landsat Indices plugin (Q-LIP): Tool for environmental indices computing using Landsat data. *Environmental Modelling & Software*, 137, 104972. doi: 10.1016/j.envsoft.2021.104972;

40. You-Ren Wang, Bjørn H. Samset, Frode Stordal, Anders Bryn, Dag O. Hessen (2023) Past and future trends of diurnal temperature range and their correlation with vegetation assessed by MODIS and CMIP6, *Science of The Total Environment*, Vol. 904, 15 December 2023, 166727, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.166727.

41. Xueling Zhang, Alimujiang Kasimu, Hongwu Liang, Bohao Wei, Yimuranzi Aizizi, Fuqiang Han (2023) Mechanism analysis of vegetation phenology in an urban agglomeration in an arid zone driven by seasonal land surface temperatures, *Urban Climate*, Vol. 53, January 2024, 101795, doi: 10.1016/j.uclim.2023.101795.
42. Marie Van Espen, James H. Williams, Fátima Alves, Yung Hung, Dirk C. de Graaf, Wim Verbeke (2023) Beekeeping in Europe facing climate change: A mixed methods study on perceived impacts and the need to adapt according to stakeholders and beekeepers. *Science of The Total Environment*. Vol. 888, 25 August 2023, 164255, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164255.
43. Markus Simbürger, Sabrina Dreisiebner-Lanz, Michael Kernitzkyi, Franz Pretenthaler (2022) Climate risk management with insurance or tax-exempted provisions? An empirical case study of hail and frost risk for wine and apple production in Styria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Vol. 80, 1 October 2022, 103216, doi: 10.1016/j.ijdr.2022.103216
44. N. Pasichnyk, D. Komarchuk, H. Korenkova, S. Shvorov, O. Opryshko, N. Kiktev. Spectral-spatial analysis of data of images of plantings for identification of stresses of technological character. 2nd International Conference on Intellectual Systems and Information Technologies (ISIT 2021) co-located with 1st International Forum "Digital Reality" (DRForum 2021). CEUR Workshop Proceedings, 2022, 3126, pp. 305-312. <http://ceur-ws.org/Vol-3126/paper47.pdf>
45. Faichuk, O.; Voliak, L.; Hutsol, T.; Glowacki, S.; Pantsyr, Y.; Slobodian, S.; Szelaq-Sikora, A.; Gródek-Szostak, Z. European Green Deal: Threats Assessment for Agri-Food Exporting Countries to the EU. *Sustainability* **2022**, *14*, 3712.
46. Ciot, M.-G. Implementation Perspectives for the European Green Deal in Central and Eastern Europe. *Sustainability* **2022**, *14*, 3947. <https://doi.org/10.3390/su14073947>
47. Vindel, J.M.; Trincado, E.; Sánchez-Bayón, A. European Union Green Deal and the Opportunity Cost of Wastewater Treatment Projects. *Energies* **2021**, *14*, 1994.
48. O. Kalivoshko; V. Kraevsky; K. Burdeha; I. Lyuty; N. Kiktev. The Role of Innovation in Economic Growth: Information and Analytical Aspect. 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 05-07 October 2021, Kharkiv, pp. DOI: 10.1109/PICST54195.2021.9772201
49. Khort, D.; Kutyrev, A.; Kiktev, N.; Hutsol, T.; Glowacki, S.; Kuboń, M.; Nurek, T.; Rud, A.; Gródek-Szostak, Z. Automated Mobile Hot Mist Generator: A Quest for Effectiveness in Fruit Horticulture. *Sensors* **2022**, *22*, 3164. <https://doi.org/10.3390/s22093164>
50. Tryhuba, A.; Hutsol, T.; Kuboń, M.; Tryhuba, I.; Komarnitskyi, S.; Tabor, S.; Kwaśniewski, D.; Mudryk, K.; Faichuk, O.; Hohol, T.; Tomaszewska-Górecka, W. Taxonomy and Stakeholder Risk Management in Integrated Projects of the European Green Deal. *Energies* **2022**, *15*, 2015. <https://doi.org/10.3390/en15062015>

**SATELLITE MONITORING IN THE IMPLEMENTATION OF THE
AGRICULTURAL DEVELOPMENT CONCEPT IN AN URBANIZED
ENVIRONMENT**

O. Opryshko, Y. Tsytsiurskyi, S. Omelchenko, O. Hluschenko

Abstract. *Cities, due to their urbanization and human activity, create heat islands that have the potential for agricultural production. Heat emissions contribute to the extension of the growing season, enabling the cultivation of technical crops even on contaminated soils, which are important for bioenergy and biogas production. The technologies for monitoring heat islands using satellites are discussed, which allow the identification of areas with the highest heat emissions. Research in Kyiv showed that the most stable heat emissions occur in the spring-autumn period, when the temperature ranges from 5 to 25°C, which is optimal for plant development. Satellite monitoring technologies not only detect thermal anomalies but also identify optimal locations for green planting that help reduce the negative impact of the urban environment on vegetation. The developed software solution based on satellite data helps track changes in surface temperature and their effect on vegetation, enabling better planning of agricultural production in urban areas. The example of the Lavina shopping and entertainment center in Kyiv revealed stable heat emissions that can be used for the development of urban agriculture. Proposed crops adapted to these conditions can optimize the use of heat for plant cultivation and provide ecological benefits for the city. The conclusions confirm the significant potential of heat islands for the development of urban agriculture, which contributes to improving ecology in megacities and providing local residents with high-quality products.*

Key words: *satellites, heat islands, urban farming*