



В. П. Кучерявий¹, Я. В. Генік¹, В. С. Кучерявий¹, Т. І. Шуплат², Н. Д. Гоцїй²

¹ Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

² Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ЕКОПРОСТОРОВІ ТА ТЕПЛОФІЗИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ "ОСТРОВА ТЕПЛА" ЛЬВІВСЬКОГО СЕРЕДМІСТЯ І ЖИТТЄВІСТЬ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН

Просторова морфологія міської забудови старовинного Львова, який розташований у районі Західного Лісостепу, істотно впливає на локальні енергетичні баланси. Особливо це стосується Львівської котловини, на якій розташоване історичне середньовічне місто, природне середовище якого впродовж шести століть урбанізувалось, змінивши докорінно теплофізичні характеристики компонентів ландшафту. Проаналізовано генезис трансформацій природних компонентів котловини: рослинного покриву, ґрунтів, водної поверхні. Водночас, виявлено характер змін мертвої підстильної поверхні, представленої бруківкою, асфальтом, бетоном, металом, які маючи високі теплофізичні характеристики, є основним фактором у формуванні "острова тепла". За результатами аналізу літописних, літературних та іконографічних джерел встановлено основні етапи трансформаційних процесів у ландшафті Львівської котловини впродовж XIII-XX століть. Теплофізичні зміни на цих етапах проявилися у зменшенні альбедо та зростанні питомої теплоємності підстильної поверхні котловини. З'ясовано, що мертва підстильна поверхня тут досягає 92 %, тоді як природна (зелені насадження) – 8 %. Відповідно альбедо природної поверхні зменшилось від 3000 до 240 %, а теплоємність мертвої підстильної поверхні зростає – від 0 до 226 Дж/кг·К. Взятю до уваги територію котловини площею 100 га. Мікрокліматичними дослідженнями, що проводили в межах котловини, виявлено різницю едафічних і кліматичних показників ділянок з різною підстильною поверхнею – мертвою і природною. Зовнішні межі цих едафо-кліматичних зон трактували як межі "острова тепла та сухості" – нижнього його ярусу. Внутрішні межі острова тепла охоплювали насадження IV еколого-фітоценологічного поясу (ЕФП), а зовнішні – насадження III ЕФП. Застосовано еколого-порівняльні дослідження рівня життєвості деревних рослин IV ЕФП, тобто території найбільше урбанізованої, і III ЕФП – зелених острівків невеликих скверів, а також II ЕФП – парків і ботанічного саду. Виявлено негативні зміни в морфології, фізіології та темпах росту деревних рослин, що ростуть у межах "острова тепла". Запропоновано шляхи оптимізації урбанізованого середовища.

Ключові слова: урбанізація; "острів тепла та сухості", альбедо; теплоємність; рослинний покрив; зелена зона міста; температура; мікроклімат; температурний градієнт середовища; життєвість рослин.

Вступ / Introduction

Займаючи на земній поверхні величезні території, міста не тільки відтіснили зелені насадження, але й погіршили міське середовище, проявивши активний вплив на первинний клімат. На місці вологого, рихлого, покритого ґрунтом природного ландшафту появляються великі площі мощених вулиць і тротуарів, майданів, да-

хів з металевою, черепичною, асфальтовою покрівлею, цегляних оборонних мурів. Різні рівні вулиць і дахів загально збільшують площу міських поверхонь – твердих, щільних, сухих, водонепроникних. Цегла, камінь, асфальт, ненадає гігантські батареї, акумулюють тепло вдень, віддаючи його вночі.

Як відомо [7, 17, 27], перші міркування стосовно особливого теплового режиму міста висловив у 1810 р.

Інформація про авторів:

Кучерявий Володимир Панасович, д-р с.-г. наук, професор, кафедра ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекології. Email: kucheryavy.volodya@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5364-4406>

Генік Ярослав Вячеславович, д-р с.-г. наук, професор, завідувач кафедри ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекології. Email: yarhenyk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6079-6827>

Кучерявий Володимир Сергійович, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекології. Email: kucheryavy.volodya@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1420-9433>

Шуплат Тарас Ігорович, канд. с.-г. наук, викладач, кафедра екологічної безпеки. Email: tarasshyplat@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-3497-2636>

Цитування за ДСТУ: Кучерявий В. П., Генік Я. В., Кучерявий В. С., Шуплат Т. І., Гоцїй Н. Д. Екопросторові та теплофізичні особливості формування "острова тепла" Львівського середмістя і життєвість деревних рослин. Науковий вісник НЛТУ України. 2023, т. 33, № 3. С. 23–33.

Citation APA: Kucheryavyj, V. P., Henyk, Ya. V., Kucheryavyj, V. S., Shuplat, T. I., & Hotsii, N. D. (2023). Environmental-spatial and thermophysical features of the formation of the heat island of Lviv city center and vitality of tree plants. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(3), 23–33. <https://doi.org/10.36930/40330304>

Люк Говард, який виявив "штучне надмірне тепло" у Лондоні порівняно із сільською місцевістю і навіть запропонував визначення цієї різниці такою формулою: $\Delta t = t_m - t_c$, де: t_m – температура міста, t_c – температура села.

Відомо [3, 7, 17, 40], що формування міського клімату відбувається під дією трьох основних факторів: сонячної радіації, характеру підстильної поверхні та атмосферної циркуляції [22]. Характер забудови, заміщення та матеріалів, які їх утворюють, а також величина вегетуючої поверхні в межах перелічених фундаментальних факторів, впливають на: посилення короткохвильового випромінювання – багаторазове відбиття від дахів, фасадів будинків, мертвої та вегетуючої підстильної поверхні, зростання довгохвильового випромінювання, яке переважно спричинене забрудненням повітря, зростання антропогенного тепла, пониження турбулентного перенесення тепла розгалуженою мережею вулиць.

Досліджуючи структуру "острова тепла" виділяють три кліматоформувні шари: а) наземний (міські площі, вулиці, газони, квітники, водні поверхні), б) рівень дахів малоповерхових будинків і крон дерев, в) рівень дахів багатоповерхівок [20, 43].

"Острів тепла" проявляється за ясного неба, низької хмарності та слабого вітру, що беруть до уваги при виявленні меж "острова тепла".

Акумуляція тепла, спричинена сонячною радіацією, проявляється у двох головних геофізичних показниках – альбедо і температурі поверхні. Альбедо поверхні ($A = R/Q \cdot 100, \%$) – це тільки частина потоку сумарної радіації, значна її частина ($Q \cdot (A - 1)$) поглинається підстильною поверхнею і йде на нагрівання ґрунту, рослинності, будівельних матеріалів. Усім цим елементам поверхні притаманне власне альбедо та великий рівень теплоємності. Регулювання термічного режиму можливе тільки в разі раціонального використання матеріалів з відповідними альбедо і теплоємністю [20, 41, 42, 43].

У великих містах більша частина його території – це "плато" теплого повітря з підвищенням температури від периферії до центру міста. Термічна однорідність "плато" порушується "розривами" поверхні у вигляді зон прохолоди (парки, водойми) і зон генерації тепла – забудова, промислові підприємства, транспортні артерії [19, 21, 22, 28, 29, 31, 32]. На межі цих утворень можливий значний перепад вертикальних температур, який спричиняє явище бризу – охолодження повітря на декілька градусів. Якщо Львів у межах усієї території міста має такі розриви, то розташоване у Львівській котловині середмістя позбавлене можливості охолодження довкілля, оскільки тут площа зелених насаджень не досягає навіть 10 %. Зазвичай температурна різниця між центром міста й передмістями становить декілька градусів. Річна середня температура повітря в місті з населенням більше мільйона мешканців може бути на 1,0-3,0 °C вища, ніж на його околицях. Увечері, різниця може сягати 12 °C.

З огляду на це було досліджено не тільки екопросторові та теплофізичні особливості формування міського "острова тепла", але і його вплив на стан міських насаджень та запропонували способи збільшення зеленої поверхні серед забудов. Зі зменшенням площі зелених насаджень міста втрачають тінюву та охолоджувальну дію дерев, також зменшується поглинання вуглекислого газу. Аналіз трансформаційних процесів у ландшафті міста Львова проводили на підставі літописних, іконографічних літературних джерел.

Об'єкт дослідження – трансформаційні процеси ландшафту Львівської котловини і формування "острова тепла" у середмісті.

Предмет дослідження – динаміка змін трансформації альбедо і теплоємності підстильної поверхні Львівської котловини в історичний період (XIII – XX ст.).

Мета роботи – дослідити мікрокліматичні параметри "острова сухості" середмістя і його вплив на життєвість деревних рослин.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

1. Дослідити трансформацію підстильної поверхні ландшафту Львівської котловини за історичний період (XIII-XX ст.).
2. Вивчити зміни альбедо і теплоємності підстильної поверхні за історичний період (XIII-XX ст.).
3. Дослідити мікроклімат природної та мертвої підстильної поверхні "острова сухості" і вплив його на життєвість рослин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання міського клімату за останні десятиріччя досліджено у багатьох наукових працях [3, 5, 7, 8, 9, 17, 20, 25, 35, 43]. Виявилось, що підвищення температурного режиму і пов'язане з ним зниження відносної вологості сприяє формуванню "острова тепла" і нижнього його ярусу – "острова сухості" – ксерофільного едафотопу і кліматопу, що є основною загрозою для життєвості рослинного покриву – основного охолоджувача і зволожувача міського середовища [3, 5, 7, 8, 17, 27, 40]. Оподи та снігові талі води, які мали б зволожувати ґрунт і повітря, не затримуються на поверхні, стікаючи в зливову каналізацію. Водночас, теплоємна поверхня бруку і бетону призводить до швидкого випаровування вологості [20, 43].

Питання формування зеленої інфраструктури як протидії урбанізаційним процесам досліджено у закордонних статтях [1, 2, 4, 6, 30]. Особливу увагу приділяють підбору рослин залежно від мікроклімату місць зростання та регулювання вологості ґрунту в системі "вода-ґрунт-рослина" [2]. Рекомендують підбирати рослини для зеленої інфраструктури відповідно до екологічних умов урбанізованої території [6].

Проблеми впливу "острова тепла" на тривалість вегетації та стан рослин висвітлено у статтях [17, 30, 33]. Водночас, розглядають соціальні аспекти впливу клімату на стан міської рослинності [20, 42] та оцінювання втрат рослинного покриву в зоні "острова тепла" [24, 40, 43].

Сучасний підстильний шар, що спонукає до утворення "острова тепла" і "острова сухості", має свою історію, яку, виходячи з урбоекологічних позицій, потрібно глибоко вивчати, щоб у перспективі містобудівельна практика мала рецепт оздоровлення сьогоденного і планування майбутнього оптимального середовища існування людей і всього живого, що їх оточує [10, 22, 27, 28, 32, 35, 39, 42, 43].

Матеріали та методи дослідження. Для вивчення динаміки трансформаційних процесів у ландшафті львівської котловини використовували іконографічні методи та літописні і літературні джерела.

Експрес-аналіз імпедансу та поляризаційної ємності застосовано для вивчення фізіологічного стану деревних рослин, що ростуть у різних екологічних умовах.

Під час виконання дослідження було використано такі основні методи:

- індукції флуоресценції хлорофілу – для оцінювання рівня життєвості деревних рослин;
- рекогносцирувальні – для підбору об'єктів досліджень життєвості деревних рослин;
- мікрокліматичні – для визначення меж острова сухості та дослідження температурного градієнта деревних рослин;
- лісівничо-таксаційні – для встановлення біометричних показників розвитку деревних рослин в урбогенних умовах;
- ґрунтознавчі – для визначення щільності ґрунту та його температурного режиму в лунках дерев.

Для досліджень використовували прилади для дослідження мікроклімату (психрометр, пірометр, термометр,

прилади для визначення мікрокліматичних показників та імпедансу і поляризаційної ємності, мультиметр).

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Зелена зона Львова (рис. 1) досить добре представлена зеленими насадженнями різної величини (парки, сквери, бульвари). На одного мешканця міста у 2000 р. припадало більше 54 м² зелених насаджень. Проте їх недостатньо на території історичного центру міста, розташованого у Львівській котловині.

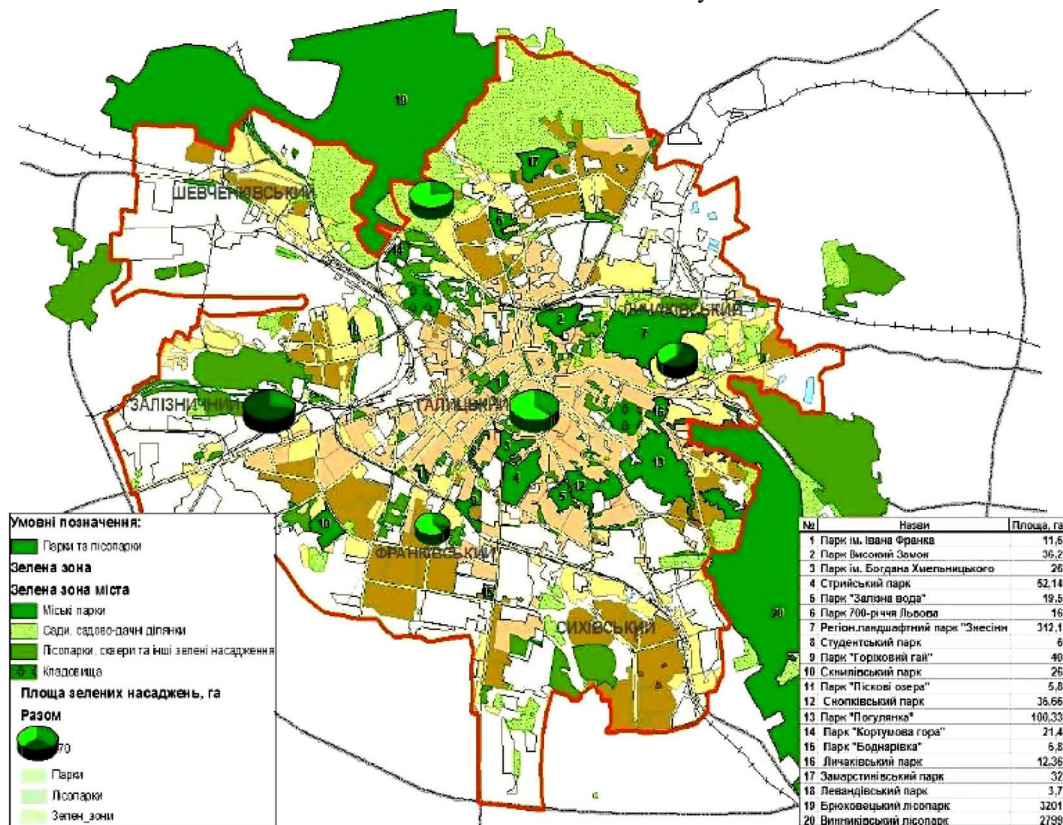


Рис. 1. Зелена зона міста Львова / Green zone of the city of Lviv [37]

Етапи трансформаційних процесів у ландшафті Львівської котловини визначали за коефіцієнтами динаміки його змін: $K_L = L_2 - L_1$, де: K_L – коефіцієнт зміни динаміки ландшафту стосовно ступеня зміни компонентів (рельєф, клімат, гідрологія, ґрунти, рослинний і тваринний світ); L_2 – стан динамічної рівноваги за період $n + 1$; L_1 – динамічна рівновага на період n [20].

Співвідношенням $K_{L1}:K_{L2}:K_{L3}:K_{L4}:K_{L5}$, відображено ступінь покомпонентного перетворення ландшафту котловини впродовж XIII-XX ст.

Урівноваження динамічного і функціонально стійкого стану, яке досягає свого максимуму при n , і навпаки, при $n + 1$ процес рівноваги відрізняється посиленою нестійкістю, тобто коли сума функціональних покомпонентних змін у динамічному розвитку ландшафту буде залежати від величини балу перетворень – від 1,0 до 10,0.

Покомпонентний та сумарний результат антропогенізації компонентів ландшафту Львівської котловини на завершенні XX ст. у балах виглядає так: рельєф – 10, гідрологія – 10, клімат – 8, ґрунт – 10, рослинність – 9, тваринний світ – 9. Наприкінці XX ст. середній бал антропогенних змін становив 9,33. Отже, можна стверджувати, що колишня вегетуюча поверхня цього неповторного котловинного ландшафту зменшилась у дев'ять разів, змінюючи показники альbedo і теплоємності [20].

Сьогодні територія котловини представлена такими елементами підстильної поверхні: мертва підстильна поверхня (замощення, забудова) – 92 % та природна (зелені насадження) – 8 %.

Теплофізичні зміни на цих етапах визначали за величиною показника альbedo, % та питомої теплоємності (Дж/кг·К), використовуючи літературні дані [36, 38].

Для розрахунку альbedo природних і штучних поверхонь котловини приймали такі показники: зелені насадження – 8,5-46,0; газон – 20,5; трава – 21,0-25,0; крона дерев – 5,0-20,0; поверхневі води – 5,0; бруківка – 3,0; асфальт чорний – 4,0; земля – 4,5; покривельне залізо – 6,0 і бетон – 8,5. Питома теплоємність будівельних матеріалів (кДж/кг·К): асфальт – 0,92, бетон – 0,88, бруківка – 0,2, цинк – 0,38, залізо – 0,46 і рослинний покрив – 2,9 [20, 38].

Мікрокліматичні дослідження проводили у спосіб маршрутних польових знімачів: вимірювали температуру мертвого покриття, повітря і ґрунту, відносну вологість повітря і ґрунту, швидкість вітру. Оцінювали рівень життєвості рослинного покриву [20, 26].

Для виявлення структури підстильної поверхні використовували картографічні та іконографічні методи, матеріали ГІС-знімачів. Простір досліджень – близько 100 га, де враховано "місто за мурами" (50 га) і півден-

ну забудовану частину котловини. Вираховували розміри всіх основних елементів підстильної поверхні за їхніми проекціями: забудова (дахи), вулиці, тротуари, майдани, зелені насадження (посадки з дерев та кущів, газони, квітники).

Генезис урбогенної теплофізичної трансформації підстильної поверхні проходив низку етапів. Наприкінці XIII – на початку XIV ст. новим центром міста став район, в якому оселились німецькі міщани, а також католицька шляхта і духовенство. Район оточувала висока кам'яна стіна з баштами, муром, воротами, земляним валом і глибоким ровом, наповненим водою, який був одним із елементів оборонного характеру [15, 16, 18]. Відтоді в "місті за мурами" почала формуватися мертва підстильна поверхня (рис. 2), тепловіддача якої ще не могла істотно впливати на клімат котловини, оскільки з півдня до стін підступала широка заплава досить повноводної р. Полтви, а з півночі – заліснені схили Замкової гори, які були одним із головних охолоджувальних факторів для тогочасного міста. Понад це в цей період основна маса будівель була дерев'яною: використовували переважно деревину сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) (з Брюховицького лісу), рівень теплоємності якої є в діапазоні 1,7-1,9 кДж/кг·К. Для покрівлі будинків використовували дранку, питома теплоємність якої 1,7 кДж/кг·К. У відсотковому співвідношенні теплофізичні показники поверхні котловини того періоду виглядали так: альbedo – 35 %, теплоємність – 1,7 кДж/кг·К. Панораму міста XIV ст. зображено на рис. 2.



Рис. 2. Львів у XIV ст. Гіпотетична графічна реконструкція І. Качора / Lviv in the 14th century. Hypothetical graphic reconstruction of I. Kachor [18]

Середина XVI ст. стала переломною з погляду якості мертвої підстильної поверхні. Після масштабної пожежі 1527 р., коли дерев'яна забудова середмістя повністю вигоріла, розпочалося будівництво кам'яного Львова. До речі, звідти і стала поширена серед львів'ян назва будинку – кам'яниця. Уже наприкінці XVI ст., як описує Мартін Груневер, тротуари в місті були із "тесаного" каменя [14]. Самі ж вулиці були ґрунтовими (питома теплоємність якої 4,5 кДж/кг·К). Після 1527 р. почали використовувати переважно "глиняні" дахи з черепиці (питома теплоємність якої 0,92 кДж/кг·К). Міські собори, які займали значну площу, покривали свинцевою або мідною бляхою (питома теплоємність – 4,0 і 1,4 кДж/кг·К).

Заплава річки Полтви залишається ще не антропогенізованою. Водночас, як описує М. Груневер, засвоєні населенням прилеглі природні поверхні підступали пря-

мо до оборонних мурів: "дуже гарні околиці ... широкі поля ... чагарники й ліс. Не знаю міста у всьому королівстві, яке б було багатим на садки". Отже, в цей період – завершення XV-XVIII ст. – "місто за мурами" урбанізується (рис. 3), істотно змінюються теплофізичні характеристики його підстильної поверхні – зменшується альbedo і збільшується тепловіддача поверхні. Середній показник альbedo становив: природна підстильна поверхня – 1590 %, мертва підстильна поверхня – 109,6 %. Відповідно питома теплоємність підстильної поверхні становить: природна підстилююча поверхня – 137,8 кДж/кг·К, мертва підстильна поверхня – 115,6 кДж/кг·К. Проте, суміжні зелені і водні простори, завдяки турбулентним повітряним потокам, нейтралізують підвищену тепловіддачу кам'яних покриттів, дахів і відкритих ущільнених ґрунтових поверхонь.



Рис. 3. Вид міста початку XVII ст. Рисунок Аврелія Пассаротті (репродукція з книги "Bruin et Hogenberg: Civitates orbis terrarum, Coloniae 1597-1618" Т. IV, 49 / View of the city at the beginning of the 17th century. Drawing by Aurelius Passarotti (reproduction from the book "Bruin et Hogenberg: Civitates orbis terrarum, Coloniae 1597 1618" Т. IV, 49 [14]

У плані міста кінця XVIII ст. (рис. 4) зображене середмістя, оточене мурами, за якими ще зберігаються зелені простори. Річка Полтва тече своїм природним руслом. Отже, теплофізичні параметри котловини зберігаються, незважаючи на те, що в середині "міста за мурами" збільшується площа тепловідбиваючої поверхні, завдяки благоустрою вуличної мережі – широкого використання кам'яних покриттів.

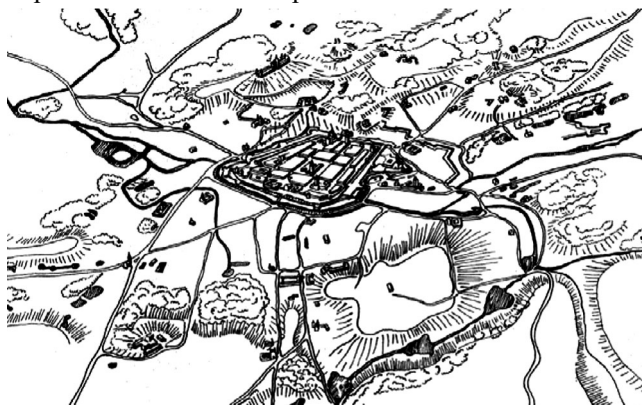


Рис. 4. Львів та околиці у XV-XVIII ст. Графічна реконструкція Я. Витвицького, 1936 р. / Lviv and its surroundings in the 15th – 18th centuries. Graphic reconstruction of Ya. Vytvytskyi, 1936 [15, 16]

Початком суцільної урбанізації котловини був завершення XIX ст., коли виходячи із містобудівельних і санітарних потреб того часу, Полтва була каналізова-

ною (1890 р.). У цей період спостерігався "будівельний бум", коли повністю забудовується південна заплава і нижня тераса річки Полтви.

Дослідження природної підстильної поверхні – рослинного покриву, гідрології, ґрунтового шару та мертвої підстильної поверхні виявили динамічні зміни за період від XIII до кінця XX ст. (рис. 5). Ці зміни призвели до різкого зменшення відбиваючої сонячне проміння підстильної поверхні.

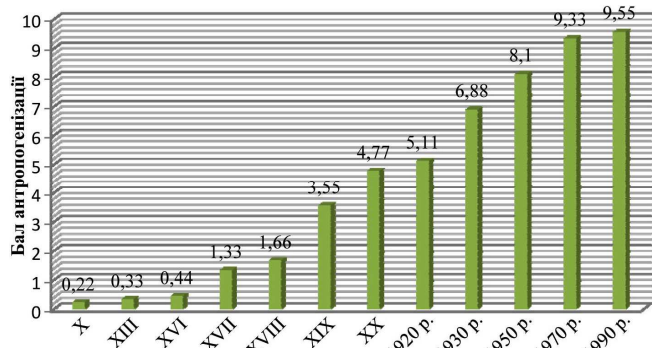


Рис. 5. Оцінка ступеня урбанізації ландшафту дна Львівської котловини (історична частина міста) в різні періоди антропогенної трансформації / Assessment of the urbanization degree of the landscape of the bottom of the Lviv basin (historical part of the city) in different periods of anthropogenic transformation [20]

Оцінювання антропогенного перетворення природної підстильної поверхні виконували з урахуванням коефіцієнтів динаміки змін головних компонентів ландшафту – рослинного покриву і водної поверхні. Наприкінці XIII ст. площа заплави р. Полтви і нижньої тераси, в межах цього об'єкта, займала близько 100 га, луки і деревна рослинність – 97 га, водна – 3 га (табл. 1).

Табл. 1. Динаміка зміни природної підстильної поверхні дна Львівської котловини (XIII – XX ст.) / Dynamics of changes in the natural underlying surface the bottom of the Lviv Basin (13th – 20th centuries)

Історичний період, століття	Рослинний покрив		Водна поверхня	
	площа, га	%	площа, га	%
XIII	100,0	97,0	3,0	3,0
XIV-XVII	50,0	50,0	3,0	3,0
XVIII	50,0	50,0	3,0	3,0
XIX	16,0	16,0	3,0	3,0
XX (завершення)	8,0	8,0	0	0

Як бачимо, починаючи з XIV ст. (період початку середньовічної забудови) до XX ст. природна підстильна поверхня дна котловини постійно зменшувалася: рослинний покрив – до 8 % і повністю зникла водна поверхня. За цей період мертва підстильна поверхня зайняла 92 % дна котловини (табл. 2).

Табл. 2. Порівняльна динаміка формування мертвої підстильної поверхні / Comparative dynamics of dead substrate formation surface

Історичний період, століття	Природна підстильна поверхня		Мертва підстильна поверхня	
	площа, га	%	площа, га	%
XIII	100,0	100,0	0	0
XIV-XVII	53,0	53,0	47,0	47,0
XVIII	53,0	53,0	47,0	47,0
XIX	18,0	18,0	82,0	82,0
XX	8,0	8,0	92,0	92,0

Динаміка змін теплофізичних характеристик рослинного покриву і водної поверхні подібна до великих

міст, які розбудовувались поблизу або в межах терас річкових заплав [15, 21].

У XIII ст. нинішнє дно котловини мало вигляд річкової заплави з характерною лучною та болотною рослинністю, з півночі і півдня до заплави підступав дубово-буковий ліс. Рівень альbedo рослинного покриву становив 30-40 % і був головним фактором охолодження та зволоження довкілля котловини. Альbedo водної поверхні (7,1 %), становило близько 3 % від загальної території, що певною мірою також позитивно впливало на мікроклімат цієї місцевості. Адже характерним фактором є властивість води акумулювати тепло (теплоємність 4,18 кДж/кг·К) і охолоджувати повітря.

Розуміння сучасного теплофізичного стану щільно забудованої котловини проходить через порівняння альbedo і теплоємності поверхні. Мезоклімат середмістя стає теплішим і сухішим, проте його вплив на клімат прилеглої території був незначним. У XVIII ст. середмістя "за мурами" втратило свої оборонні функції і після приєднання Львова до Австро-Угорської імперії (1772) укріплення були поступово знесені. Львів хоча і не був центром індустрії, але як столиця Галичини приваблював сільське населення ("ефект урбанізації"). Виникла необхідність розбудови міста довкола його центру – середмістя, ущільнюється забудова, стрімко скорочується площа природної підстильної поверхні.

Можна вважати, що дно Львівської котловини у другій половині XX ст. було повністю урбанізованим і в ньому сформувався "острів тепла", дія якого посилюється, спричиняючи збільшення урбогенного впливу на життя міста – людей, рослинний і тваринний світ.

Для визначення теплофізичних характеристик – альbedo і теплоємності для досліджуваної території (100 га), брали питому вагу кожного елемента підстильної поверхні – природної та штучної (табл. 3, 4, 5).

Табл. 3. Альbedo та теплоємність підстильної поверхні дна Львівської котловини (XIII – XX ст.) / Albedo and heat capacity of the underlying surface of the bottom of the Lviv Basin (13th – 20th centuries)

Історичний період, століття	Природна підстильна поверхня	Мертва підстильна поверхня
	ΣА, %	ΣС, кДж/кг·К
XIII	3000	0
XIV – XVII	1590	109,6
XVIII	1590	109,6
XIX	540	201,7
XX	240	226,3

Табл. 4. Динаміка змін альbedo підстильної поверхні, % / Dynamics of changes in albedo of the underlying surface, %

Історичний період, століття	Природна підстильна поверхня		Мертва підстильна поверхня	
	площа, га	альbedo, %	площа, га	альbedo, %
XIII	100,0	3000	0	0
XIV-XVII	53,0	1590	47,0	109,6
XVIII	53,0	1590	47,0	109,6
XIX	18,0	540	82,0	201,7
XX	8,0	240	92,0	226,5

Екокліматична ординація рослинного покриву та "острів тепла". У 80-х роках XX ст. кафедра ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекології НЛТУ України здійснила дослідження видової і формової структури деревних рослин зелених насаджень міста. Використовувалися маршрутні спостереження, у процесі яких оцінювали життєвість дерев і чагарників.

Було встановлено закономірність, що одні і ті самі види по-різному ставляться до різних урбогенних умов середовища [11, 12, 13, 21]. Тоді ж було запропоновано концепцію міської екокліної ординації міських фітоценозів й окремих деревних рослин [20, 21]. В основу концепції було покладено зонування міста на чотири еколого-фітоценотичні пояси (ЕФП): I – приміські ліси, луки, болота, водойми; II – міські лісопарки, парки, лугопарки, великі зелені масиви різного призначення; III – міські сади і сквери; IV – насадження вулиць і площ.

Табл. 5. Динаміка зміни теплоємності підстильної поверхні (с, кДж/кг·К) / Dynamics of changes in heat capacity of the underlying surface (s, kDg/kg·K)

Історичний період, століття	Природна підстильна поверхня		Мертва підстильна поверхня	
	площа, га	с, кДж/кг·К	площа, га	Σс, кДж/кг·К
XIII	100,0	260	0	0
XIV-XVII	53,0	137,8	47,0	115,6
XVIII	53,0	137,8	47,0	115,6
XIX	18,0	46,8	82,0	201,7
XX	8,0	20,8	92,0	226,3

Екоклінона ординація рослинного покриву ґрунтувалася на дослідженнях комплексного урбогенного градієнта середовища (КУГС), який об'єднує три основні фактори впливу на життєвість деревних рослин: едафічний, кліматичний і поллютантно-забруднювальний.

З'ясування меж міського "острова тепла", у спосіб мікрокліматичних знімачів, підтвердили панування головного фактора урбогенного градієнта еколого-фітоценотичної диференціації – кліматичного, який продиктований термічним режимом і впливає не тільки на клімат еколого-фітоценотичних поясів ("лісовий" – приміський ліс, "лісостеповий" – парк, "степовий" – сквер і "пустельний" – вуличні насадження). Кліматичній диференціації відповідає тип ґрунту: підзол лісовий, підзол лісостеповий, чорнозем степовий (насіпний) і урбозем (рис. 6).

Насадження двох бульварів та п'яти скверів котловини відносимо до III ЕФП, а до IV ЕФП – дерева вуличних насаджень і площ, що ростуть окремо. Якщо на бульварі пр. Свободи та ряду скверів, пов'язану із фітоценозами з їхнім характерним фітокліматом і від'ємним температурним градієнтом (різниця температури в кроні і на рівні кореневої системи у лунці), то дерева, що ростуть окремо, повністю перебувають під впливом додатного температурного градієнта, коли температура ґрунту в лунці (в зоні розгалуження коріння) є вищою від температури повітря у кроні.

Виявлено, що едафічний фактор тісно пов'язаний з кліматичним і по-різному проявляється в умовах фітоценозу (сквер поблизу готелю "Львів") та вуличних насаджень (площа Галицька), що підтвердили наші мік-

рокліматичні спостереження та дослідження життєвості дерев.

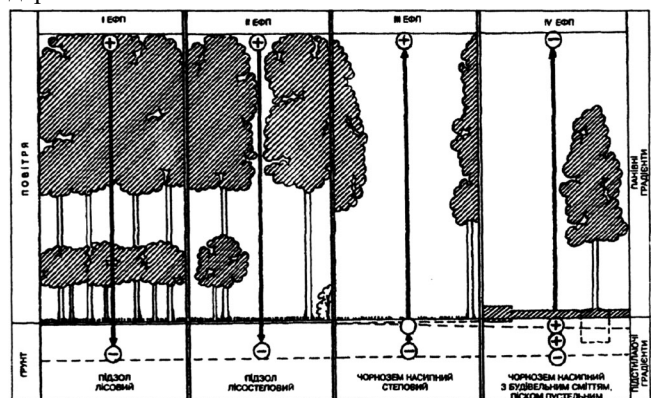


Рис. 6. Температурні градієнти еколого-фітоценотичних поясів / Temperature gradients of ecological and phytocenotic zones [20]

"Острів сухості" – нижній ярус "острова тепла" – формується нагріванням мертвої підстильної поверхні котловини, яка (табл. 6) у полудень літньої пори (липень) змінюється в межах 57-62 °С, і відповідає теплоємним характеристикам основних будівельних матеріалів (кДж/кг·К): камінь (бруківка) – 1,26, бетон – 1,0, асфальт – 0,92. Оскільки ці елементи мертвої підстильної поверхні котловини займають 92 % від усієї досліджуваної території, вони і є головними теплофізичними факторами формування "острова тепла".

Як відомо [11, 17, 27, 29], верхній ярус "острова тепла" активно формується завдяки тепловіддачі дахів будинків, покритих у середмісті здебільшого залізою (0,46 кДж/кг·К) та цинковою (0,38 кДж/кг·К) бляхою. Тепле повітря конвективними радіалями підіймається вгору (до 100 м і більше), розсіюється, знижуючи рівень вологості повітря у верхньому шарі "острова тепла" (ярус дахів). Дослідження цього ярусу не входило в програму наших досліджень.

Як відомо [5, 7, 28, 32], верхній ярус "острова тепла" активно формується завдяки тепловіддачі дахів будинків, покритих у середмісті здебільшого залізою (0,46 кДж/кг·К) та цинковою (0,38 кДж/кг·К) бляхою. Тепле повітря конвективними радіалями підіймається вгору (до 100 м і більше), розсіюється, знижуючи рівень вологості повітря у верхньому шарі "острова тепла" (ярус дахів). Зазвичай у містах широко використовують такі матеріали як бетон і асфальт, які мають істотно різні теплові (теплоємність і теплопровідність) та відбивні (розсіювані) властивості поверхні (альbedo і коефіцієнт випромінювання). Це викликає зміну в енергетичному балансі міської території, що часто призводить до більш високої температури, ніж у сільських районах. Дослідження цього ярусу не входило в програму наших досліджень.

Табл. 6. Стан едафотопів і кліматопів у зоні формування міського "острова тепла" дна Львівської котловини / The state of edaphotopes and climatopes in the zone of formation of an urban heat island of the bottom of the Lviv basin

№	Назва об'єкта	$T_{нов.}, ^\circ\text{C}$	$T_{ґрун.}, ^\circ\text{C}$	$W_{нов.}, \%$	$W_{ґрун.}, \%$	$T_{поверх.}, ^\circ\text{C}$
1	Сквер перед готелем "Львів"	24,5	15,3	62,0	34,1	17,8
2	Проспект Свободи	28,5	–	50,2	–	54,0
3	Площа Ринок	29,1	–	46,4	–	61,0
4	Площа Митна	29,0	–	45,9	–	62,0
5	Сквер ц. св. Антонія (вул. Личаківська)	24,9	15,1	64,2	42,2	18,2
6	Вул. Ю. Словацького (перед парком ім. Івана Франка)	26,4	–	57,3	–	50,7
7	Парк І. Франка	23,9	15,9	62,4	52,6	19,1
8	Вул. Підвальна	27,0	–	54,7	–	54,0
9	Сквер "На валах"	24,2	14,8	61,7	44,9	18,9

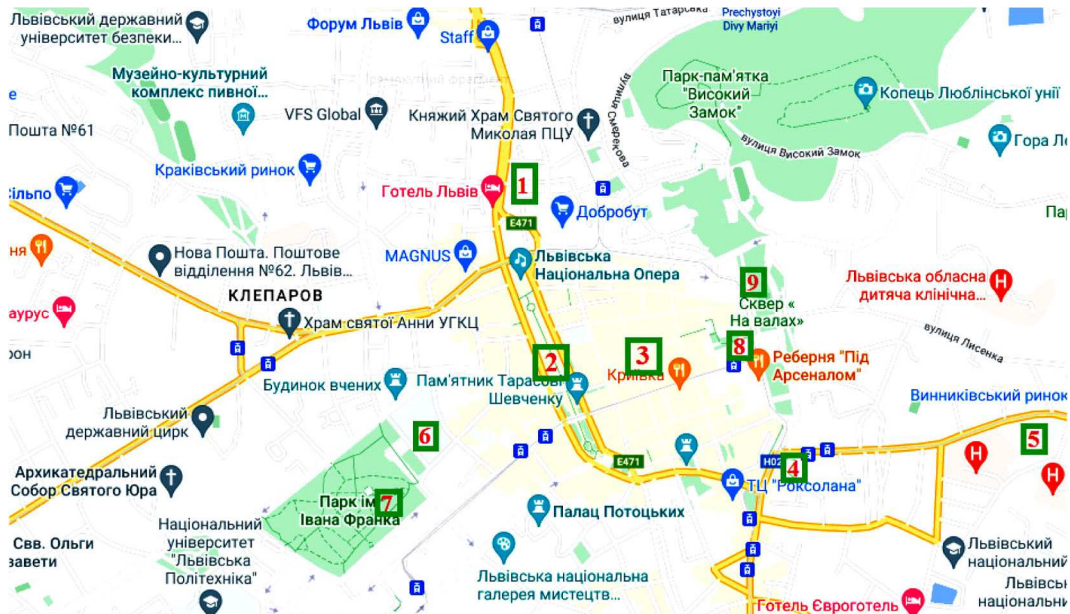


Рис. 7. Точки знімання мікрокліматичних показників / Points of microclimatic indicators

Мікрокліматичні дослідження в зоні "острова сухості". Для вивчення особливостей формування "острова сухості" території котловини, влітку 2021 р., було підбрано дев'ять дослідних точок, на яких проводили замір низки мікрокліматичних показників (рис. 7).

Результати проведених польових досліджень наведено у табл. 6 та на рис. 8.

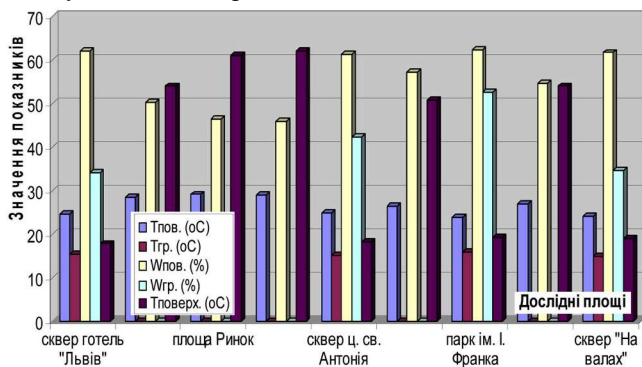


Рис. 8. Мікрокліматичні показники едафотопів і климатопів у зоні формування міського "острова тепла" / Microclimatic indicators of edaphotopes and climatopes in the zone of the formation of an urban heat island

Виявлено диференціацію мікрокліматичних показників. Високі показники температури повітря установлені: на площі Ринок – 29,1 °С, площі Митній – 29,0 °С, проспекті Свободи – 28,5 °С. Ці ділянки з їх великою площею мертвої підстильної поверхні перебувають у зоні активного впливу урбанізаційних процесів, передусім ксерофітних. Значно нижчими були показники температури повітря на ділянках із меншою площею мертвої підстильної поверхні: сквери біля готелю "Львів" – 24,5 °С, "На валах" – 24,2 °С і біля церкви св. Антонія – 24,9 °С. Різною була температура ґрунту в насадженнях: сквер перед готелем "Львів" – 15,3 °С, парк ім. Івана Франка – 15,9 °С (II ЕФП), сквер поблизу церкви св. Антонія (вул. Личаківська) – 15,1 °С і сквер "На валах" – 14,8 °С (III ЕФП).

Виявлено істотну різницю температурного режиму між ділянками з природною і мертвою підстильними поверхнями. Мертва підстильна поверхня: площа Митна – 62,0 °С, площа Ринок – 61,0 °С, вул. Підвальна –

54,0 °С, проспект Свободи – 54,0 °С, вул. Ю. Словацького – 50,7 °С. Ґрунтовий покрив зелених насаджень: парк ім. Івана Франка – 19,1 °С, сквери "На валах" – 18,9 °С, сквер перед церквою св. Антонія – 18,2 °С і готелем "Львів" – 17,8 °С.

Рівні вологості повітря та ґрунту корелюють із температурними показниками: на ділянках із мертвою підстильною поверхнею (плитка, бруківка, тротуар): площа Ринок – 46,4 %, проспект Свободи – 50,2 %, площа Митна – 45,9 %. Водночас, вищі рівні вологості виявлено на вул. Підвальній – 54,7 %, поруч із сквером "На валах" та на вул. Ю. Словацького – 57,3 % поблизу парку ім. Івана Франка. Найвищі рівні вологості зафіксовано в окрайній зоні "острова сухості" – у сквері перед готелем "Львів" (повітря – 62,0 %, ґрунт – 34,1 %), парку ім. Івана Франка (повітря – 62,4 %, ґрунт – 52,6 %), у сквері "На валах" (повітря – 61,7 %, ґрунт – 34,5 %) та поблизу церкви св. Антонія (повітря – 61,2 %, ґрунт – 42,2 %).

Дослідження території "острова сухості" – нижнього ярусу "острова тепла" – було необхідним для встановлення рівня життєвості основних деревних рослин, які розміщені в цих межах.

Згідно з екокліматичною ординацією, територія "острова сухості" належить до III-IV ЕФП: третій представлений двома бульварами (пр. Свободи і пр. Т. Шевченка) і рядом міських скверів (пл. Галицька, пл. Соборна, пл. А. Міцкевича), а в четвертому знаходяться поодинокі дерева на площах та вуличні посадки – площі Галицька та Митна, вул. Валова, вул. В. Стефаніка, вул. Ю. Словацького, вул. Театральна, вул. Князя Романа.

Як бачимо, "острів сухості" розташований у щільній забудові центральної частини міста, де температура мертвої підстильної поверхні (камінь, асфальт, бетон) змінюється в межах 57-62 °С, температура повітря 28,5-29,1 °С, а вологість повітря – 50,2-51,2 %. Умови засухи впливають на ріст, розвиток та репродуктивну здатність деревних рослин.

Найбільш загрозливими для життєвості рослин є знезволоження ґрунту, спричинене підвищеною сухістю повітря. Якщо прослідкувати за її зміною на трансекті "північ – південь" (вул. Підвальна – вул. Ю. Сло-

вацького), то побачимо, що вологісний режим котловини посилюється з окраїн "острова тепла" до центральної частини середмістя.

Аналогічна ситуація на трансекті "схід – захід", особливо це стосується замкнутого простору площі Ринок, де температура підстильної поверхні досягла 61 °С. На бульварі проспекту Свободи (орієнтація схід-захід) на цей час температура покриття алеї була на 7 °С меншою від покриття площі Ринок, що зумовлено охолодженням покриття алеї ранковою тінню.

Вплив "острова сухості" на фізіологічний стан дерев. Комплексність вивчення впливу теплового поля охоплює дослідження низки параметрів, які розкривають особливості фізіологічного стану деревних рослин, зокрема представників родини Кипарисові (Cupressaceae) – культивари роду ялівець (*Juniperus* L.) і туя західна (*Thuja occidentalis* L.). Ці хвойні рослини, які численно зростають в середмісті.

Для індикації стану життєвості рослин визначали електричний опір прикамбіальної тканини (імпеданс) та поляризаційну ємність. Фізіологічний стан оцінювали у співвідношенні обох показників. Встановлено, що в ослаблених рослин, що ростуть у несприятливих умовах ІV ЕФП, імпеданс був високим, а поляризаційна ємність – низькою. У рослин, які ростуть у сприятливих умовах ІІ ЕФП (парки ім. Івана Франка і Стрийський), імпеданс низький, а рівень поляризаційної ємності – високий (рис. 9).

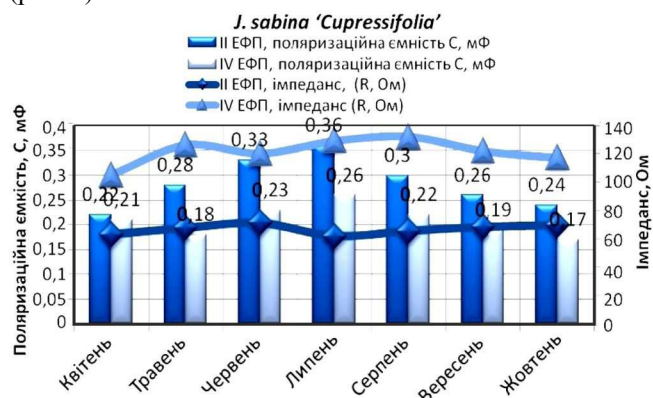


Рис. 9. Сезонна динаміка імпедансу та поляризаційної ємності *J. sabina* 'Cupressifolia' / Seasonal dynamics of impedance and polarization capacity of *J. sabina* 'Cupressifolia' [39]

Подібні показники життєвості – у культиварів туї західної (*Thuja occidentalis* L.), які ростуть у різних ЕФП (ІІ – Стрийський парк, ІV – площа І. Франка (рис. 10)).

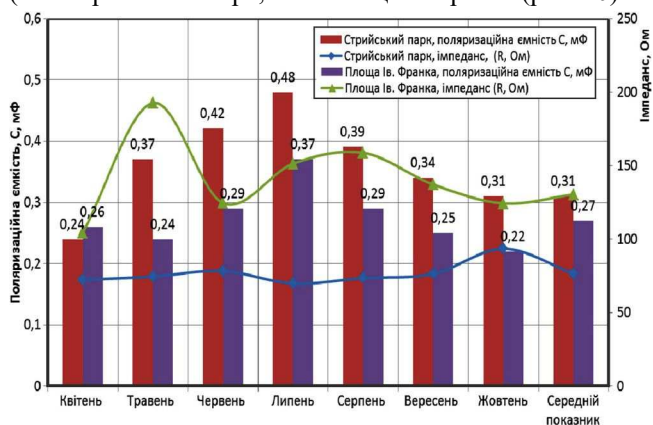


Рис. 10. Показники імпедансу та поляризаційної ємності *Thuja occidentalis* 'Fastigiata' в різних умовах місцезростання / Indicators of impedance and polarization capacity of *Thuja occidentalis* 'Fastigiata' in different growing conditions [22, 23]

Як видно з рис. 10, середні дані за сім місяців 2013 р. (початок і завершення вегетації), показують, що імпеданс в ослаблених дерев *Thuja occidentalis* 'Fastigiata', що ростуть на вул. Івана Франка, майже на 70 % вищий, ніж у дерев Стрийського парку. Поляризаційна ємність, як і варто було очікувати, в ослаблених дерев на площі Івана Франка на 73 % менша, ніж у парку.

Для комплексного оцінювання життєвості перелічених декоративних культиварів, використовували також метод індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ). Індукційні криві визначали за допомогою динамічного однопроменевого флуориметра.

Відношення показників максимальної і фонові амплітуд індукційних переходів флуоресценції хлорофілу реєструвались осцилографом. Показник життєвості визначали на підставі вимірювань різниці кінетики флуоресценції фотосинтезу: максимального (F_m) і фонового (F_o), поділеного на F_m .

Показник життєвості культиварів *J. sabina* 'Blue Danube' із різних місць зростання визначено шляхом порівняння кінетики флуоресценції хлорофілу (рис. 11).

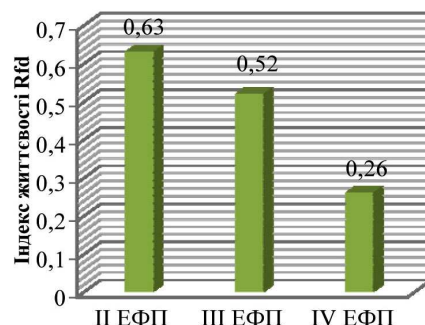


Рис. 11. Співвідношення показників життєвості *J. sabina* 'Blue Danube' у різних місцях зростання / The ratio of vitality indices of *J. sabina* 'Blue Danube' in different locations [39]

Отримані результати свідчать, що максимальне значення показнику життєвості (0,63) має культивар, що росте в оптимальних умовах (5 балів) на території дендрарію Ботанічного саду НЛТУ України. Гірші умови зростання (4 бали) і відповідно дещо нижчий рівень життєвості (0,52), встановлено в екземпляра, що росте на вул. І. Горбачевського. Найнесприятливіші умови зростання зафіксовано в ялівця, який росте поруч із проїжджою частиною на проспекті Свободи (3 бали), рівень його життєвості (0,26).

У культиварів *Thuja occidentalis* L., які ростуть в аналогічних екологічних умовах – проспект Свободи, вул. І. Горбачевського і ботанічний сад НЛТУ України, виявились подібні індикаційні показники (рис. 12).

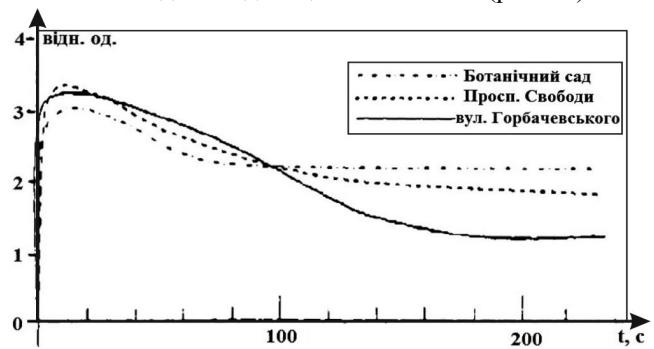


Рис. 12. Кінетика фотоіндукованої флуоресценції хлорофілу хвої *Thuja occidentalis* 'Fastigiata' / Kinetics of photoinduced fluorescence of pine chlorophyll of *Thuja occidentalis* 'Fastigiata' [22]

Вплив урбогенного температурного градієнта середовища на життєвість дерев. Важливою особливістю під час вивчення рівня успішності адаптації деревних рослин в урбогенних умовах ІV ЕФП є дослідження впливу вертикального температурного градієнта на їхній розвиток.

Як вже згадувалося раніше, згідно з даними досліджень С. І. Радченка (1963), температура в кроні дерева має бути нижчою від температури ґрунту, а перевищення його на 5 °С призводить до різкого порушення метаболічних процесів. Регулювати цей процес можливо спусканням і поливанням ґрунту лунки [20, 21].

Досліджували вертикальний температурний градієнт середовища, який розраховували за формулою

$$T_C = \pm(t_n - t_2), \quad (1)$$

де: T_C – вертикальний градієнт середовища; t_n – температура повітря на рівні рослини (крони); t_2 – температура на рівні розгалуження кореневої системи.

Вертикальний температурний градієнт середовища визначили для насаджень 80-річного в'язу гладкого (*Ulmus laevis* Pall.) на площі Галицькій (рядова посадка). Виміри проводили влітку 2021 р. Таксаційні дані наведено в табл. 7. Як бачимо, біометричні параметри в'язів, що зростають на площі Галицькій, істотно менші від даних таблиць ходу росту для в'язів, що зростають у природних лісових умовах. Різниця у показниках діаметра стовбура становить 7,3 %, а за висотою – 17,1 %.

Табл. 8. Кліматичні параметри вертикального температурного градієнта середовища / Climatic parameters of the vertical temperature gradient of the environment

2021 р, місяць	Температура повітря в кроні, °С	Відносна вологість повітря у кроні, %	Температура ґрунту, °С	Вологість ґрунту, %	Щільність ґрунту, кг/см ³	Вертикальний температурний градієнт
VI	21,4/22,6	69,3/65,0	18,3/15,3	73,4/69,5	14,5/18,3	-5,1/-2,0
VII	21,8/24,3	71,4/61,2	18,7/15,3	69,8/65,7	15,3/18,7	-4,8/+1,2

Якщо на початку літа вертикальний температурний градієнт середовища має мінусову позначку (-3,0 °С), то в липні він переходить до плюсового значення (+1,2 °С), тобто температура в ґрунтовій лунці стає вищою, ніж у кроні дерев, що негативно впливає на життєдіяльність рослин.

Водночас, досліджували ріст хвої ялини колочої (*Picea pungens* 'Glausa'), яка із хвойних трапляється в урбогенних умовах міста. Виконали підрахунок кількості хвої на пагоні завдовжки 20 см, а також їхньої середньої довжини, в умовах насаджень, що зростають на площі Ринок і у парковій зоні Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (табл. 9).

Табл. 9. Показники кількості і довжини хвої *Picea pungens* 'Glausa' в різних умовах місць зростання / Indicators of the number and length of needles

Місце знаходження	Довжина пагона, см	Кількість хвоїнок, шт.	Середня довжина хвої, мм
Територія ЛДУ БЖД (ІІІ ЕФП)	20	1110	16,7
Площа Ринок (ІV ЕФП)	20	1240	14,4

Зменшення розмірів хвої в умовах міської площі є проявом ксероморфності, а збільшення кількості хвоїнок пояснюють потребою підтримки функції фотосинтетичного апарату рослин [11]. Їх рекомендовано поєднувати з хвойними рослинами, які мають більш контрастне забарвлення хвої, та деревними і кущовими з яскравими квітками і контрастним забарвленням, а також з різними формами крони. Для цього розроблено

Табл. 7. Порівняльні біометричні параметри досліджуваних деревних рослин / Comparative biometric parameters of the studied woody plants [34]

№ з/п	Порода	Міське середмістя		Таблиці ходу росту	
		Діаметр, см	Висота, м	Діаметр, см	Висота, м
Площа Галицька		Природні умови			
1	<i>Ulmus laevis</i> Pall.	43	14	48	17
2	<i>Ulmus laevis</i> Pall.	34	11,5	37	13
3	<i>Ulmus laevis</i> Pall.	41	11	44	13
4	<i>Ulmus laevis</i> Pall.	40	13	43	16
5	<i>Ulmus laevis</i> Pall.	45	11	47	14

Спостерігаємо описане в літературі 60-х років ХХ ст., явище "карликування" дерев в умовах міської засухи, ксерофілізації повітря і ґрунту.

Усі 80-річні в'язи впродовж свого життя перебувають під впливом його "острова сухості". Цю ситуацію відображають заміри температури та вологості повітря в кроні і в товщі ґрунтової лунки (табл. 8). В'язи ростуть на засолених ґрунтах, прирічкових пісках, кам'янистих розсипах і скелях, витримують постійну нестачу тепла, а також надлишок вологи під час підймання рівня води в річках і озерах. В'язи ефективно виконують важливі функції з очищення повітря, ґрунтів і вод забруднених пестицидами та іншими хімічними речовинами, в тому числі і викидами вуглекислого газу.

декілька варіантів практичного використання рослин видів і форм роду *Ulmus* в композиційних насадженнях міста та приватних садиб. Наведено варіанти контрастних композицій, алейних і солітерних насаджень із використанням представників роду, як акценту при створенні різних типів насаджень із застосуванням хвойних та листяних порід.

Обговорення результатів дослідження. Вивчення структури острова тепла, зокрема його меж, ізотерм та факторів формування пов'язано з іменами американського кліматолога Т. Р. Оке і його співробітників [26]. Різні підходи, методи і засоби дослідження сьогодні висвітлено в різних вітчизняних та зарубіжних літературних джерелах [3, 5, 7, 28, 32, 36, 41]. Найактуальнішими є результати досліджень, які стосуються стану зеленої інфраструктури міста [1, 6, 8, 11, 17, 27, 29, 30, 31, 33].

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше для Львівської міської котловини визначено параметри "острова сухості", досліджено мікрокліматичні особливості різних за характером підстильної поверхні місць зростання зелених насаджень та життєвість рослин.

Практична значущість результатів дослідження – запропоновано методіку визначення вертикального температурного градієнта середовища та регулювання теплового і вологісного режимів відповідними агротехнічними заходами; подано методи експрес-аналізу стану життєвості деревних рослин.

Висновки / Conclusions

Дослідження динаміки змін теплофізичних показників ландшафту Львівської котловини (альbedo і теплоємність) покладено в основу мікрокліматичних знімів підстильної поверхні "острова сухості". За результатами досліджень впливу антропогенної трансформації на рівень життєвості деревних рослин можна зробити такі висновки:

1. Проведений історичний аналіз трансформації ландшафту Львівської котловини показав динаміку спаду альbedo (від 3000 % до 240 %) та зростання тепловіддачі (від 0 до 226,3 кДж/кг × К) підстильної поверхні з появи "міста за мурами" (XIV ст.) до другої половини XIX ст., коли було закрито русло річки Полтви та забудовано південний схил котловини.
2. Встановлено, що межі "острова сухості" – нижнього ярусу "острова тепла" – визначаються контрастними показниками температурного і вологісного режиму комплексного урбогенного градієнта середовища.
3. Розроблено шляхи забезпечення зростання альbedo зони "острова тепла" озелененням горизонтальних площин (алеї, рядові посадки, газони, квітники), а також вертикальних поверхонь (вертикальне озеленення, ампельна зелень).
4. Для визначення реального стану життєвості рослин у період вегетації застосовано методи експрес-аналізу для оперативного вжиття агротехнічних заходів, спрямованих на зволоження едафотопів (поливання, зрошування крон, спущування ґрунту).
5. Формування конфігурації внутрішньої забудови міст рекомендовано вести в гармонії з кліматом місцевості, щоб мінімізувати зміни локального клімату, спричинені урбанізацією, зокрема зростанням площ мертвої підстильної поверхні.

References

1. Ansar Khan, Eleni G. Papazoglou, Constantinos Cartalis, Kostas Philippopoulos, Konstantina Vasilakopoulou, & Mattheos Santamouris. (2022). On the mitigation potential and urban climate impact of increased green infrastructures in a coastal mediterranean city. *Building and Environment*, Vol. 221. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109264>
2. Astrid, Moser-Reischl, Mohammad, A. Rahman, Stephan, Pauleit, Hans, Pretzsch, & Thomas, Rötzer. (2019). Growth patterns and effects of urban micro-climate on two physiologically contrasting urban tree species. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 183, 88–99. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.11.004>
3. Brandsma, T., & Wolters, D. (2012). Measurement and Statistical Modeling of the Urban Heat Island of the City of Utrecht (the Netherlands). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51, 1046–1060. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0206.1>
4. Chunbo, Jiang, Jiak, Li, Yihong, Hu, Yutong, Yao, & Huaien, Li. (2022). Construction of water-soil-plant system for rainfall vertical connection in the concept of sponge city: A review. *Journal of Hydrology*, Vol. 605. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127327>
5. Debbage, N., & Shepherd, M. (2015). The urban heat island effect and city contiguity. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbnsys.2015.08.002>
6. Farrell, C., Livesley, S. J., Arndt, S. K., Beaumont, L., Burley, H., Ellsworth, D., Esperon-Rodriguez, M., Fletcher, T. D., Gallagher, R., Ossola, A., Power, S. A., Marchin, R., Rayner, J. P., Rymer, P. D., Staas, L., Szota, C., Williams, N. S. G., & Leishman, M. (2022). Can we integrate ecological approaches to improve plant selection for green infrastructure? *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 76. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127732>

7. Fedoniuk, M. A., Prokhorenko, A. O., & Fedoniuk, V. V. (2018). Doslidzhennia formuvannia ta prostoroovoho rozpodilu "ostrova tepla" nad Lutskom. *Ekolohichni notatky*. Lutsk: IVV Lutskoho NTU, 6, 45–53.
8. Gatlik, P., Kandefler, S., & Olek, M. (2007). Rola pnaczy w procesie naturalnego oczyszczania środowiska. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 11, 112–114. bwmeta1.element.baztech-article-BAR0-0032-0008
9. Golany, G. (1996). Urban design morphology and thermal performance. *Atmos Environmental* 1, 30. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00266-9](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00266-9)
10. Henyk, Ya. V. (2014). Transformatsiini protsesy v porushenykh ekosystemakh Karpatskoho rehionu Ukrainy: Abstract of Dissertation for Doctor of Philosophy. Lviv: RVTs NLTU Ukrainy. [In Ukrainian].
11. Hnativ, P. S. (2014). Funktsionalna diahnostyka v dendroekologii. Lviv: Kamula. [In Ukrainian].
12. Holubets, M. A. (1994). Urbanizacia, socialna sut ta ekologichni naslidku/ urbanizacia jak factor zmin bigeocenotichnogo poruvy. Lviv: *Academicznyj express*, 3–5. [In Ukrainian].
13. Hotsii, N. D. (2020). Bioekolohichni osoblyvosti lian rodu Parthenocissus Planch. i yikh vykorystannia dlia fitomelioratsii dovkillia Lvova. Abstract of Candidate Dissertation for Agricultural Sciences. [In Ukrainian].
14. Isaievych, Ya. D. (1980). Naidavnishyi istorychnyi opys Lvova. *Zhovten*, 10, 107–111.
15. Isaievych, Ya., Lytvyn, M., & Steblii, F. (2006). *Istoriia Lvova. Tom 1 (1256-1772)*. Lviv: Tsentr Yevropy. [In Ukrainian].
16. Isaievych, Ya., Lytvyn, M., & Steblii, F. (2007). *Istoriia Lvova. Tom 2 (1772-1918)*. Lviv: Tsentr Yevropy. [In Ukrainian].
17. Kabano, P., Sarah Lindley, S., & Harris, A. (2021). Evidence of urban heat island impacts on the vegetation growing season length in a tropical city, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 206. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103989>
18. Kachor, I., & Kachor, L. (2004). Lviv kriz viky. Lviv: Tsentr Yevropy. [In Ukrainian].
19. Ketterer, C., & Matzarakis, A. (2014). Human-biometeorological assessment of the urban heat island in a city with complex topography – The case of Stuttgart, Germany. *Urban Climate*, 10 (3), 573–584. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.01.003>
20. Kucheriavyi, V. P. (2020). *Urboekolohiia*. Lviv: "Novyi svit-2000". [In Ukrainian].
21. Kucheriavyi, V. P., & Kucheriavyi, V. S. (2019). Ozelenennia naselenykh mist. Lviv: "Novyi svit-2000". [In Ukrainian].
22. Kucheriavyi, V. S. (2015). Tuia zakhidna ta yii dekoratyvni formy v ozelenenni m. Lvova. Abstract of Candidate Dissertation for Agricultural Sciences. [In Ukrainian].
23. Kycheryavyi, V. S., Popovych, V. V., Kycheryavyi, V. P., Dyda, O. A., Shuplat, T. I., & Bosak, P. V. (2021). The Influence of Climatic and Edaphic Conditions on the Development of *Thuja occidentalis* Smaragd Under the Urban Conditions of a Large City. *Journal of Ecological Engineering*, 22(4), 325–332. <https://doi.org/10.12911/22998993/133094>
24. Kycheryavyi, V. S., Shuplat, T. I., & Hotsii, N. D. (2022). Osoblyvosti formuvannia "ostrova tepla" Lvivskogo seredmystya. V Mignarodna naukovo-praktychna konferencia molodyh vchenyh ta studentiv: Sychasnyj stan ta perspektivu rozvytky bio- i agrocenoziv v umovah postijnogo technogennoho zabrudnennia. *Drogobich*.
25. Kycheryavyi, V. P., Popovych, V. V., & Kycheryavyi, V. S. (2018). The climate of a large city and ecocline ordination of its vegetation cover. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA*, 68(2), 177–193. <https://doi.org/10.2298/IJGII802177K>
26. Landsberg, Ye. Ye. (1983). *Klimat goroda*. L.: Gidrometeoizdat. [In Russian].
27. Liu, Y., Yang, Z., Zhu, M., & Yin, J. (2017). Role of Plant Leaves in Removing Airborne Dust and Associated Metals on Beijing Roadsides. *Aerosol Air Qual. Res.* 17, 2566–2584. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.11.0474>

28. Lokoshchenko, M. A., & Korneva, I. A. (2015). Underground urban heat island below Moscow city. *Urban Climate*, 13, 1–13.
29. Małuszyńska, I., Caballero-Frączkowski, W. A., & Małuszyński, M. J. (2014). Zielone dachy i zielone ściany jako rozwiązania poprawiające zdrowie środowiskowe terenów miejskich. *Inżynieria Ekologiczna*, 36, 40–52. <https://doi.org/10.12912/2081139X.04>
30. Maroni D., et al. (2021). Land surface temperature and vegetation index as a proxy to microclimate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105796>
31. Mazur, J. (2018). Plants as natural anti-dust filters – preliminary research. *Technical Transactions*, 3, 165–172. <https://doi.org/10.4467/2353737XCT.18.045.8340>
32. Mills, G. (2014). Urban climatology: History, status and prospects. *Urban Climate*, 10(3), 479–489. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.06.004>
33. Naika Meili N., Juan Angel Acero, Nadav Peleg, Gabriele Manoli, Paolo Burlando, & Simone Faticchi. (2021). Vegetation cover and plant-trait effects on outdoor thermal comfort in a tropical city. *Building and Environment*, Vol. 195. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107733>
34. Normativno-spravochnie materialy dlya taksatsii lesov Ukraini i Moldavii. (1987). Kiev: "Urozhai". [In Russian].
35. Oke, T. R. (1982). Klimati pogranychogo sloya. Leningrad: Gidrometeoizdat. [In Russian].
36. Scherban, M. I. (1985). Mikroklimatologija. Kyiv: Vyscha shkola, 224 p.
37. Sholok, I. (2014). Prostorovy analiz zelenoi zony ta perspektyvni terytorii yii rozshyrennia v mezhakh Lvova. *Visnyk Lvivskoho universytetu, Seriiia heohrafichna*, 45, 417–423.
38. Shuika, T. I. (2009). Vplyv zakhysnyh nasadgen avtoshljakhiv na mikroklimatychny umovy terytorii. *Scientific Bulletin of UNFU*, 19(15), 271–275.
39. Shuplat, T. I. (2019). Zhyttievist ta urboekolohichna rol kushchovykh yalivtsiv u pokrashchenni stanu dovkillia mista Lviv. Abstract of Candidate Dissertation for Agricultural Sciences. [In Ukrainian].
40. Shuplat, T. I. (2022). Osoblivosti formuvania "ostrova tepla" Lvivskogo seredmystya. Ohorona pryrody v konteksti energetichnoi ta ekologichnoi bezprky Ukrainu. *Stara Guta*, 1–14, 33–37.
41. Sukorr, H. (1990). *Stadtökologie das Beispiel Berlin*. Berlin: Dietrich Reimer Verlag. [In German].
42. Zhang, W., Randall, M., Jensen, M. B., Brandt, M., Wang, Q., & Fensholt, R. (2021). Socio-economic and climatic changes lead to contrasting global urban vegetation trends. *Global Environmental Change*, Vol. 71. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102385>
43. Zullyadini, A. Rahaman, Abdulla – Al Kafy, Milan Saha, Asyirah Abdul Rahim, Abdulaziz I. Almulhim, Sk Nafiz Rahaman, Md. Abdul Fattah, Muhammad Tauhidur Rahman, Kalaivani S, Abdullah-Al-Faisal, & Abdullah Al Rakib. (2022). Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia. *Building and Environment*, Vol. 222. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109335>

V. P. Kucheryavyj¹, Ya. V. Henyk¹, V. S. Kucheryavyj¹, T. I. Shuplat², N. D. Hotsii²

¹ National Forestry University of Ukraine, Lviv, Ukraine

² Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ENVIRONMENTAL-SPATIAL AND THERMOPHYSICAL FEATURES OF THE FORMATION OF THE HEAT ISLAND OF LVIV CITY CENTER AND VITALITY OF TREE PLANTS

The spatial morphology of the urban development of ancient Lviv, which is located in the Western Forest-Steppe region, has a significant impact on local energy balances. This is especially true of the Lviv geomorphological basin, where the historic medieval city is located, the natural environment of which has been urbanized over the course of six centuries, fundamentally changing the thermophysical characteristics of the landscape components. The genesis of transformations of such natural components of the basin as vegetation cover, soils, and water surface is analyzed. Concurrently, research revealed the nature of changes in the dead underlying surface represented by paving stones, asphalt, concrete, and metal, which are the main factor in the formation of heat islands having high thermophysical characteristics. As a result of the analysis of chronicle, literary and iconographic sources, the main stages of transformation processes in the landscape of the Lviv basin during the 13th–20th centuries were established. Thermophysical changes at these stages were manifested in a decrease in albedo and an increase in the specific heat capacity of the underlying surface of the basin. It was found that the dead underlying surface here reaches 92 %, while the natural – green vegetation makes up 8 %. Accordingly, the albedo of the natural surface decreased from 3000 % to 240 %, and the heat capacity of the dead underlying surface increased from 0 to 226 J/kg·K. The basin area of 100 hectares was taken into account. Microclimatic studies conducted within the basin revealed a difference in edaphic and climatic indicators of areas with different underlying surfaces – dead and natural. The outer limits of these edapho-climatic zones were interpreted as the limits of the heat dryness island, and its lower tier. The inner boundaries of the heat island encompassed the plantations of the fourth ecological-phytocenotic zone (EFP), and the outer boundaries covered the plantations of the III EFP. Ecological and comparative studies of the level of vitality of woody plants of IV EFP, i.e., the most urbanized territory, and III EFP – green islands of small squares, as well as II EFP – parks and botanical gardens were applied. Negative changes in the morphology, physiology and growth rates of woody plants growing within the heat island were revealed. Ways to optimize the urban environment are proposed.

Keywords: urbanization; heat and dryness island; albedo heat capacity; vegetation cover; green zone of the city; temperature; microclimate; temperature gradient of the environment; vitality of plants.