

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

УДК 502.15:712.4/.5:[911.375.3:711.435](477.54-21Чуг)(043.5)

ГРЕЧКО АЛІНА АНДРІЇВНА

ДИСЕРТАЦІЯ
ЛАНДШАФТНО-ЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ
ОРГАНІЗАЦІЇ ЗЕЛЕНО-БЛАКИТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ
МАЛИХ МІСТ (НА ПРИКЛАДІ М. ЧУГУЇВ)

Спеціальність 103 Науки про Землю

(Галузь знань 10 Природничі науки)

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ А. А. Гречко

Наукові керівники: Максименко Надія Василівна, доктор географічних наук, професор, завідувачка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна;
Шкаруба Антон Дмитрович, кандидат географічних наук, старший науковий співробітник Естонського університету природничих наук.

Харків – 2025

АНОТАЦІЯ

Гречко А. А. Ландшафтно-екологічні основи територіальної організації зелено-блакитної інфраструктури малих міст (на прикладі м. Чугуїв). – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 Науки про Землю (Галузь знань 10 Природничі науки). – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти та науки України, Харків, 2025.

Дисертаційне дослідження проводилось упродовж 2021-2025 рр. відповідно до планів: науково-дослідницьких робіт кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи, міжнародного проєкту «INTENSE – Комплексна докторська школа з екологічної політики, менеджменту та техноекології» програми Еразмус + та проєкту Міжнародного Вишеградського фонду «Зелено-блакитна інфраструктура в містах країн колишнього СРСР – вивчаючи спадщину та досвід країн Вишеградської четвірки».

Робота написана на основі власних польових маршрутних досліджень, результатів їх камеральної обробки та аналізу відкритих супутникових знімків. Також використано генеральний план міста Чугуїв, літературні та фондові матеріали про територію дослідження. Підґрунтям для написання кваліфікаційної наукової роботи слугували роботи закордонних та вітчизняних вчених, які займаються вивченням зелено-блакитної інфраструктури. У дисертаційному дослідженні використано сучасні методики щодо визначення забезпеченості зеленою інфраструктурою міського населення, проведення геоботанічних натурних обстежень для визначення біорізноманіття в місті, проведення натурних обстежень щодо теплового режиму міста для дослідження ефекту МОТ, даних дистанційного зондування з метою визначення нормалізованого індекса вегетації, індексу

нормалізованої різниці вологості та комплексу індексів: нормалізованого індекса забудови, ступеня озеленення, індекс посушливості, моделювання поверхневого стоку на основі відкритих даних SRTM, для пошуку місць для регулювання поверхневого стоку засобами ЗБІ.

На проведеного дослідження визначено ландшафтно-екологічні основи територіальної організації урболандшафту з метою оптимізації зелено-блакитної інфраструктури в місті.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків.

У *вступі* висвітлено актуальність теми, означено мету, завдання, визначено об'єкт та предмет дослідження. Розкрито практичне та теоретичне значення дисертаційного дослідження, окреслено наукову новизну основних результатів, а також наведено відомості про їх апробацію.

У *першому розділі* представлено огляд сучасних літературних джерел, що послуговували базисом для написання дисертаційного дослідження та висвітлено методологічне підґрунтя, що стало основою проведення комплексного дослідження.

У *підпункті 1.1.* викладено еволюцію розвитку концепції зелено-блакитної інфраструктури, охарактеризовано основний термінологічний апарат дисертаційного дослідження. Визначено, що зелено-блакитна інфраструктура охоплює зелені насадження, ділянки природної рослинності та водні об'єкти, які забезпечують екосистемні функції. ЗБІ є дієвим інструментом в урбаністичному плануванні, сприяючи створенню екологічно стійкого простору міста, оскільки вона виконує ряд функцій, до яких в першу чергу необхідно віднести: регулювання мікроклімату, поверхневого стоку, процесів ерозії ґрунтового покриву, підтримання екологічної рівноваги екосистем, а саме покращення вже наявних екосистем та сприяння створенню нових, постачання кисню та секвестрацію вуглецю, постачання прісної води, а також створення осередків

для рекреації. Визначено основні елементи зелено-блакитної інфраструктури, до яких входять:

- зелені стіни;
- зелені дахи;
- природні газони;
- поодинокі дерева;
- дощові сади;
- зелені зупинки;
- зелені парковки;
- водно-болотні угіддя.

У *підпункті 1.2* представлено комплекс методів, які включають картографування, польові дослідження, розрахункові методи та аналіз супутникових даних. Серед використаних методів слід виділити застосування сучасних дистанційних методів дослідження території, зокрема:

- розрахунок нормалізованого вегетаційного індексу для визначення щільності розподілу об'єктів зеленої інфраструктури на території дослідження;
- розрахунок нормалізованого індексу забудови території для виявлення екологічного стану міста, адже цей індекс вказує на можливість появи ефекту МОТ та суцільна забудова негативно впливає на перерозподіл поверхневого стоку в місті;
- розрахунок нормалізованого диференційного індексу вологості для визначення достатності зволоженості або наявності дефіциту зволоження;
- вегетаційного індексу з поправкою на ґрунтовий покрив для визначення ступеня озеленення території з мінімізацією втрати відгуку під час спектрального аналізу, що дозволило визначити нерівномірний розподіл озеленення та визначити місця, які потребують додаткового включення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури;

- використання цифрового моделювання напрямку поверхневого стоку для оцінки масштабів формування поверхневого стоку, його перерозподілу територією міста та визначення оптимальних місць для створення об'єктів ЗБІ, що здатна компенсувати відсутність зливової каналізації.

В польових дослідженнях використано методи спостереження, геоботанічні методи, методи температурного скринінгу та інші для оцінки стану і ролі біорізноманіття в місті, виявлення місць, що потребують розміщення об'єктів зеленої інфраструктури.

Для обробки польових матеріалів використано методи розрахунку забезпеченості зеленою інфраструктурою населення міста, вуглецевої ємності модельних ділянок об'єктів загального використання, що дозволило визначити, які ділянки, з якою площею, яким деревостаном здатні краще виконувати екосистемну послугу з депонування вуглецю.

Загалом, методами ландшафтно-екологічного планування (інвентаризація, оцінка, прогноз і оптимізація) досліджено територіальну організацію урболандшафтів м. Чугуїв, виявлено найбільш антропогенно змінені території, зроблено загальну оцінку їх сучасного стану, прогноз розвитку ситуації та розроблено шляхи оптимізації ЗБІ в місті, у т.ч. з конкретними кейсами.

Другий розділ дисертаційного дослідження присвячено аналізу зелено-блакитної інфраструктури в урболандшафті території дослідження.

В *підпункті 2.1* для визначення чинників формування урболандшафту міста Чугуїв визначено територіальну диференціацію “корінного” (природного) ландшафту. Виділено п'ять типів ландшафтних комплексів: лесово-терасовий (48,3%), заплавний (27,55%), борово-терасовий (9%), яружно-балковий (8,98%) та прирічковий (6,17%).

На основі аналізу історії формування міста та сучасного містобудівного плану, встановлено, що в територіальній організації урболандшафту м. Чугуїв

виділяються такі типи: селітебний (33,66%), рекреаційний (22,99%), белігеративний (17,37%), лінійно-дорожній (12,08%), промисловий (10,55%), агроландшафти (2,54%) та аквально-антропогенний (0,8%).

Підпункт 2.2 зосереджено на аналізі просторові диференціації об'єктів зеленої інфраструктури в місті Чугуїв та її біологічного різноманіття. У місті виявлено всі загальноприйняті на законодавчому рівні елементи зеленої інфраструктури: загального користування (парки, сквери, бульвари), обмеженого використання (прибудинкові ділянки, території виробництв і культурної спадщини) та спеціального призначення (санітарно-захисні зони, сільськогосподарські угіддя). Розраховано середню забезпеченість населення міста ЗІ 27,6 м² на одну особу, що менше за європейську норму. Геоботанічне обстеження зелених зон загального користування м. Чугуїв дозволило визначити домінуючі види рослин у місті це: липи американські (*Tilia americana* L.), клени (*Acer* L.), ялина блакитна (*Picea pungens*), акація (*Robinia pseudoacacia*), каштан звичайний (*Aesculus hippocastanum*), бірючина звичайна (*Ligustrum vulgare*), ялівець козацький (*Juniperus sabina*), кульбаба звичайна (*Taraxacum officinale*), конюшина (*Trifolium spp.*), ковила (*Stipa spp.*) та подорожник (*Plantago spp.*).

Підпункт 2.3 зосереджено на аналізі блакитної інфраструктури території дослідження. Відповідно до гідрологічного районування, територія дослідження відноситься до зони недостатньої водності. В місті Чугуїв блакитна інфраструктура представлена двома лінійними гідрологічними об'єктами - р. Чугівка та р. Сіверський Донець і пересихаючими водотоками в пониженнях ділянках рельєфу по тальвегам. В місті виділено сім порядків тальвегів, які і визначають русловий стік та міграцію площинних поверхневих водних потоків в місті. Визначено об'єм і розподіл поверхневого стоку в урболандшафтах: селітебний малоповерховий тип збирає в собі 33,62% , белігеративний - 22,77 %, лінійно-дорожній - 16,81%, промисловий - 13,83%, селітебний багатоповерховий - 4,48%, громадська забудова - 3,36%,

рекреаційний спеціального користування - 1,78%, рекреаційний загального користування - 1,29%, захисно-рекреаційний - 1,23%, агроландшафти - 0,84%. Це дало змогу довести важливість включення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури в аспект коригування поверхневого стоку, адже ці об'єкти здатні поглинати та затримувати поверхневий стік.

У *третьому розділі* визначено ландшафтно-екологічні передумови для коригування структури і просторового розподілу зелено-блакитної інфраструктури у м. Чугуїв.

В *підпункті 3.1* проведено дослідження з моделювання поверхневого стоку території дослідження, що дало змогу визначити місця можливого накопичення стоку та запропонувати створення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури в таких місцях.

В *підпункті 3.2* висвітлено використання дистанційних методів, що дозволило визначити, що в місті Чугуїв переважає низький рівень водного стресу, що дозволяє гарно розвиватись об'єктам зеленої інфраструктури. Визначено зони з екологічно несприятливими умовами в місті Чугуїв - ці території збігаються з селітебним та промисловим урболандшафтом, а найбільш екологічно сприятливі умови спостерігаються в межах рекреаційних ландшафтів, що підтверджує потребу розширення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури для забезпечення екологічно сприятливого стану міського середовища.

У *підпункті 3.3* представлено результати дослідження міського острову тепла. На основі тепловізійної зйомки доведено суттєву різницю в температурному режимі ділянок, вкритих рослинністю і ділянок, де вона відсутня. Значне підвищення температури на останніх типах ділянок, коли територія повністю заасфальтована є свідченням необхідності створення модульних об'єктів зеленої інфраструктури, які дозволять озеленити заасфальтовані ділянки та знизити ефект МОТ.

У *підпункті 3.4* надаються результати оцінки щільності наявного рослинного покриву на території дослідження за даними ДЗЗ. Виявлено, що найбільшу площу займають ділянки з трав'янистою рослинністю - 56,96% найменшу площу займають ділянки вкриті щільною деревною рослинністю - 0,11%.

Підпункт 3.5 містить результати оцінки вуглецевої ємності зеленої інфраструктури модельних ділянок, які показали, що найбільший запас вуглецю на одиниці площі зафіксовано на території Алеї Пам'яті (223,97 т/га), що свідчить про високу ефективність цієї ділянки при депонуванні вуглецю.

У *четвертому розділі* дисертації надано результати роботи над кейсами зі створення нових об'єктів зелено-блакитної інфраструктури та оптимізації вже наявних об'єктів. Розглянуто два аспекти проблеми: потреба в ревіталізації об'єктів ЗІ, що постраждали від військової агресії та створення нових об'єктів ЗІ для виконання нею всього комплексу екологічних функцій з покращення стану довкілля у місті. Для відновлення пошкоджених ділянок запропоновано облаштування на їх місці газонних насаджень з природним біорізноманіттям та підібрано для них каталог рослин. Для облаштування нових об'єктів ЗІ в місті Чугуїв запропоновано облаштування зелених зупинок, вертикального озеленення, модульного озеленення, зелених парковок, створення нових газонних насаджень з природним біорізноманіттям. Створено адресні кейси для кожного з об'єктів та запропоновано види рослинних угруповань. Проведено SWOT - аналіз кожного з запропонованих об'єктів зелено-блакитної інфраструктури, що дозволило оцінити переваги, недоліки, ризики та перспективи цієї роботи.

Ключові слова: територіальна організація, урбанізація, наслідки бойових дій, зелено-блакитна інфраструктура, урбосередовище, ландшафт, тип міських ландшафтів, картографування, дистанційне зондування, цифрова

модель рельєфу, поверхневий стік, зелені насадження, біорізноманіття, оптимізація, SWOT-аналіз.

ABSTRACT

Hrechko A. A. Landscape and ecological foundations of the territorial organization of green-blue infrastructure in small cities (case of the city of Chuhuiv).

Thesis for the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 103 Earth Sciences (Degree in 10 – Natural sciences). – V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, 2025.

The research was carried out during 2021-2025 according to the plans of the Department of Environmental Monitoring and Conservation, the international project 'INTENSE - Integrated Doctoral School of Environmental Policy, Management and Technoecology' of the Erasmus+ programme and the International Visegrad Fund project 'Green and Blue Infrastructure in the Cities of the Former Soviet Union - Exploring the Heritage and Experience of the Visegrad Four Countries'.

The work is based on the author's own field research, the results of their camera processing and analysis of open satellite images. The master plan of the city of Chuhuiv, literary and stock materials on the study area were also used. The basis for writing the qualification research paper was the work of foreign and domestic scientists who study green and blue infrastructure. The research uses modern methods for determining the provision of green infrastructure for the urban population, conducting geobotanical field surveys to determine biodiversity in the city, conducting field surveys on the thermal regime of the city to study the ILO effect, remote sensing data to determine the normalised vegetation index, the normalised humidity difference index and a set of indices: normalised building index, degree of greening, aridity index, modelling of the building floor, as well as surface runoff based on open SRTM data to find places for regulating surface runoff by means of green and blue infrastructure.

The study identified the landscape and ecological foundations of the territorial organisation of the urban landscape in order to optimise the green and blue infrastructure in the city.

The thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions and appendices.

The *introduction* highlights the relevance of the topic, defines the purpose, objectives, object and subject of the study. The author reveals practical and theoretical significance of the research, outlining scientific novelty of the main results, providing the information on their testing.

The *first chapter* gives an overview of the current literature sources that served as the basis for the thesis research and highlights the methodological framework that formed the basis for the comprehensive study.

Subsection 1.1 outlines the evolution of the concept of green and blue infrastructure and describes the basic terminology of the research. Green and blue infrastructure includes green spaces, areas of natural vegetation and water bodies that enables the ecosystem's functioning. Green and blue infrastructure is an effective tool in urban planning, contributing to the creation of an environmentally sustainable urban space. It performs a number of functions, which primarily include: regulation of microclimate, surface runoff, soil erosion processes, maintaining of the ecological balance of ecosystems. Moreover, it improves the existing ecosystems and promotes the creation of new ones, supplying oxygen and carbon sequestration, fresh water, and creating recreational areas. The main elements of green and blue infrastructure include

- green walls;
- green roofs;
- natural lawns;
- single trees;
- rain gardens;
- green bus stops;

- green car parks;
- wetlands.

Subparagraph 1.2 presents a set of methods, including mapping, field research, calculation methods and satellite data analysis. The methods include the use of modern remote sensing methods, in particular:

- Calculation of the normalised vegetation index to determine the density of green infrastructure facilities in the study area;
- calculation of the normalised building index to identify the ecological condition of the city. This index indicates the possibility of the MOT effect while continuous development negatively affects redistribution of surface runoff in the city;
- calculation of the normalised differential humidity index to determine the adequacy of humidity or the presence of a humidity deficit;
- vegetation index adjusted for soil cover to determine the degree of the territory greening, while minimising the loss of response during spectral analysis. This allowed us to determine the uneven distribution of greening and identify areas that require additional green infrastructure;
- use of digital modelling of the surface runoff direction to assess the scale of surface runoff formation, its redistribution across the city and determine the optimal locations for the creation of green and blue infrastructure facilities that can compensate for the lack of stormwater drainage.

The field studies used observation methods, geobotanical methods, temperature screening methods, and others to assess the state and role of biodiversity in the city, and identify areas that require green infrastructure facilities.

To process the field data, we used methods for calculating the provision of green infrastructure for the city's population and the carbon capacity of model plots of public facilities. This made it possible to determine which plots, with what area,

and with what tree stand, are able to perform the ecosystem service of carbon sequestration better.

In general, the study of the territorial organisation of urban landscapes in Chuhuiv, used methods of landscape and environmental planning (inventory, assessment, forecast and optimisation). The most anthropogenically altered areas were identified with a general assessment of their current state, a forecast of the situation, and ways to optimise the green and blue infrastructure in the city were developed, including specific cases.

The *second chapter* of the thesis analyzes green and blue infrastructure in the urban landscape of the study area.

In *subsection 2.1*, to determine the factors of urban landscape formation in Chuhuiv, it was necessary to define territorial differentiation of the ‘indigenous’ (natural) landscape. Five types of landscape complexes were identified: forest-terrace (48.3%), floodplain (27.55%), boreal-terrace (9%), ravine-gully (8.98%) and riverine (6.17%).

Analysing the history of the city's formation and the current urban planning, it has been found that the territorial organisation of the Chuhuiv urban landscape includes the following types: rural (33.66%), recreational (22.99%), beligerative (17.37%), linear-road (12.08%), industrial (10.55%), agro landscape (2.54%) and aquatic-anthropogenic (0.8%).

Subsection 2.2 focuses on the analysis of the spatial differentiation of green infrastructure facilities in Chuhuiv and its biodiversity. The city has identified all the elements of green infrastructure, accepted at the legislative level: general use (parks, squares, boulevards), restricted use (adjoining plots, industrial and cultural heritage areas) and special purpose (sanitary protection zones, agricultural land). The average provision of the city's population with green space was calculated at 27.6 m² per capita, which is less than the European norm. The geobotanical survey of public green areas in Chuhuiv allowed us to identify the dominant plant species in the city: American linden (*Tilia americana* L.), maple (*Acer* L.), blue spruce

(*Picea pungens*), acacia (*Robinia pseudoacacia*), common chestnut (*Aesculus hippocastanum*), common privet (*Ligustrum vulgare*), Cossack juniper (*Juniperus sabina*), common dandelion (*Taraxacum officinale*), clover (*Trifolium spp.*), feather grass (*Stipa spp.*) and plantain (*Plantago spp.*).

Subsection 2.3 focuses on the analysis of the blue infrastructure of the study area. According to the hydrological zoning, it is classified as a water scarce area. In the city of Chuhuiv, the blue infrastructure is represented by two linear hydrological objects - the Chuhivka River and the Siverskyi Donets River - as well as drying watercourses in low-lying areas of the relief along thalwegs. Seven orders of thalwegs were identified in the city, determining the channel flow and migration of surface water flows in the city. The volume and distribution of surface runoff in urban landscapes are: low-rise urban type comprises 33.62%, beligerative - 22.77%, linear-road - 16.81%, industrial - 13.83%, high-rise urban - 4.48%, public buildings - 3.36%, special use recreation - 1.78%, general use recreation - 1.29%, protective and recreational - 1.23%, and agricultural landscapes - 0.84%. This proves the importance of including green and blue infrastructure facilities in the aspect of adjusting surface runoff, as these facilities are able to absorb and retain surface runoff.

The *third section* identifies landscape and environmental prerequisites for adjusting the structure and spatial distribution of green and blue infrastructure in Chuhuiv.

In *subsection 3.1*, a study was conducted to model the surface runoff of the area, which made it possible to identify places of possible runoff accumulation and propose the creation of green and blue infrastructure facilities in such places.

Subsection 3.2 highlights the use of remote methods, by which we determined a low level of water stress in Chuhuiv. This, in turn, allows for the good development of green infrastructure facilities. Areas with environmentally unfavourable conditions in Chuhuiv have been identified - these areas coincide with the rural and industrial urban landscape. The most environmentally favourable

conditions are observed within recreational landscapes, which confirms the need to expand green and blue infrastructure facilities to ensure an environmentally favourable urban environment.

Subsection 3.3 describes the study results of the urban heat island. Based on thermal imaging, we found a significant difference in the temperature regime of areas covered with vegetation and areas without it. A significant increase in temperature in the latter type of areas, when the territory is completely asphalted, evidences the need to create modular green infrastructure facilities for greening asphalted areas and reducing the effect of the heat island.

Subsection 3.4 assesses density of existing vegetation cover in the study area based on remote sensing data. It has been found that the largest area is covered with herbaceous vegetation (56.96%), and the smallest area is covered with dense woody vegetation (0.11%).

Subsection 3.5 assesses carbon capacity of the model sites' green infrastructure. It shows that the largest carbon stock per unit area was recorded on the territory of Memory Alley (223.97 t/ha), indicating high efficiency of this site in carbon sequestration.

The *fourth chapter* of the thesis presents the results of work on cases of creating new green and blue infrastructure facilities and optimising existing facilities. Two aspects of the problem have been considered: the need to revitalise green infrastructure facilities affected by military aggression and the creation of new green infrastructure facilities to perform the full range of environmental functions to improve the environment in the city. To restore the damaged areas, we propose to arrange lawn plantations with natural biodiversity in their place and to select a catalogue of plants for them. For the construction of new IP facilities in the city of Chuhuiv, we suggest arranging of green bus stops, vertical gardening, modular gardening, green parking lots, as well as creating new lawn plantations with natural biodiversity. Targeted cases were created for each of the facilities, and types of plant communities were suggested. The author carried out a SWOT

analysis of each of the proposed green and blue infrastructure facilities to assess the advantages, disadvantages, risks and prospects of this work.

Keywords: territorial organisation, urbanisation, consequences of hostilities, green and blue infrastructure, urban environment, landscape, type of urban landscape, mapping, remote sensing, digital elevation model, surface runoff, green spaces, biodiversity, optimisation, SWOT analysis.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті, що входять до наукометричної бази Web of Science:

1. Kucher A., **Hrechko A.** Assessment and analysis of regional features of resource-saving land use for sustainable management. Scientific Papers: Series «Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development». 2021. Vol. 21. Is. 1. P. 431-441.

URL: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/>

Публікації у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

2. Гречко А. А. Досвід та переваги застосування зелених дахів як елементу зеленої інфраструктури. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Серія «Екологія»*, 2022, Випуск 26. С. 32-42. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-03>

3. **Гречко А. А.**, Максименко Н. В., Шкаруба А. Д., Кутузов Є. О. Біорізноманіття рослин приміських луків для створення міських газонів з польовими квітами. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 98-110. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-07>

(*Особистий внесок здобувача:* визначено роль газонів серед об'єктів зеленої інфраструктури, описано методологічне підґрунтя здійснення геоботанічних досліджень, запропоновано види аборигенного різноманіття для створення природного газону та визначено переваги кожного з видів

(*Максименко Н. В.:* запропоновано концепцію створення природних газонів як ефективного засобу оптимізації витрат на підтримання зеленої інфраструктури міста).

(*Шкаруба А. Д.:* обґрунтування практичної цінності та методів оцінки стану біорізноманіття міських газонних покриттів).

(*Кутузов Є. О.:* участь у флористичному обстеженні ділянки).

4. Максименко Н. В., **Гречко А. А.**, Клещ А. А. Аналіз територіальної структури урболандшафту м. Чугуїв для потреб впровадження

концепції зелено-блакитної інфраструктури. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 25-31.
<https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-03>

(Особистий внесок здобувача: здійснено оцінку урболандшафтів м. Чугуїв, визначено переважаючі типи ландшафтів в структурі урбосередовища, проведено характеристику кожного з них, визначено необхідність впровадження концепції зелено-блакитної інфраструктури для оптимізації структури урболандшафту).

(Максименко Н. В.: визначення методологічних засад проведення дослідження просторової структури урболандшафтів для впровадження ЗІ, типізація антропогенних ландшафтів).

(Клєщ А. А.: спільна робота над картографічним забезпеченням статті, підрахунок типів ландшафтів для визначення структури урбосередовища).

Публікації у наукових виданнях інших держав:

5. Максименко Н. В., Бурченко С. В., **Гречко А. А.**, Пономаренко П. Р. Круглий стіл «Стійкість до війни та післявоєнне відновлення в Україні: виклики та потреби у розбудові потенціалу досліджень та вищої освіти». *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2023. Вип. 40. С. 102-110.
<https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-09>

6. Максименко Н. В., **Гречко А. А.** Про проведення III міжнародної інтернет-конференції «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи». *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 131-135.
<https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-11>

7. **Гречко А. А.**, Пономаренко П. Р., Тертицький Є. П., Гололобов В. В. Стажування молодих вчених в освітніх установах Швеції. *Людина та*

довкілля. *Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 161-167. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-11>

8. Maksymenko N., Burchenko S., **Hrechko A.**, Sonko S. Carbon sequestration and provision of green infrastructure in the Ukrainian cities of Kharkiv and Chuguiv in the context of post-war reconstruction. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, Slovakia, vol.26, no.2, 2023. 90-98. <https://doi.org/10.2478/ahr-2023-0013>

9. **Hrechko A.**, Gololobova O. Monitoring of indicative soil indicators for organic farming in the context of sustainable development. Book of Proceedings 2nd International Conference “Global Challenges through the Prism of Rural Development in the Sector of Agriculture and Tourism“(GIRR 2024), 10th May, 2024. - Šabac, Serbia. Publisher: Academy of Applied Studies, Novi Sad (Serbia). 2024. P. 171-178. ISBN 978-86-80417-96-7

10. Maksymenko N., Burchenko S., **Hrechko A.**, Zvyagintseva K., Cherkashyna N. Spatial assessment of green infrastructure in large and small cities of Ukraine (case of Kharkiv and Chuguiiv cities). *VI International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence - 2023*. Kryvyi Rih. 2023. Подано до друку Springer

11. Maksymenko N., Koval I., Voron V., **Hrechko A.** Ecological condition of tree stands damaged by fire as a result of military operations in urban landscapes of Kharkiv. *VII International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence - 2024*. Kryvyi Rih. 2024. Подано до друку Springer

***Наукові публікації, які додатково відображають наукові результати
дисертаційного дослідження:***

12. Кочанов Е., Коваль І., Бурченко С., Уткіна К., **Гречко А.** Проблеми функціонування зеленої інфраструктури сучасних міст (на прикладі м. Харків). *Зелено-блакитна інфраструктура в містах*

пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія / За ред. Н. В. Максименко, А. Д. Шкаруба. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. С. 30 - 44.

13. Зелено-блакитна інфраструктура: навчально-методичний комплекс для організації роботи студентів у закладах вищої освіти за спеціальністю Е2 «Екологія» / уклад. Н. В. Максименко, С. В. Бурченко, **А. А. Гречко**. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. – 26 с.

14. Планування експериментальних досліджень : навчально-методичний комплекс для організації роботи студентів у закладах вищої освіти за спеціальністю 101 «Екологія» [Електронний ресурс] / укладач А. А. Гречко. – Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2024. – 30 с. URI <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19328>

15. Організація польових маршрутних досліджень : навчально-методичний комплекс для організації роботи студентів у закладах вищої освіти за спеціальністю Е2 «Екологія» / уклад. А. А. Гречко. – Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2024. – 28 с. URI <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18844>

Наукові публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційного дослідження:

16. Kalynovskyi O., **Hrechko A.** Inventory of green areas ensuring functioning of green infrastructure. Congress proceedings - V International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence – 2022 (student sections), Praha, OKTAN PRINT, 2022, P. 23–25.

17. Клєщ А. А., **Гречко А. А.**, Куракса Д. А. Зелена інфраструктура м.Чугуїв в умовах війни: основні зміни та загальна характеристика поточного стану. *Охорона довкілля*: зб. наук. статей XVIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2022. С. 91-95.

18. Martyniuk M., **Hrechko A.**, Lenevych O. Sewage treatment plants in small towns of Ukraine. *Socio-ecological resilience across Eurasia – Innovation for sustainability transition* (Tartu/online, October 5-6, 2021). P. 19-21.

19. Гречко А. А. Можливості впровадження стратегії зелено-блакитної інфраструктури для вирішення проблеми водовідведення в малих містах. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2021. С. 29-30.

20. Леневи́ч О. І., **Гречко А. А.**, Мартинюк М. О. Зелено-голуба інфраструктура малих міст (на прикладі м. Яремче, Українські Карпати). *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2021. С. 107-111.

21. Гречко А. А. ГІС-моделювання зеленої інфраструктури малих міст для ревіталізації постмілітарних урболандаштів. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. VIII Міжнародний молодіжний конгрес, 02-03 березня 2023, Україна, Львів : Збірник матеріалів —Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2023. С. 139.

22. Гречко А. А. Використання елементів зеленої інфраструктури для вирішення міських проблем (на прикладі облаштування водно-болотних угідь). *Охорона довкілля: зб. наук. статей XIX Всеукраїнських наукових Таліївських читань*, 2023. С. 47-49.

23. Гречко А. А. Використання елементів зеленої інфраструктури для збереження біорізноманіття у містах. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності: матеріали V (XVI) міжнар. конф. молодих учених* (Львів, 18-19 жовтня 2023 р.). Львів, 2023. С. 23-24.

24. Гречко А. А. Використання дощових садів для вирішення екологічних проблем міст. *Євроінтеграція екологічної політики України: матеріали П'ятої Всеукраїнська науково-практична конференція* (м. Одеса (Україна) 25 - 26 жовтня 2023 р.)

25. Taranska S., **Hrechko A.**, Cherkashyna N. Military operations' impact on components of the environment. *Ecology is a priority*: coll. theses of the All-Ukrainian English-speaking student conference (Kharkiv, March 15, 2024). Kharkiv: V. N. Karazin KhNU, 2024. 71-73 P.

26. Гречко А. Вплив військових дій на елементи зеленої інфраструктури у містах Харківської області. *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи* : зб. тез доповідей III Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 26 квітня 2024 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 42-44.

27. Гречко А. А. Вплив війни на землі сільськогосподарського призначення Харківської області як фактор пригнічення комплексної зеленої зони міст. *Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування*: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців. Одеса: ОДЕКУ, 2024. С. 95-98

28. **Hrechko A.**, Gololobova O. Monitoring of indicative soil indicators for organic farming in the context of sustainable development. *Second International Conference "Global challenges through the prism of rural development in the sector of agriculture and tourism"* Šabac, Serbia 10th May, 2024. P. 34.

29. **Гречко А. А.**, Коробкіна Н. Ю., Бурченко С. В. Зелені зупинки як елемент міської зелено-блакитної інфраструктури. *Охорона довкілля*: зб. наук. статей XX Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. 108-112 С.

30. Бурченко С. В., **Гречко А. А.**, Коробкіна Н. Ю. Розробка чат-боту про інформування населення про зелену інфраструктуру. *Охорона довкілля*: зб. наук. статей XX Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. 226-229 С.

31. Коробкіна Н. Ю., **Гречко А. А.** Облаштування об'єктів зеленої інфраструктури в малих містах для адаптації до глобальних змін клімату.

Екологічна безпека та раціональне природокористування: тези Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених, 14 листопада 2024 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2024. 210 С.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	25
ВСТУП.....	26
РОЗДІЛ 1. Теоретико-методологічні підходи до територіальної організації зелено-блакитної інфраструктури міст.....	37
1.1 Еволюція концепції зелено-блакитної інфраструктури міст.....	37
1.2 Методи проведення дослідження зелено-блакитної інфраструктури.....	60
Висновки до розділу 1.....	76
РОЗДІЛ 2. Зелено-блакитна інфраструктура в урболандшафті території дослідження.....	77
2.1 Територіальна організація урболандшафтів м. Чугуїв.....	80
2.2 Зелена інфраструктура	91
2.2.1 Просторова диференціація зеленої інфраструктури у місті Чугуїв.....	91
2.2.2 Геоботанічна характеристика об'єктів зеленої інфраструктури	97
2.3. Блакитна інфраструктура території м. Чугуїв.....	102
2.3.1 Просторова диференціація водних об'єктів у м. Чугуїв...	102
2.3.2 Структура і динаміка поверхневого стоку в урболандшафтах м. Чугуїв.....	104
Висновки до розділу 2.....	111
РОЗДІЛ 3. Ландшафтно-екологічні передумови для коригування структури і просторового розподілу зелено-блакитної інфраструктури у м. Чугуїв.....	113
3.1 Моделювання рельєфу для визначення потреб і можливостей затримання поверхневого стоку.....	113

3.2	Дистанційний моніторинг елементів урболандшафту м. Чугуїв.....	118
3.2.1	Визначення водного стресу у об'єктах зеленої інфраструктури.....	118
3.2.2	Екологічний стан міста Чугуїв за даними дистанційного зондування.....	123
3.3	Дослідження міського теплового острова.....	134
3.4	Оцінка щільності рослинного покриву.....	142
3.5	Вуглецева ємність, як аргумент для розширення площі зелених зон.....	147
	Висновки до розділу 3.....	153
РОЗДІЛ 4.	Оптимізація зелено-блакитної інфраструктури міста Чугуїв.....	155
4.1	Напрямки оптимізації зелено-блакитної інфраструктури м. Чугуїв.....	155
4.1.1	Рекомендації зі створення нових об'єктів зеленої інфраструктури.....	156
4.1.2	Ревіталізація об'єктів зеленої інфраструктури в місті Чугуїв, які постраждали внаслідок військових дій.....	170
4.3.	Шляхи оптимізації блакитної інфраструктури.....	178
	Висновки до розділу 4.....	183
	ВИСНОВКИ.....	184
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	189
	ДОДАТКИ.....	213

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗБІ - зелено-блакитна інфраструктура;

ГІС - геоінформаційна система;

ЗІ - зелена інфраструктура;

ЗУ- закон України;

ЗР- забруднюючі речовини;

NDVI - нормалізований вегетаційний індекс;

NDMI - індекс нормалізованої різниці вологості;

SAVI - індекс рослинності з поправкою на ґрунт;

NDBI - нормалізований індекс різниці забудови;

NDSI- індекс сухості;

ЕП- екосистемні послуги;

РНОП- рішення на основі природи;

MOT - міський острів тепла;

OSM - open street map;

ЛК - ландшафтні комплекси;

ЛП - ландшафтне планування;

ДЗЗ - дистанційне зондування Землі;

ЦММ - цифрова модель місцевості.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Сучасний розвиток урбосередовища вимагає інтеграції екологічних підходів у просторове планування та управління урбанізованими територіями. Концепція зелено-блакитної інфраструктури, що інтегрує природні та напівприродні компоненти ландшафту з водними системами, є однією з найперспективніших концепцій забезпечення екологічного, соціального та економічного добробуту міських територій. Використання концепції зелено-блакитної інфраструктури є досить поширеним явищем у Європейських країнах, що являє собою стратегічне рішення щодо адаптації до глобальних кліматичних змін та збереження біорізноманіття. В Україні ж реалізація цієї концепції має локальний (фрагментарний) характер, адже її використання тільки набуває поширення завдяки роботам науковців (Бурченко С. В., Гололобова О. О., Максименко Н. В., Назарук М. М., Кузик І. Р., Царик Л. П., та ін.) і ініціативи громадських організацій.

Концепцію зелено-блакитної інфраструктури частіше реалізують у великих містах, тоді коли малі міста, які часто стикаються з дефіцитом фінансових і технічних ресурсів, як правило, залишаються поза впровадженням цієї сучасної практики озеленення. Водночас, впровадження та застосування проєктів з організації зелено-блакитної інфраструктури в малих містах, що враховуватимуть їх специфічні особливості просторової організації, може дати реальний (або відчутний) та швидкий позитивний ефект.

Місто Чугуїв є типовим прикладом малого міста Харківської області, яке характеризується значним природно-ресурсним потенціалом. Територіальна організація зелено-блакитної інфраструктури в місті Чугуїв може стати не лише ефективним інструментом просторового планування, але

й механізмом підвищення екологічної стійкості території, адаптації до змін клімату, підвищення якості життя місцевого населення.

Метою дослідження є оцінка сучасного стану зелено-блакитної інфраструктури міста Чугуїв та розробка науково-обґрунтованих рішень з оптимізації існуючих об'єктів і створення нових для забезпечення сталого розвитку урболандшафтів.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати історію формування концепції зелено-блакитної інфраструктури та приклади реалізації в Україні і Світі.
2. Сформувати комплекс методик для дослідження територіальної організації та екологічного стану зелено-блакитної інфраструктури міста Чугуїв.
3. Дослідити просторову диференціацію природних та антропогенних ландшафтів м. Чугуїв.
4. Здійснити оцінку екологічного стану зеленої інфраструктури урболандшафтів, потенціал виконання нею екологічних функцій та потреби в розширенні кількості і площі об'єктів ЗІ.
5. Здійснити дослідження блакитної інфраструктури, визначити об'єм і розподіл поверхневого стоку, місця потенційного накопичення поверхневого стоку для подальшого коригування об'єктами ЗБІ.
6. Визначити ступінь пошкоджень об'єктів ЗБІ внаслідок бойових дій та потребу в їх ревіталізації.
7. Розробити адресні кейси з об'єктами зелено-блакитної інфраструктури в м. Чугуїв на основі виявлених проблем та потреб міста.

Об'єктом дослідження є зелено-блакитна інфраструктура міста Чугуїв Харківської області, як типового малого міста, що зазнає впливу воєнних дій.

Предмет дослідження - ландшафтно-екологічні основи оптимізації територіальної організації зелено-блакитної інфраструктури міста Чугуїв.

Методи дослідження: теоретико-методологічною основою дисертаційного дослідження є праці вітчизняних та іноземних науковців в сфері ландшафтознавства, урбаністики, територіальної організації та озеленення міст (Bihuňová M., Clements M., Ghofrani Z., John W. Dover., Jona L., Köhler M., Pasečný P., Rubaszek Ju., Semančíková E., Sepp K., Shkaruba A., Skryhan H., Sposito V., Wernerová E., Бурченко С. В., Гололобової О. О., Гродзинського М. Д., Денисика Г. І., Звягінцевої К. О., Клещ А. А., Кузика І. Р., Максименко Н. В., Назарука М. М., Некос А. Н., Стольберга Ф. В., Черваньова І. Г., Цариком Л. П. та інших).

Методологічною основою дослідження є теоретичні та прикладні засади концепції зеленої інфраструктури та ландшафтно-екологічного планування (інвентаризація, оцінка, прогноз і оптимізація) для вивчення територіальної організації природокористування в м. Чугуїв.

Загалом, використано як загальнонаукові так і спеціально наукові методи.

До загальнонаукових, що використані в дисертаційному дослідженні відносяться методи:

- *опису* (для визначення понятійного апарату дослідження, характеристики природних та антропогенних ландшафтів міста Чугуїв, об'єктів зеленої та блакитної інфраструктури);
- *синтезу* (для узагальнення результатів сучасних напрацювань в сфері використання концепції зелено-блакитної інфраструктури, опрацювання матеріалів ДЗЗ);
- *узагальнення* (щодо можливості та доцільності використання ЗБІ для покращення міського середовища);
- *системного аналізу* (для проведення визначення екологічного стану міста на основі матеріалів ДЗЗ, визначення конкретних переваг від застосування елементів зелено-блакитної інфраструктури для покращення урбосередовища);

- *порівняння* (для визначення переваг при виборі елементів зеленої інфраструктури);
- *графічний* (для візуалізації запропонованих рішень щодо створення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури);
- *математико-статистичний* (для збору та отримання інформації щодо забезпеченості об'єктами зеленої інфраструктури містян, розрахунку спектральних індексів).

До спеціально наукових методів, що використані для виконання поставлених у дисертаційному дослідженні завдань відносяться:

- *картографічний* (для картографування території дослідження та дешифрування матеріалів ДЗЗ);
- *метод спостережень* (для виявлення особливостей функціонування зелено-блакитної інфраструктури, у т.ч. впливу бойових дій; для проведення тепловізійної зйомки території; для визначення потенційних ділянок створення нових об'єктів);
- *геоботанічний метод* (для оцінки природного біорізноманіття та рекомендацій зі створення нових осередків природного біорізноманіття в місті Чугуїв).

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- на основі використання комплексу спектральних індексів проведено ландшафтно-екологічну оцінку території міста для розбудови ЗБІ;
- проведено дослідження територіальної організації природних та антропогенних ландшафтів м. Чугуїв та розроблено відповідні картографічні моделі;
- проведено комплексну оцінку стану зеленої інфраструктури м. Чугуїв та рівня забезпеченості населення зеленими насадженнями;
- на основі аналізу ЦММ визначено напрями та обсяги поверхневого стоку для території міста;

- розроблено адресні рішення щодо створення нових об'єктів зелено-блакитної інфраструктури в м. Чугуїв;

Удосконалено:

- методику дослідження екологічного стану території малих міст;
- теоретичні засади оцінки доцільності використання об'єктів зелено-блакитної інфраструктури для підвищення стійкості урбосередовища;
- перелік рекомендованих рослин для підвищення біорізноманіття зеленої інфраструктури міста;

Отримало подальший розвиток:

- використання даних ДЗЗ в екологічних дослідженнях;
- розробка методичних підходів до дослідження зелено-блакитної інфраструктури у містах;
- підходи до ревіталізації об'єктів зеленої інфраструктури, які постраждали внаслідок військових дій, з урахуванням екологічної, соціальної та естетичної складових;
- використання тепловізійних досліджень для розробки рекомендацій з пом'якшення ефекту теплового острова засобами ЗБІ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Дисертаційне дослідження виконувалось в рамках реалізації проєкту Міжнародного Вишеградського фонду «Зелено-голуба інфраструктура у містах країн колишнього СРСР – вивчаючи спадщину та досвід країн Вишеградської четвірки» (участь у літній школі «Зелено-голуба інфраструктура у містах країн колишнього СРСР – вивчаючи спадщину та досвід країн Вишеградської четвірки» на базі Карпатського національного природного парку, м. Яремче, Україна та написання розділу у спільній монографії за результатами реалізації проєкту).

В рамках проєкту Єрасмус+ «Інтегрована докторська школа з екологічної політики, управління та технологій – INTENSE», навчалась в літній школі та розпочала дослідження під керівництвом одного із партнерів проєкту проф. Антоном Шакаруба (Естонія).

В рамках міжнародного співробітництва з Університетом Йорку в межах ініціативи Twinning «Kharkiv-York Partnership Towards a Zero Pollution Environment in Post-War Ukraine» було здійснено академічну мобільність, з перебування в Університеті Йорку, м. Йорк (Велика Британія) терміном з 03 червня по 31 серпня 2023 року (в межах академічної мобільності досліджено можливості використання зелено-блакитної інфраструктури для очищення малих річок).

В рамках проєкту «Компетентнісна допомога для України – Competence Aid For Ukraine (CAFU)» прослухано курс лекцій та отримано сертифікат з підвищення кваліфікації та здійснено академічну мобільність з перебуванням в університеті Упсала, м. Упсала (Швеція) терміном з 28 жовтня по 01 листопада 2024 року (в межах мобільності вивчено актуальність тематики сталого розвитку та зв'язок сталого розвитку з застосуванням концепції зелено-блакитної інфраструктури).

В рамках реалізації Програми Erasmus+ «DOMANI – Розвиток екосистем мікрокваліфікацій в Україні та Монголії для конкурентоспроможної та стійкої зеленої економіки» здійснено розробку курсу «Biodiversity of urban landscapes» в основу якого увійдуть результати дисертаційного дослідження.

В рамках дисертаційного дослідження ініціювала науково-дослідну роботу «Розробка рекомендацій використання щодо зеленої інфраструктури для повоєнного відновлення міст» (№ держреєстрації 0123U100115), є відповідальним виконавцем.

Дисертаційне дослідження пов'язано з науково-дослідною роботою кафедри:

- НДР «Ревіталізація регулярних ландшафтних композицій об'єктів зеленої інфраструктури» (№ держреєстрації 0122U000878);
- НДР «Конструктивно-географічне та картографічне обґрунтування визначення меж територій природно-заповідного фонду в умовах земельної реформи України» (№ держреєстрації 0220 U10114444);
- НДР «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Математичні науки та природничі науки» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна» (№ держреєстрації БФ/32-2021).

Дисертаційне дослідження пов'язане із науково дослідними роботами, що реалізовані спільно з ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії імені О. Н. Соколовського» за ПНД НААН 1 «Раціональне використання і стале управління ґрунтовими ресурсами, збереження родючості та здоров'я ґрунтів, захист їх від деградації (Ґрунтові ресурси України: інформаційне забезпечення, раціональне використання, менеджмент, технології)». Завдання 2 рівня: 01.01.03.02.Ф «Розробити наукові основи управління родючістю гідродefіцитних ґрунтів в умовах змін клімату та земельних відносин» за темою:

«Діагностичні показники родючості зрошуваних ґрунтів зеленої інфраструктури сельбищних ландшафтів для сталого управління в умовах змін клімату»:

- назва етапу 2021 р. «Наукові засади вибору діагностичних показників зрошувальних ґрунтів приватних садіб для управління їх родючістю»;
- Назва етапу на 2022 рік: «Управління родючістю гідродefіцитних ґрунтів зеленої інфраструктури сельбищних ландшафтів: світовий досвід та перспективи його втілення в Україні»
- назва етапу за 2023 рік: «Моніторинг екологічних функцій ґрунтів сельбищних ландшафтів в умовах різних режимів зрошення»;

- назва етапу НДР за 2024 року: «Екологічні прийоми оптимізації живлення рослин на гідродефіцитних ґрунтах урболандшафтів в умовах змін клімату».

Практичне значення отриманих результатів: обґрунтовані у дисертаційному дослідженні теоретико-методологічні засади та шляхи реалізації практичних рекомендацій можуть бути використані при вдосконаленні Генерального плану міста Чугуїв, шляхом реалізації повоєнної ревіталізації міста внаслідок постійних обстрілів та руйнувань території міста, удосконаленні плану зонування територій міста, виконанні екосистемних послуг для населення, забезпеченні реалізації вимог сталого розвитку та збільшенні кількості зелених зон в місті для виконання європейських нормативів.

Розроблені рекомендації для створення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури та запропоновані кейси з оптимізації об'єктів зеленої та блакитної інфраструктури для міста можуть бути використані Чугуївською міською радою, КП «Чугуївський комунальний комплекс» та міськими радами малих міст зі схожою ландшафтної структурою.

Результати роботи використано у звітах з НДР спільно з ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О. Н. Соколовського» та у звітах з НДР кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи.

Теоретичні та методичні положення, практичні результати здійснення дисертаційної роботи використовуються авторкою у навчальному процесі Каразінського навчально-наукового інституту екології при розробці навчальних програм, навчально-методичних комплексів та викладанні дисциплін вибіркового циклу освітніх компонент: «Організація польових маршрутних досліджень», «Планування експериментальних досліджень», «ГІС» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти та «Зелено-блакитна інфраструктура», «Екологічний та зелений туризм» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною, завершеною науковою роботою авторки, в якій викладено результати самостійних досліджень щодо ландшафтно-екологічних основ територіальної організації зелено-блакитної інфраструктури в місті Чугуїв, власних натурних спостережень, опрацюванні відкритих даних дистанційного зондування, кейсів зі створення нових та оптимізації вже наявних елементів зелено-блакитної інфраструктури м. Чугуїв. Всі конкретні результати дослідження викладені в дисертаційному дослідженні отримано авторкою особисто на основі аналізу та синтезу літературних джерел, проведенні власних натурних спостережень, закладанні експерименту. Основні результати та ключові положення дисертаційного дослідження викладено в наукових публікаціях та апробовано на міжнародних та Всеукраїнських конференціях. У наукових публікаціях, які використані в дисертаційному дослідженні та виконані у співавторстві, зазначено конкретний особистий внесок авторки. В роботі використано результати досліджень інших науковців з виконанням вимог академічної доброчесності та з відповідними посиланнями на положення використані в роботі.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження доповідались на Всеукраїнських та міжнародних конференціях:

- Socio-ecological resilience across Eurasia – Innovation for sustainability transition (м. Тарту (Естонія), 5-6 жовтня 2021 року),
- XVII Всеукраїнські наукові Таліївські читання (м. Харків, 21 жовтня 2021 року),
- V International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence – 2022 (student sections) (м. Прага, Чехія, 04 квітня 2022 року),
- XVIII Всеукраїнські наукові Таліївські читання (м. Харків, 20 жовтня 2022 року),

- VIII Міжнародний молодіжний конгрес Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування (м. Львів, 02-03 березня 2023 року),
- V (XVI) Міжнародна конференція молодих учених Наукові основи збереження біотичної різноманітності (м. Львів, 18-19 жовтня 2023 року),
- XIX Всеукраїнські наукові Таліївські читання (м. Харків, 27 жовтня 2023 року),
- П'ята Всеукраїнська науково-практична конференція Євроінтеграція екологічної політики України (м. Одеса, 25 - 26 жовтня 2023 року),
- All-Ukrainian English-speaking student conference *Ecology is a priority* (м. Харків, 15 березня 2024 року),
- III Міжнародна Інтернет-конференція Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи (м. Харків, 26 квітня 2024 року),
- Міжнародна наукова конференція за участю молодих науковців Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування (м. Одеси, 31 березня 2024 року),
- Global challenges through the prism of rural development in the sector of agriculture and tourism (м. Шабатц (Сербія) 10 травня 2024 року),
- XX Всеукраїнські наукові Таліївські читання (м. Харків, 25 жовтня 2024 року),
- Всеукраїнська наукова конференція здобувачів вищої освіти та молодих учених «Екологічна безпека та раціональне природокористування» (м. Житомир, 14 листопада 2024 року);
- VII International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence – 2024 (м. Прага, Чехія, 02-06 грудня 2024 року).

Результати дослідження обговорено на семінарах наукової школи кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи «Зелено-блакитна інфраструктура», засіданнях кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи та засіданнях Вченої ради навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

Публікації. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 31 наукову працю, з яких 21 у співавторстві, одна стаття опублікована у науковому виданні, що індексується у міжнародній наукометричній базі Web of Science, 6 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України (категорія Б); один розділ у монографії у співавторстві; подано до друку 2 статті до видання, що індексується у міжнародній наукометричній базі Springer, опубліковано тези у 14 матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій, що підтверджують апробацію матеріалів дисертації.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається зі списку опублікованих праць, анотації, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів і висновків до них, списку використаних джерел (189 найменувань, з яких 78 – іноземних), загальних висновків та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 232 сторінок друкованого тексту, у тому числі основна частина (вступ, чотири розділи і висновки) – 189 сторінки. Робота містить 66 рисунків і 13 таблиць.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗЕЛЕНО-БЛАКИТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТ

1.1. Еволюція концепції зелено-блакитної інфраструктури міст

Концепція зелено-блакитної інфраструктури є новим підходом в питанні управлінських рішень в плануванні розвитку міської території. Так, у своїй роботі Максименко Н. В. та Бурченко С. В. звернулись до розкриття основ та засад дослідження зеленої інфраструктури [1]. Автори вважають 1980 рік як початок застосування цієї концепції та окреслюють регіональні відмінності до підходу визначення поняття “зеленої інфраструктури”. Проте поняття зелено-блакитної інфраструктури є ширшим, бо до елементів ЗБІ відносять і водні об’єкти, а не лише так звані «зелені».

Тож вартує уваги окреслити не тільки поняття зеленої інфраструктури, так і підходи визначення до поняття зелено-блакитної інфраструктури. У таблиці 1.1. зазначено відмінності в підходах до визначення «зеленої інфраструктури».

Таблиця 1.1

Відмінності в тлумаченні поняття зелена інфраструктура

<i>Автор</i>	<i>Визначення</i>	<i>Ключовий аспект</i>
Європейська Комісія [2]	Стратегічно спланована мережа природних і напівприродних територій з різними екологічними особливостями, розроблена та здатна надавати широкий спектр екосистемних послуг, таких як очищення води, покращення якості повітря, створення місць для відпочинку та пом'якшення наслідків зміни клімату і адаптація до них.	Що ЗІ може виступати як природні так і напівприродні території, які здатні надавати екосистемні послуги.

Продовження табл. 1.1

Асоціація міського та сільського планування Великої Британії [3]	Це субрегіональна мережа територій, які охороняються, заповідних зон, зелених насаджень та зелених стежок.	Субрегіональність як визначення масштабу території.
Троулас [4]	Всі природні, напівприродні, штучні мережі багатофункціональних екологічних систем всередині, навкруги та між міськими районами у всіх просторових масштабах.	Ключове, що ЗІ діє у всіх просторових масштабах.
Даувер [5]	Сума екологічно активних районів включаючи окремі елементи і стратегічно сплановані та реалізовані мережі високоякісних зелених насаджень та інших елементів навколишнього середовища, включаючи такі поверхні як тротуари, парковки, під'їзні дороги, дороги, будівлі (зовнішні та внутрішні), які включають біорізноманіття та просувають екосистемні послуги.	Ключовим є взаємодія між елементами навколишнього середовища, які націлені на забезпечення екосистемних послуг, а також важливим є включення у ЗІ поверхні.
Стратегія ЕРА [6]	Стратегічно спланована реалізована мережа, яка включає широкий спектр високоякісних зелених насаджень і інших об'єктів НС, а також поверхні такі як тротуар, парковки, дороги, будівлі, які були модифіковані для включення біорізноманіття та екосистемних послуг.	Ключовим є те, що мережа повинна включати не тільки зелені насадження, а й містити модифіковані об'єкти інфраструктури.
Стратегія ЕРА [6]	Це підходи та технології керування, які використовують, покращують або імітують процеси природного гідрологічного циклу інфільтрації, евапотранспірації, повторного використання.	У визначенні ключовим є те, що ЗІ це підходи та керування, які дозволяють імітувати природний цикл води.
Керівництво ЗІ [7]	Це стратегічно спланована реалізована мережа, яка включає широкий спектр високоякісних зелених насаджень і інших об'єктів НС.	Мережа, що містить високоякісні об'єкти НС.

Джерело: за автором на основі джерел [2-7]

Розглядаючи визначення ЗБІ часто беруть до уваги міські зелені та блакитні простори, як стратегічно сплановану мережу природних і напівприродних зон та інших екологічних особливостей, розроблених і керованих для надання широкого спектру екосистемних послуг в межах міста.

Розглядаючи переваги застосування концепції зелено-блакитної інфраструктури неможливо оминати поняття екосистемних послуг. Василюк О. та Ільмінська Л.в своєму огляді [8] дають обширне визначення ЕП - це всі користі та блага, які можливо одержати від природи. До ЕП, які можуть надавати елементи ЗБІ можна віднести такі види послуг: послуги з постачання, в цю ЕП можна віднести постачання чистого повітря, прісну воду, сировину; послуги з регулювання - регулювання мікроклімату, поверхневого стоку, регулювання процесів ерозії ґрунтового покриву; послуги з підтримання екосистем - завдяки елементам ЗБІ можна покращувати вже наявні екосистеми та сприяти створенню нових; а також культурні та соціальні послуги до яких можна віднести створення осередків для рекреації.

Зелена та блакитна інфраструктура міст за допомогою виконання екосистемних послуг забезпечують сталість урбосередовища. В роботі [9] проаналізовано публікації, в яких згадується шість видів екосистемних послуг, які забезпечені ЗБІ, а саме: місцеве регулювання температури, регулювання зливових вод, очищення відходів, регулювання якості повітря, запилення, а також відпочинок і естетичне цінність території. Було доведено, що для характеристики якості виконання екосистемних послуг елементами ЗБІ зазвичай використовують модельне моделювання, картографічні підходи, кореляційний аналіз існуючих даних без проведення прямих вимірювань або спостережень.

У своїй роботі [10] Ерік Андерсон та інші, окреслюють переваги застосування саме зелено-блакитної інфраструктури як способу оптимізації щодо одержання екосистемних послуг вищої якості містянами. Як екосистемні послуги, які забезпечує ЗБІ вони відносять не лише регулюючі послуги, зокрема регулювання клімату та поверхневого стоку, а й ресурсозабезпечуючі послуги, в тому числі: забезпечення продуктами харчування й послуги з забезпечення місць для рекреації. Автори підкреслюють, що елементи зеленої та блакитної інфраструктури та їхні різні екологічні якості забезпечують першу необхідну передумову для екосистемних послуг. Проте, вони підкреслюють, що для виконання міським середовищем екосистемних послуг необхідною передумовою є налаштування вдалих зв'язків між сірою, зеленою та блакитною інфраструктурою, і вбачають оптимізацію міського середовища у використанні ЗБІ шляхом підбору прийомів оптимальних для вирішення проблем конкретного міста.

В роботі Л. Пінто, М. Інасіо та П. Перейра [11] автори окреслюють, що близькими є концепції рішень на основі природи та зелено-блакитної інфраструктури, адже рішення на основі природи (РНОП) часто базуються на включенні різних елементів ЗБІ. Також важливим є те, що РНОП можна розглядати як систему методологій, які розширюють і збагачують існуючу структуру зелено-блакитної інфраструктури. В своїй статті автори, виокремлюють нетипові елементи як ЗБІ так і РНОП, які схематично наведено на рис. 1.1 .

В роботі також визначено роль екосистемних послуг, які надають РНОП і ЗБІ для забезпечення цілей сталого розвитку [12].



Рис. 1.1. Нетипові елементи ЗБІ виділені в роботі [11]

Зокрема ціль сталого розвитку “жодної бідності” можна забезпечити шляхом регулювання глобальних кліматичних змін, що призведе до зменшення втрат врожаю, ціль “нуль голоду” - шляхом забезпечення екосистемної функції з забезпечення, в тому числі продуктами харчування, “ціль міцне здоров’я” - шляхом зменшення забруднення атмосферного повітря, ґрунтового покриву та водойм, ціль “чиста вода і санітарія” - шляхом затримки та очищення поверхневих вод, ціль “доступна та чиста енергія” - через підвищення енергоефективності будинків, шляхом застосування зеленої інфраструктури на фасадах та покрівлі, ціль “кліматична дія” - шляхом зменшення ефекту МОТ тощо [12].

В той же час Н. Францескалі та Т. МакФірсон у статті [13] говорять про те, що все ж РНОП є концепцією, яка об'єднує дослідження зеленої інфраструктури, адаптації на основі екосистем, послуг міської екосистеми та водочутливого міського дизайну, щоб продемонструвати під одним терміном переконливі переваги цих стратегій у створенні багатофункціональних рішень для актуальних міських проблем, тобто автори вважають, що концепція рішень на основі природи є такою, що з'єднує воєдино всі рішення щодо планування міської території в контексті пом'якшення наслідків урбанізації.

Незважаючи на досить сучасну та нетривалу історію використання концепції зелено-блакитної інфраструктури, вона містить низку переваг як екологічних, економічних так і соціальних. В табл. 1.2 представлено ключові переваги застосування прийомів ЗБІ при плануванні міського простору.

Таблиця 1.2

Переваги застосування ЗБІ [14-22]

Екологічні переваги	Економічні переваги	Соціальні переваги
Поглинання CO ₂	зменшення витрат на здоров'я та очищення атмосферного повітря	покращення здоров'я
Утримання вологи	зниження витрат на очищення поверхневого стоку, зниження витрат на утримання ливневої каналізації	підтримка мікроклімату
Зменшення міського острова тепла	зниження витрат на підтримку мікроклімату	покращення самопочуття під час спекотного періоду
Збільшення біорізноманіття	збільшення вартості житла	отримання осередку відпочинку
Зменшення рівня шуму	зниження витрат на шумоізоляцію	покращення психоемоційного стану
Очищення води	зниження витрат на очищення води	покращення здоров'я

На сьогодні виділяється різними науковцями багато елементів ЗБІ, проте у даному дослідженні ключовими з них є елементи представлені на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Найбільш розповсюджені у використанні елементи ЗБІ

Джерело: за автором

Природними елементами зелено-блакитної інфраструктури є ліси та водно-болотні угіддя – складні екосистеми, які відіграють ключову роль у підтриманні екологічної рівноваги та виконують екологічні функції. Вони є саморегульованими природними комплексами, що мають здатність до самовідновлення та забезпечують важливі функції для збереження біорізноманітності, регуляції клімату, очищення води та повітря.

Сади та парки є складно організованими антропогенними комплексами ЗБІ, що поєднують різні природні та штучні елементи, створюючи гармонійну екосистему з високою екологічною, естетичною та рекреаційною цінністю. Вони включають в себе не лише рослинні компоненти, такі як

окремі дерева, газони, клумби, але й водою, алеї, живі огорожі, малі архітектурні форми, системи дренажу та освітлення.

Вуличні дерева як окремий елемент ЗБІ є одним з найбільш розповсюджених, виконує важливу роль у регуляції мікроклімату, створення затінку, шумоізоляції, поглинанні пилу.

Далі розглянемо комплекс природно-антропогенних елементів ЗБІ, які в подальшому стали основою оптимізації зелено-блакитної інфраструктури м. Чугуїв.

Концепція ЗБІ має незначну історію, попри це застосування її окремих елементів має значну тривалість. Так, зелені стіни згадуються ще 1500 років тому [23]. Використання такого елементу ЗБІ має такі ключові переваги:

- покращення візуального середовища міста [24];
- збільшення кількості свіжого повітря;
- зменшує кількість пилу та аерозолів в повітрі;
- покращення мікроклімату;
- забезпечують підтримку біорізноманіття в місті [24].

Оскільки природні елементи (ліси та водно-болотні угіддя) існують як самоорганізовані системи, основну увагу зосередили на природно-антропогенних. Саме вони створюються, функціонують та удосконалюються за потреби природокористувачем.

Найпоширенішим у місті природно-антропогенним об'єктом ЗБІ є газони. Вони мають довготривалу історію, оскільки, перші згадки про них є у рукописах про цивілізації давніх персів, римлян та греків. Тодішні газонні покриття відрізнялися від сучасних тим, що в своєму складі містили не тільки трави, а й квіткові рослини.

До вивчення цього елементу сучасної ЗБІ звертались такі вчені: Гололобова О. О. [25, 26], Максименко Н. В. [26], Коленкіна М. С. [27], Кузнецова О. О. [28], Кулич В. В. та Мацюк О. Б. [29], М. Л. Мак Кінні [30], Крупа Н. М. [31] та інші [32-37], які зазначали, що газонне покриття може

служувати як самостійним елементом ЗБІ так і об'єднуючим елементом різних видів ЗБІ. В [29] виділено основні переваги газонів щодо забезпечення сталості урбосередовища, зокрема поглинання CO_2 , тобто очищення атмосферного повітря, затримання значної кількості опадів та регулювання мікроклімату, що знижує ефект МОТ.

В роботах Коленкіна М. С. [27] та Кузнецова О. В. [28] охарактеризовано, що найбільш важлива роль газонів саме їх здатності до регулювання мікроклімату.

Штучні газонні покриття головним чином в наших містах представлені рулонними газонами та насінними травосумішами, які як показала практика є дуже вразливими до кліматичних коливань, погодних аномалій та є антропогенно залежними. Одноманітність і штучність екосистеми таких газонів вимагає постійного контролю рівня зволоженості, а також потребує постійного догляду. Таким чином ці газони є менш конкурентоздатними в озелененні міського середовища.

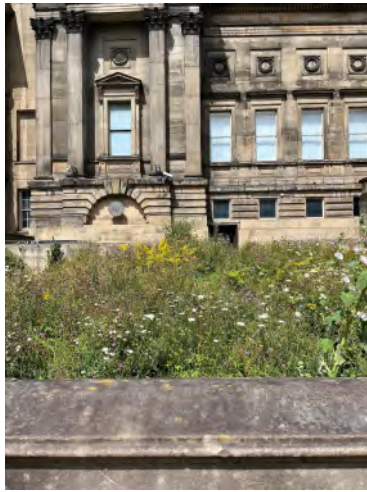
Кузнецова О. В. [28], Кулич В. В. та Мацюк О. Б. [29], М. Л. Мак Кінні [30] та Крупа Н. М. [31] вважають, що використання типових представників флори місцевості при висадженні газонів забезпечує стійкість покриття до зовнішніх факторів та будуть краще здійснювати свої екологічні функції.

В роботі [32] підтверджується думка про переваги газонних покриттів, які містять місцеві лучні рослини як альтернатива рулонним та традиційним газоном сумішам. Такий газон дозволяє виконувати екологічну функцію ЗБІ з підтримки біорізноманіття, локально підтримує мікроклімат середовища, затримує вологу та поступово віддає її в навколишнє середовище та виконує функцію з очищення повітря. Як елемент ЗБІ він може здійснювати кліматорегулюючу функцію, бути ландшафтоутворюючим елементом, слугувати середовищем існування та затримувати вологу.

В статті Максименко Н. В. та Гололобової О. О. [26] акцентовано увагу на легкості обслуговування, мінімізації витрат по догляду та можливості

утримувати ґрунтовий покрив від ерозії, підвищувати естетичність середовища та сприяти поглинанню ЗР з повітря.

Проект «Дикі квіти» в місті Ліверпуль (рис.1.3) є міським проектом по збереженню природного біорізноманіття Англії [38]. Біля Національного музею Ліверпуля замість стандартної клумби висаджено понад 250 видів рослин, які є типовими для даною місцевості: місцеві польові квіти, трави та папороті, які було інтродуковано в рамках запланованої, але природної схеми посадки. На меті цього проекту створення простору, який працює як заповідник дикої природи в невеликому центрі міста.



а) природне різнотрав'я



б) інформаційний плакат

Рис.1.3. Використання природного біорізноманіття в озелененні Музею
Природи, м. Ліверпуль

Джерело: фото зроблене автором

Цікавим рішенням для Монастирських садів та озеленення території, прилеглої до соборів було використання природного біорізноманіття, а саме диких видів квітучих рослин та застосування в озелененні трав, зокрема орегано, м'яти, базиліку тощо (рис. 1.4). Такі сади використовуються ще і для улітарних цілей.



а) природне різнотрав'я

б) інформаційний плакат

Рис.1.4. Використання природного біорізноманіття в озелененні Собору
Беверлі, м. Беверлі (Велика Британія)

Джерело: зроблено автором

Використання природних газонів як елементів озеленення є розповсюдженим явищем як в Україні, так і в країнах Європи (рис.1.5).



а) природний газон пішохідної зони

б) узбіччя автомобільної дороги

Рис.1.5. Застосування зеленої інфраструктури в м. Краків (Польща)

Джерело: зроблено автором

Цікавим досвідом використання газону є вирішення проблем ерозії ґрунтового покриву, так у м. Скарборо можна споглядати терасований сад (рис.1.6), який гармонійно вписується у природний скелястий ландшафт території, за рахунок висадження щільного газону та рослин з нерозгалуженою кореневою системою здатні стримувати ерозію.



а) зелена стіна житлового будинку



б) терасований сад

Рис.1.6. Приклади зеленої інфраструктури м. Скарборо (Велика Британія)

Джерело: фото зроблене автором

В статті Стефан Бенвентулі [39] звертається увага на поєднання двох прийомів він досліджує яким чином можна поєднати прийом ЗІ щодо використання природного біорізноманіття, а саме використання природних так званих диких видів, але в питанні розміщення таких осередків біорізноманіття він використовує не газонні покриття, а навпаки прийом ЗІ щодо облаштування зелених дахів.

Зелені дахи - це продовження існуючої покрівлі, яка включає, як мінімум, високо якісну гідроізоляцію, систему захисту від коренів, дренажну систему, фільтруючу тканину, легке середовище для росту рослини. Ця технологія озеленення сягає часів Садів Семіраміди, а в Скандинавських країнах цю технологію як регулювання клімату приміщень застосовували ще у 15 столітті. Вивченням зелених дахів як елементу ЗІ займалися такі

науковці як: К. Рубашек [40], Х. Лю [41], З. Пенг [42], М. Кохлер [24] та інші [43-50]. Всі вони погоджуються з твердженням, що зелені дахи - ефективний спосіб зменшення МОТ за рахунок варіації альбедо. З такою технологією альбедо становить 0,7 - 0,85, в той час як за тих самих умов звичайні покрівлі будівель мають альбедо в межах 0,1 - 0,2 [51]. Крім того, вони затримують опади, охолоджують поверхню покрівлі влітку, а взимку - затримують тепло, що підвищує енергоефективність будівель. Тобто влітку знижується кількість спожитої енергії для роботи кондиціонерів, а взимку – знижуються витрати на опалення.

Зелені дахи досить розповсюджений елемент ЗБІ і використовується у різних країнах світу основні характеристики представлено в табл.1.3.

Таблиця 1.3

Основні характерні риси облаштування зелених дахів в різних країнах
[51-53]

<i>Країна</i>	<i>Головні риси</i>	<i>Підґрунття до реалізації ЗД</i>
<i>Канада</i>	використання з 1990-х р. розуміння важливості включення ЗД, які надають екосистемні послуги; державна політика; розуміння опосередкованих переваг застосування; проведення еко просвітництва щодо важливості технологій зелених дахів;	Програми LED, законодавче підґрунття, фінансування з боку місцевої влади, економічне стимулювання заходів
<i>Австралія</i>	обґрунтування важливості шляхом розуміння необхідності облаштування зелених зон в місті; реалізація зелених дахів на вже існуючих будівлях; незначні темпи розвитку;	міська програма розвитку «План до зеленого даху Мельбурна»; проєкт Tillandsia SWARM в рамках якого були посаджені рослини, які було висаджено без поливу в місті за екстремальних температурних умов
<i>Німеччина</i>	реалізація з часів індустріалізації; лідер серед Європейських країн у застосуванні зелених дахів; найбільша кількість зелених дахів у світі; застосування найсучасніших технологій;	Німецьке товариство ландшафтних досліджень, яке видає всі керівні принципи реалізації зелених дахів; Директива щодо питання зелених дахів.

Продовження табл. 1.3

<i>Польща</i>	реалізація з початку 1990 років; зростання попиту зелених дахів останні 10 років; значна вартість реалізації; відсутність стандартів щодо встановлення;	не згадується прямо у законодавстві; містяться опосередковані відомості;
<i>Країни Латинської Америки</i>	зелені дахи тільки починають реалізовуватись; існує необхідність ускладнювати конструкцію зелених дахів, бо є необхідність утримувати вологу для підтримки функціонування зелених дахів через високі температури; власні правила для реалізації та проектування технології;	підтримка у науковому колі; немає національної політики у цій сфері; регіональні рекомендації, які сприяють формуванню стратегії реалізації ЗД; наявні муніципальні плани, які просувають реалізацію стратегії;
<i>Швеція</i>	сучасного вигляду набрали у 2000 роках; один з найбільших зелених дахів у Європі;	заохочення шляхом дозволу на збільшення кількості поверхів при наявності зелених дахів; - муніципальне інвестування у розвиток; Скандинавський інститут зелених дахів – організація, яка займається цим питанням;
<i>Данія</i>	з 2010 року частина містобудування; створено перший ботанічний сад на дахах 4 будівель, які буде об'єднано зеленими коридорами на значній висоті;	план очищення стічних вод реалізують використанням зелених дахів для вирішення проблем водовідведення, в т.ч. очищення стоків; частина кліматичного плану Копенгагену;
<i>Норвегія</i>	створено рекомендації щодо встановлення технології зелених дахів; застосування седумних рослин на дахах задля створення сприятливого місцевого клімату;	Програма «Міста майбутнього»; Програма «Міської екології 2011-2026 р.»;
<i>Україна</i>	зелені дахи тільки починають з'являтися, є компанії, які займаються оснащенням, проте немає законодавчого базису;	поодинокі використання, об'єкти наявні у Харкові у вигляді льохів, у Львові на приватних будинках, бізнес-центрах, навчальних та науково-дослідних установах, у Дніпрі та Києві на бізнес центрах.

В 2018 році компанія ZinCo, анонсувала створення простору RooftopHub, якої вони хотіли продемонструвати основні переваги від застосування такого об'єкту зеленої інфраструктури як зелений дах та сприяти поширенню таких дахів на території України [54]. Такий елемент ЗІ представлено у місті Київ та м. Дніпро (рис. 1.7).

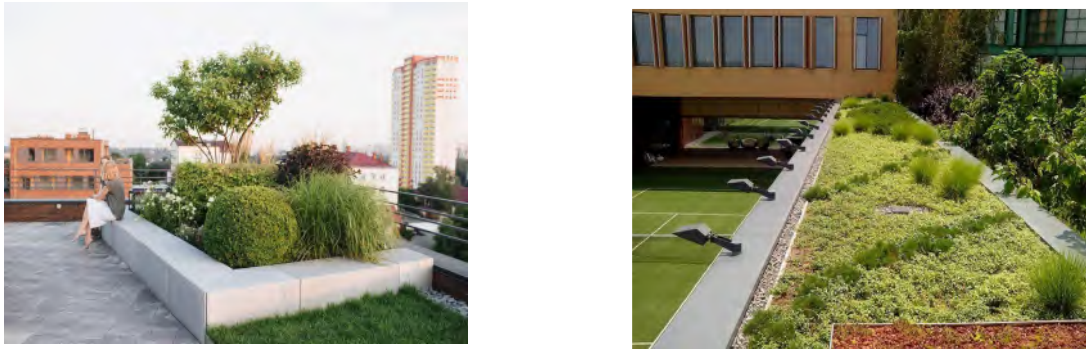


Рис. 1.7- Зелений дах в м. Київ та Дніпро

Наступний елемент ЗІ - зелені стіни відомі також з часів Вавилону, Римської та Грецької імперії, тоді в'юнкі рослини, зокрема виноградні лози використовували в естетичному аспекті для створення затінку, потім ця традиція продовжилась вже у XVII та XVIII ст. у Великобританії та Центральній Європі для оснащення будівель. Використання зелених стін в аспекті покращення сталості урбосередовища почалося в 1992 році в США, тоді на конгресі запропонували це зелене рішення для покращення енергоефективності будівель [55].

У роботі Е. Куче [56] зелені стіни визначено як в'юнкі рослини, які можуть бути вирощені як на опорних конструкціях будівель, так і на інтегрованих конструкціях у стіни. Автор зазначає, що в межах урбосередовища ефективним способом боротьби з міським островом тепла є організація саме зелених стін. Такий елемент може як знижувати температуру міста та самої будівлі, знижуючи витрати на кондиціонування приміщень. Перевагами застосування зелених стін можна назвати ще і в контексті саме будівельних робіт, адже така конструкція дозволяє сприяти стійкості

будматеріалів, а взимку виступати у ролі додаткового ізолюючого шару для збереження тепла [57].

Організація зелених стін може бути здійснена у два найрозповсюдженіші способи: шляхом використання в'юнких рослин (рис. 1.8), або за допомогою створення контейнерних конструкцій (рис. 1.9), а також розповсюдженими є використання підвісних вазонів. Організація зелених стін, або ще як їх називають зелених фасадів, впливає на мікроклімат будівлі, більше ніж використання такого елементу ЗІ як зелені дахи, адже фасади мають більшу площу і відповідно більшу ефективність [58].

При організації зелених фасадів з в'юнких рослин часто використовують опорні конструкції для того, щоб зменшити руйнацію фасаду та уникнути проблем, пов'язаних з тісним зв'язуванням будівельних матеріалів з рослинами.



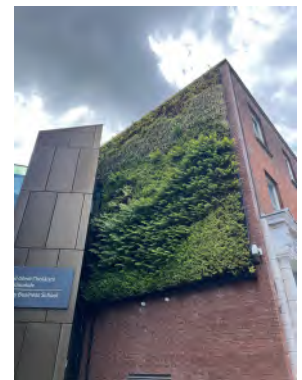
а) зелена стіна
м. Краків
(Польща)



б) зелена стіна
м. Беверлі
(Велика
Британія)



в) зелена стіна
парковки
м. Йорк (Велика
Британія)



г) зелена стіна
Бізнес школи
Трініті,
м. Дублін
(Ірландія)

Рис.1.8. Організація зелених стін за допомогою в'юнких рослин

Джерело: фото зроблене автором

При організації корпусної зеленої стіни розповсюдженими є проблеми з обслуговуванням та підтримкою конструкції у належному стані. Так стіна

Йоркського університету потребує щомісячного догляду та поливу, незважаючи на вологий клімат.



Рис.1.9. Організація корпусної зеленої стіни факультету екології та географії
Університету Йорк, м. Йорк (Велика Британія)

Джерело: фото зроблене автором

Таким чином зелені стіни, зелені фасади та дахи є такими елементами, що дозволяють збільшувати кількість зелених зон в місті не використовуючи зайвий простір, та можуть бути реалізовані в нових будинках або ж бути модернізованими в старі вже існуючі будівлі, що є їх значною перевагою над іншими елементами ЗБІ.

Одним з розповсюджених об'єктів зеленої інфраструктури в світі є використання так званих «зелених парковок» (рис. 1.10). Такі парковки відрізняються від звичайних тим, що місця під парковки є незаасфальтованими, а створені шляхом використання покриття, що має отвори, які дозволяють розвиватись газонам. Ключовими перевагами є те, що використання таких парковок дозволяє зменшувати альбедо поверхні за рахунок не асфальтування, тим самим регулювати мікроклімат, дозволяти просочуватись волозі під час дощу в ґрунт, тим самим зменшувати поверхневий стік та зменшувати навантаження на ливневу каналізацію міст.



а) м. Едінбург, Шотландія



б) м. Харків, Україна

Рис.1.10. Зелені парковки

Джерело: зроблено автором

В статті [59] проаналізовано ефективність застосування зелених парковок в умовах сухої спекотної погоди, дослідження було сконцентровано на порівнянні різних типів покриттів: асфальтована парковка, парковка без асфальтування, різні типи зелених парковок: парковка з бруківки, плити з травою та використання плити з дерев'яною щепою. Результатом було доведення ефективності зелених парковок за рахунок зниження температури в порівнянні з асфальтованою поверхнею та близькість температури з температурою природних газонів.

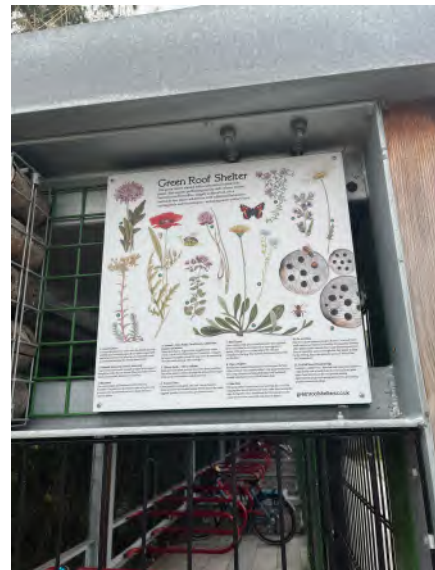
В Південній Кореї в 1970-1980 роках відбувся процес стрімкої урбанізації, коли кількість міського населення зросла з 40 до 78 %, що викликало гостру необхідність збільшення кількості житлових будівель та кількості паркомісць. Проєкт зелених парковок в містах Південної Кореї став частиною політики забезпечення сталості міст шляхом зменшення ефекту МОТ, зменшення загазованості повітря, шляхом поглинання зеленими парковками ЗР, а також підвищення комфортності умов переміщення

пішоходів. Проведене дослідження довело ефективність використання цього елемента ЗІ [60].

Цікавим прикладом ЗІ в містах Хул, Йорк (Велика Британія) стали місця для паркування велосипедів з використанням одразу двох елементів ЗІ - зеленого даху та будинків для бджіл (рис.1.11). Такі елементи ЗІ виконують додатково як екосистемну послугу з постачання не тільки чистого повітря, а ще і як джерела постачання свіжого меду. Такі конструкції дозволяють підтримувати місцеве біорізноманіття, адже на дахах висаджено представників автохтонної флори. Використання автохтонної флори має безліч переваг, адже така рослинність є місцевими видами, що пристосовані до даних умов зростання, тобто певної температури, вологості. Такі рослини є стійкими видами і будуть підтримувати природне біорізноманіття місцевості, тому такий кейс є найважливішим для використання в умовах сучасного міста.



а) м. Хул



б) м. Йорк

Рис.1.11. Використання зеленого даху для місць паркування велотранспорту,
Велика Британія

Джерело: фото зроблене автором

Проте, важливим аспектом в сфері розширення концепції ЗБІ на теренах українських міст є і збільшення фінансування сфери озеленення міст, а також збільшення обізнаності громадян в сфері важливості та переваг від застосування концепції ЗБІ.

Зараз в Україні вже з'являються перші об'єкти, одним з таких прикладів є створення «зелених зупинок» - це такі зупинки громадського транспорту, які облаштовані зеленими елементами [61]. Такі рішення є універсальними для створення осередків комфортного середовища в місті та підвищення естетичної привабливості місць з поліпшенням якості атмосферного повітря, в тому числі боротьбі з загазованістю вздовж автошляхів, дозволяє знизити температуру навколишнього природного середовища на 7-10°C. Адже суцільне дорожнє покриття в містах обмежує створення зелених зон, забруднює атмосферне повітря, впливає на вміст твердих домішок в ньому.

Так у 2015 році, на зупинці площа Галицька в місті Львів було створено першу в Україні зелену зупинку [62]. Її було створено місцевими активістами за підтримки міськ ради, цей проєкт спрямовано на вирішення проблеми зміни клімату та популяції рішень на основі природи в ландшафтній архітектурі (рис. 1.12).

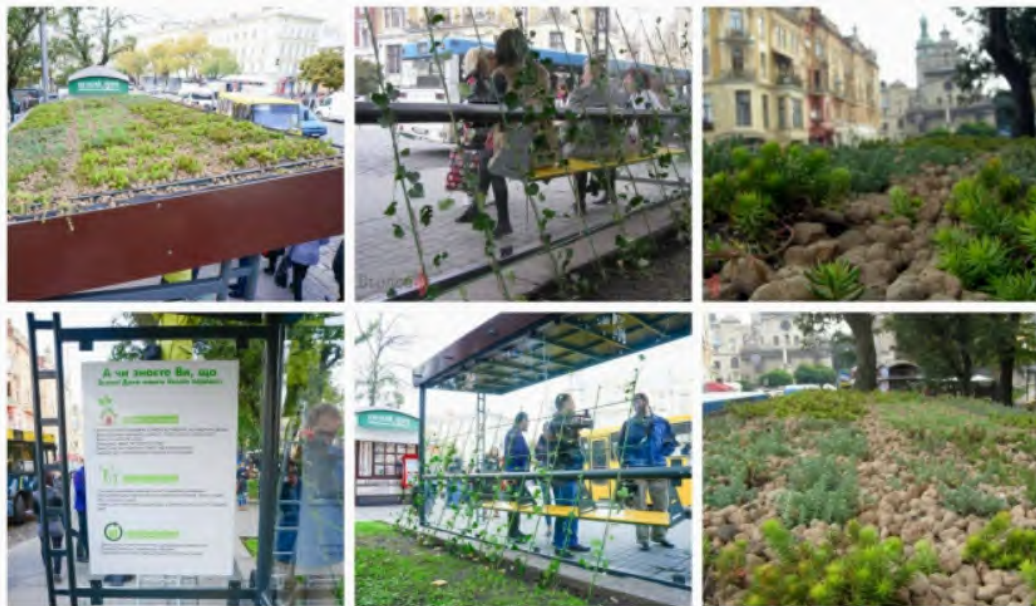


Рис.1.12. Зупинка на площі Галицькій м. Львів

Дах зупинки оснащений очитком та сукулентами, які є невибагливими до умов зростання. Це дозволило виконати такі ЕП як очищення загазованого повітря, регуляція мікроклімату та затримка вологи. Автори проекту мріють про розширення зелених зупинок на теренах України та хочуть створити цілу мережу з них, зараз реалізацією цього проекту зацікавились міські адміністрації м. Луцьк, Суми та Рівне [63].

В 2015 році в Києві, виникла ідея створення кластерного саду, на місці занедбаної ділянки скверу, що піддалась засміченню твердими побутовими відходами. Початком створення київського “Самосаду” стало розчищення ділянки від твердих побутових відходів, потім через оголошення в соціальній мережі бажаючих долучитися до створення зеленого простору стало більше, люди почали облаштовувати контейнерні клумби, висаджувати там дерева. Згодом це місце обросло дитячим майданчиком, системи поливу для газонного покриття, системою освітлення, майданчиком для вугилу собак, і все це за рахунок небайдужих місцян. Згодом це місце облаштували сонячними панелями для того, щоб воно стало енергонезалежним [64, 65].

Вже у 2020 році в м. Львів активісти з громадської організації “Плато” створили перший дощовий сад. Так, на стіні з назвою «Стіна опорядження» з’являється вертикальне озеленення у вигляді плюща та винограду, які націлені на зниження температури на кілька градусів Цельсія. Також було створено дощовий сад у вигляді викопаної ями, яку оснащено гідроізоляційним матеріалом, дренажною трубою, які дозволяють утримувати дощову воду для забезпечення комфортних умов існування саду. Викопану яму засипають щебенем, піском і землею, висаджують рослини, стійкі до місцевих погодних умов [66].

В 2021 р. в Подільському районі м. Київ з’явився перший парклет - це компактні міські простори, що створено шляхом перетворення паркувальних майданчиків в зону рекреації для пішоходів. Такі зони мають такі переваги: розширення зони руху для пішоходів, створення буферної зони між

автотрасою та тротуаром, покращення міського середовища, шляхом озеленення вулиці та покращення візуального середовища міста, зменшення ефекту МОТ від зменшення асфальтного покриття. Наразі парклети наявні тільки в одному районі міста, проте планується розширити мережу парклетів (рис. 1.13). Такі об'єкти ЗБІ є прикладом мобільної конструкції з озеленення міського простору.



Рис. 1.13. Парклети в м. Київ

У 2024 році на вулицях столиці України також почали з'являтися дощові сади. Ними оснащені п'ять районів м. Київ: Оболонський, Подільський, Солом'янський, Святошинський та Дніпровський [67, 68] (рис. 1.14). Місця для створення дощових садів в столиці було обрано так, щоб вони були розміщені в місцях зниження рельєфу, що дозволить забезпечити утримання вологи під час посух.



Рис. 1.14. Дощові сади міста Київ

Концепція зелено-блакитної інфраструктури займає важливе місце у стратегії розбудови великих міст, проте застосування даної концепції у масштабі малих міст є досить не вивченим явищем.

На теренах України останнім часом вже спостерігається тенденція до зростання попиту на використання та створення об'єктів ЗБІ для покращення міського простору. Але для досягнення всіх переваг від ЗБІ необхідним є розробка відповідної нормативно-правової бази, яка буде націлена на створення мережі таких об'єктів у містах.

У своєму дисертаційному дослідженні С. В. Бурченко [69] розкриває питання щодо нормативного базису використання концепції зелено-блакитної інфраструктури на її думку в той час як в Європейських країнах світу використання концепції ЗБІ прописано в планах управління, зокрема місцевих та регіональних [70-71], в законодавчих актах України використання цієї концепції не прописано. На думку авторки головним документом, що регулює процеси впорядкування міського середовища є ЗУ «Про регулювання містобудівної діяльності» [72], а ключові особливості озеленення території міст прописано в ЗУ «Про благоустрій населених пунктів» та ДБН.Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова території» [73].

У дисертаційному дослідженні Кузика І. Р. [74] при вивченні комплексної зеленої зони міста також проведено аналіз законодавчого базису щодо озеленення території міст в якому він дійшов до висновку, що озеленення міст на законодавчій плеяді більше регулюється в сфері містобудування та благоустрою населених пунктів України. Проте в сфері озеленення міст працюють законодавчі акти, що безпосередньо стосуються сфери розвитку комплексної зеленої зони міст до головного документа в цій сфері автор відносить: Наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України №105 від 10.04.2006 «Про затвердження Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України» [75].

1.2 Методи проведення дослідження зелено-блакитної інфраструктури

Для проведення досліджень території міста Чугуїв необхідною вимогою було створення її картографічної моделі в середовищі QGIS 3.34 на основі відкритих просторових векторних даних проєкту Open Street Map та офіційних матеріалів територіального планування (передусім, генерального плану міста (Додаток Д). Ця картографічна модель слугувала основою для проведення як польових так і дистанційних обстежень території.

Інвентаризація об'єктів ЗІ наявних у місті Чугуїв здійснювалась шляхом систематизації даних, накопичених у ході польових натурних спостережень та використання дистанційних методів дослідження (зокрема, візуального дешифрування супутникових знімків).

Оцінка забезпеченості населення міста об'єктами ЗІ здійснювалась на основі обчислення зеленого індексу (Ig) - відношення сумарної площі зелених зон до кількості містян за формулою:

$$Ig = \frac{S}{N} \quad (1.1)$$

де: S - площа зелених зон, км²;

N - кількість населення, осіб.

Оскільки Чугуїв є малим містом та немає внутрішнього поділу території на адміністративні райони, то розрахунок показника ЗЗІ проводився для всієї території загалом, без просторової диференціації.

Площа зелених зон міста обчислювалась у програмному забезпеченні QGIS за допомогою плагіна Calculate Geometry, який дозволив визначити площі оцифрованих ділянок, інтерпретованих як об'єкти ЗІ. Об'єктами ЗІ стали: озеленені території загального користування (парки, сквери, алеї, прибудинкові території) та спеціального користування (лінійні деревні

насаджень вздовж доріг та об'єктів промисловості, футбольні поля з природним покриттям).

Дані щодо кількості населення міста взяті з демографічного реєстру.

Отримане значення показника ЗЗІ оцінювалось на основі порівняння з нормативами Всесвітньої організації охорони здоров'я, що складає 50 м² міських зелених насаджень на одного жителя, в Україні цей показник варіюється в межах 20-25 м² в залежності від типу міста [75].

Оцінка параметрів урбанізованого середовища міста та об'єктів ЗБІ на основі аналізу спектральних індексів багатоканальних супутникових знімків. Важливою частиною дисертаційного дослідження стало проведення аналізу стану ЗБІ міста, що є невід'ємною складовою сталого розвитку урбанізованих територій, на основі даних супутникових знімків. Для цього було застосовано комплекс сучасних методів обробки та аналізу дистанційного зондування Землі, які дали змогу отримати цілісну інформацію про екологічний стан міських екосистем. У якості вихідних даних використовувались різночасові супутникові знімки території з декількох відкритих джерел.

Завдяки аналізу спектральних характеристик поверхні, отриманих із супутникових зображень, можна оцінити стан вегетації рослинного покриву, забезпечення рослин вологою тощо. Такий підхід дозволяє не тільки фіксувати поточний стан екосистеми, але й ідентифікувати проблемні зони, які потребують уваги в процесі планування та розвитку зеленої інфраструктури міста.

Дослідження базувалося на розрахунку спектральних індексів, які відображають ключові параметри екологічного стану міста: нормалізований вегетаційний індекс (NDVI), індекс нормалізованої різниці вологості (NDMI), нормалізований індекс різниці забудови (NDBI), індекс рослинності з поправкою на ґрунт (SAVI), індекс сухості (NDSI) та деяких інших похідних показників (BSI, NDISI, MNDWI). Ці показники надають змогу забезпечити

достовірною інформацією для прийняття науково-обґрунтованих рішень щодо створення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури для адаптації до змін клімату, підвищення екологічної стійкості та покращення умов життя мешканців.

З метою здійснення розрахунків значень комбінацій каналів супутникових знімків було використано плагін калькулятор растрів програмного забезпечення QGIS. Алгоритм роботи, який здійснено для розрахунків формул 1.2-1.11 представлено на рис. 1.15.

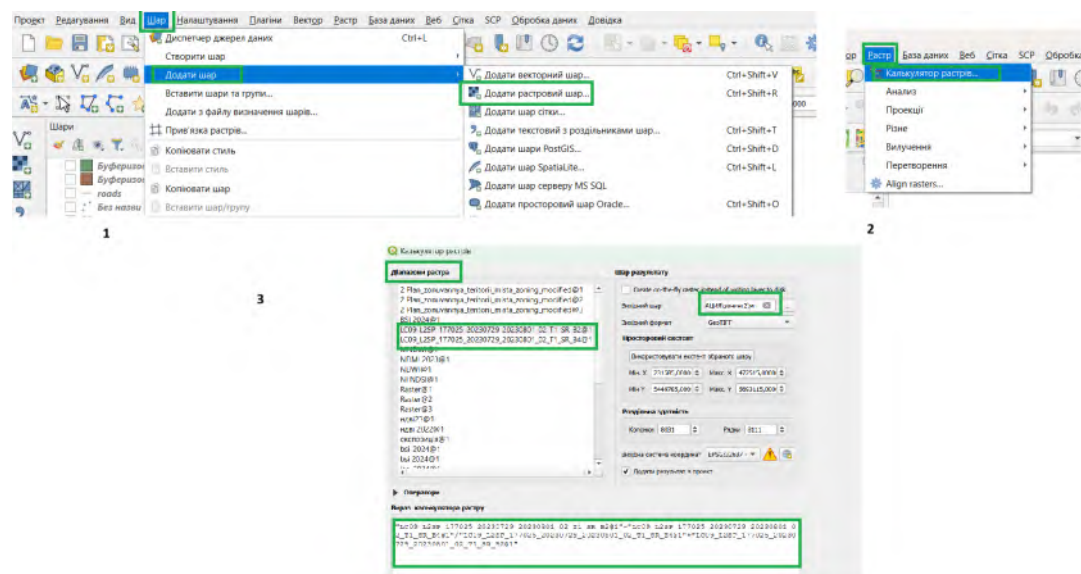


Рис. 1.15. Алгоритм калькуляції комбінацій каналів спектральних знімків

Алгоритм можна звести до виконання трьох етапів:

1. Першим кроком є імпорт необхідних спектральних каналів супутникових знімків (наприклад, NIR, RED, SWIR, BLUE, GREEN) у середовище QGIS у вигляді окремих растрових шарів географічних даних.
2. На наступному етапі активується плагін «Калькулятор растрів», який дозволяє виконувати різноманітні математичні операції з растровими даними. За допомогою цього інструменту здійснюються обчислення спектральних індексів на основі вводу користувачем формули для здійснення відповідних математичних операцій.

3. У результаті виконання цих обчислень створюється новий растровий шар, де значення пікселів відображають величину розрахованого індексу для кожної ділянки поверхні. Цей шар можна зберегти у відповідному форматі (наприклад, GeoTIFF) для подальшого аналізу, візуалізації або використання в моделюванні.

Першим кроком у проведенні дистанційних досліджень було проведення дослідження нормалізованого вегетаційного індексу.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1.2)$$

де: NIR- ближній інфрачервоний спектр (Band 5);

RED - червоний спектр.

Показник нормалізованого вегетаційного індексу розраховувався на основі даних супутникових знімків Landsat 8 та Sentinel 2, що дозволило оцінити наявність та стан рослинного покриву на території міста (процес пошуку супутникових знімків представлено на рис. 1.18).

Важливим показником для розвитку ЗІ є наявність та забезпеченість рослинного покриву вологою. Для оцінки вмісту води у ЗІ міста Чугуїв було використано індекс нормалізованої різниці вологості (1.3), який також є корисним для ідентифікації стану “водного стресу” у рослинах.

$$NDMI = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} \quad (1.3)$$

де: NIR- ближній інфрачервоний спектр (Band 5);

SWIR- короткохвильовий інфрачервоний спектр (Band 6).

NDMI - це нормалізований різницевий індекс вологості, який використовує діапазони NIR та SWIR для відображення вологості [76]. Смуга SWIR відображає зміни як у вмісті води в рослинності, так і в структурі губчастого мезофілу в рослинних пологах, тоді як на відбивну здатність NIR впливає внутрішня структура листя та вміст сухої речовини в листі, але не

вміст води. Поєднання NIR із SWIR усуває варіації, викликані внутрішньою структурою листя та вмістом сухої речовини в листі, підвищуючи точність отримання вмісту рослинної води. Кількість води, наявної у внутрішній структурі листя, значною мірою контролює спектральний коефіцієнт відбиття в інтервалі SWIR електромагнітного спектру. Тому коефіцієнт відбиття SWIR негативно пов'язаний із вмістом води в фітомасі [77].

Визначення нормалізованого індексу різниці вологості є корисним інструментом для оцінки забезпечення вологою зеленої інфраструктури. Його значення дозволяють кількісно оцінити достатність рівня зволоженості для зростання рослин, а це дає змогу приймати обґрунтовані рішення щодо організації раціонального поливу рослин вже існуючих зелених зон, а також вибору рослин та їх розташування під час створення нових об'єктів ЗІ.

Визначення наступних спектральних індексів слугувало задачі комплексної оцінки екологічного стану міста. Автори статті [78] пропонують у якості параметру оцінки використовувати інтегральний екологічний індекс, що ґрунтується на двох компонентах формуючих урболандшафт: характеристики поверхні землі (площі територій міста під забудовою та зайняті рослинністю) та клімату (вологість і ступінь сухості поверхні землі).

Кількісну оцінку цих компонентів можна здійснити шляхом обчислення набору спектральних індексів: NDBI (нормалізований індекс різниці забудови) для забудованих територій, що відображає ступінь концентрації мешканців (формула 1.4), SAVI (індекс рослинності з поправкою на ґрунт) для встановлення ступеня озеленення (формула 1.5), NDMI (нормалізований індекс різниці вологості) для вологості земної поверхні (формула 1.6) та NDSI (нормалізований індекс різниці ґрунту) для визначення ступеня сухості.

Нормалізований індекс різниці забудови вперше було запропоновано у 2000 році [79]. Цей індекс є важливим для визначення екологічного стану міста, через те, що будівлі є важливою частиною урбосистем. Будівлі значним

чином коригують поверхневий стік, адже бетонні конструкції змінюють характер поверхонь екосистем міста. Індекс розраховують за формулою :

$$NDBI = \frac{SWIR-NIR}{SWIR+NIR} \quad (1.4)$$

де: NIR- ближній інфрачервоний спектр (Band 5);

SWIR- короткохвильовий інфрачервоний спектр (Band 6).

Індекс рослинності з поправкою на ґрунт використовують, щоб більш точно аналізувати та ідентифікувати наявність рослин, що вегетують, адже він мінімізує вплив яскравості ґрунту на спектральні вегетаційні індекси, та розраховується за формулою:

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED+L} * (1 + L) \quad (1.5),$$

де: $L=0,5$

NIR- ближній інфрачервоний спектр (Band 5);

RED - червоний спектр (Band 4).

NDSI є складним спектральним індексом, який використовується як важливий інструмент для оцінки характеристик ґрунту та їх впливу на ріст культур, та є одним з індикаторів мікрокліматичних умов міста.

Для розрахунку нормалізованого різницевого індексу ґрунту (NDSI), необхідно виконати розрахунок ще декількох складових індексів: індексу голого ґрунту (BSI), нормалізованого індексу різницевого опору поверхні (NDISI), який обчислюють з урахуванням індексу водного шуму (MNDWI).

Таким чином, індекс NDSI розраховується за формулою:

$$NDSI = \frac{BSI+NDISI}{2} \quad (1.6),$$

де: BSI -розраховується за формулою 1.7;

NDISI - розраховується за формулою 1.8.

Індекс голого ґрунту BSI (Bare Soil Index) використовується для розрізнення забудованої території та голого ґрунту та розраховується за формулою:

$$BSI = \frac{SWIR+RED-BLUE-NIR}{SWIR+RED+BLUE+NIR} \quad (1.7),$$

де: SWIR - короткохвильовий інфрачервоний спектр (Band 6);

RED -червоний спектр (Band 4);

BLUE- синій спектр (Band 3);

NIR- ближній інфрачервоний спектр (Band 5);

Нормалізований індекс різницевого опору поверхні (NDISI) розраховується за формулою:

$$NDISI = TIR - \frac{MNDWI-SWIR+NIR}{3} / TIR + \frac{MNDWI+SWIR+NIR}{3} \quad (1.8),$$

де: TIR - теплове інфрачервоне випромінювання (band 11);

MNDWI - індекс водного шуму - визначається за формулою:

$$MNDWI = \frac{GREEN-SWIR}{GREEN+SWIR} \quad (1.9),$$

Результуючий індекс екологічної стійкості міста (IEI) обчислено за формулою:

$$IEI = 1 - (PC) \times 1\{[f(SAVI, NDMI, NDSI, NDBI)]\} = \\ = 1 - \sum(a_i \times (PC)_i)_{i=1}^m \quad (1.10),$$

де PC- перша головна компонента.

Для здійснення підрахунку формули 1.10 в середовищі QGIS, було здійснено нормалізацію індексів за формулою:

$$Normalized Index = \frac{Index - Min Index}{Max Index Value - Min Index Value} \quad (1.11).$$

Оцінка вуглецевої ємності зеленої інфраструктури. Її визначення для об'єктів зеленої інфраструктури міст дозволяє встановити кількість накопиченого протягом всього їх існування вуглецю в живій, мертвій фітомасі та в ґрунті.

Розрахунок вуглецевої ємності зеленої інфраструктури досліджуваних міст проводився за методикою авторів В. П. Пастернака та І. Ф. Букші «Інвентаризація парникових газів у лісовому господарстві України та шляхи її покращення» [80]. В основі методики лежить комплекс методів, а саме: оцінювання компонентів фітомаси в динаміці, надання характеристики основних таксаційних показників сухостою та дослідження депонованого вуглецю в мортмасі екосистеми [81].

Вуглецева ємність об'єктів зеленої інфраструктури міста Чугуїв визначалась для модельних ділянок, які представлені об'єктами загального користування.

Для розрахунків використано програму Microsoft Excel. Створено базу даних, яка містила в собі зібрані під час польового дослідження дані: площ насаджень, площа насаджень по групах, породний склад, дерев, поновлення деревини, індекс породного складу, вік насаджень, бонітет, кодування бонітету (1 і 2), кодування бонітету (3 і 4), тип лісорослинних умов, коефіцієнт типу лісорослинних умов, повнота деревостану, запас деревини на 1 м^3 , сухостій ($\text{м}^3 / \text{га}$) та захащеність (м^3).

На основі зібраних даних проводилися розрахунки таких параметрів, як запас вуглецю живої фітомаси (в листі (хвої), в гілках, в стовбурі, в корінні, в деревостані, в підрісті та підліску, у над ґрунтовому покриві, загальний запас живої фітомаси), запас вуглецю відмерлої фітомаси (в сухостій (крона), в сухостій (стовбур), в сухостій (коріння), загальний в сухостій, захащеність, загальний запас вуглецю у відмерлій фітомасі), запас вуглецю в підстилці, в ґрунті, загальний запас органічного вуглецю, запас в розрахунку на 1 гектар.

Розрахунок запасу вуглецю в живій фітомасі визначено за формулами:

$$R_{v(\dots)} = a_0 * A^{a_1} * B^{a_2} * \exp(a_3 * A), \quad (1.12),$$

$$R_{v(\dots)} = a_0 * A^{a_1} * B^{a_2} * P^{a_3} * \exp \exp(a_4 * A + a_5 * P), \quad (1.13)$$

$$R_{v(\dots)} = a_0 * B^{a_1} A^{(a_2 + a_3 * P + a_4 * P_2)},$$

де: A – вік років;

B – бонітет;

P – відносна повнота.

Запас вуглецю в чистій первинній продукції для живої фітомаси розраховувався за формулою:

$$V_{ag} = dGS(R_{ab} + R_{bl} + R_{us}) + \sum_i (dMR_i + HarvR_i + \frac{GSR_i}{Turn_i}), \quad (1.14),$$

де: dGS – чистий приріст стовбурної деревини, $\text{м}^3\text{га}^{-1}$ за рік;

dM – природний відпад, $\text{м}^3\text{га}^{-1}$ за рік;

R_i – вирази для розрахунку фракцій фітомаси;

$Turn_i$ – час існування фракцій.

Запас вуглецю в підліску живої фітомаси розраховано за формулою:

$$R_{uc} = 0,45(1,311P^2 + 2,561P - 0,0263)m, \quad (1.15),$$

де: P – повнота деревостану;

m – коефіцієнт, що залежить від віку переважаючої породи.

Об'єм вуглецю в підрісті живої фітомаси розраховувався за формулою:

$$R_{lit} = (0,001H_{asl} + 4,27)k_1(k_2A^2 + k_3A + k_4)P, \quad (1.16)$$

де: K – кількість особин підросту на 1 га;

k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти;

h – висота, см.

Вміст вуглецю у сухостій відмерлої фітомаси розраховано за формулою:

$$R_{dw} = 0,5kD_wN/10, \quad (1.17),$$

де: k – коефіцієнт фракції фітомаси;

D_w – запас на 1 га;

N – коефіцієнт складу насадження.

Запас вуглецю у захарашеній частині відмерлої фітомаси визначається за формулою:

$$R_d = 0,5kD, \quad (1.18),$$

де: k – коефіцієнт залежності від породного складу;

D_w – запас відмерлої деревини на 1 га;

N – коефіцієнт складу насадження.

Об'єм вуглецю в лісовій підстилці розраховано за формулою:

$$R_{lit} = (0,001H_{asl} + 4,27)k_1(k_2A^2 + k_3A + k_4)P, \quad (1.19),$$

де: H_{asl} – висота над рівнем моря;

A – вік деревостану;

P – повнота;

k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти.

Визначення наявності ефекту МОТ. Зелено-блакитна інфраструктура в місті надає кліматорегулюючі екосистемні послуги, що дозволяє адаптуватись до глобальних кліматичних змін. За допомогою здійснення вимірів температур поверхонь урбосередовища можна виявити наявність або відсутність передумов формування теплового острова в місті.

МОТ виникає внаслідок заміни природних зелених зон на непроникні штучні поверхні, зокрема, будівлі та асфальтне покриття, що спричиняє підвищення температури в містах порівняно з сільськими територіями. Відомо, що ЗБІ є ключем для вирішення проблеми міського острова тепла шляхом створення об'єктів, які сприяють охолодженню міського середовища за рахунок процесів випаровування та транспірації [82]. Ці елементи інфраструктури знижують температуру повітря, зменшуючи теплове

навантаження на міське населення і знижуючи ризики, пов'язані з тепловими хвилями.

Дослідження теплового острова в місті Чугуїв відбувалось за допомогою використання портативного тепловізора. Тепловізори дозволяють точно і швидко вимірювати розподіл температури на поверхнях та у повітрі, що є критично важливим для розуміння шляхів подальшого пом'якшення ефектів МОТ. Застосування цього приладу є ефективним та доступним, дозволяє отримувати точні дані про розподіл температур в різних частинах міста [83-87]. Тепловізори, завдяки своїй мобільності та високій роздільній здатності, надають важливу інформацію для аналізу ефективності зелено-блакитної інфраструктури.

Натурне визначення температур міських поверхонь здійснювалось портативним промисловим тепловізором Uni-T Pro UTi260A, який має такі характеристики: інфрочервона роздільна здатність: 256 x 192, діапазон виміру температур від -20°C до $+400^{\circ}\text{C}$ [88].

Встановлення ефективності наявних об'єктів ЗІ у регуляції мікрокліматичних показників міста, а також визначення локацій, що потребують організації нових об'єктів ЗІ для подолання та попередження ефекту МОТ, здійснювалось шляхом аналізу температурних показників різного роду поверхонь на двох модельних ділянках вздовж вулиць Центральна та Торгова. Міське середовище досліджуваних ділянок характеризується складною комбінацією поверхонь, із переважанням штучних покриттів над природними. Ці умови можна попередньо вважати такими, що потенційно сприяють формуванню МОТ.

Геоботанічне дослідження об'єктів ЗІ відіграє важливу роль при вивченні інформації про динаміку змін у флористичному та ценотичному стані, а також допомагає вивчити абіотичні процеси. Геоботанічні дослідження мають різні види, до них можна віднести:

- власне флористичні, які націлені на збір та ідентифікацію рослин на певній території та подальшого визначення їх складу та просторового розподілу;
- фітосозологічні, які націлені на дослідження рослинних спільнот, їх структури та екологічних взаємодій;
- біогеографічні, під час яких вивчається географічний розподіл рослин для встановлення закономірностей та визначення природних географічних областей;
- еколого-фізіологічні, при яких здійснюється вивчення адаптацій рослин до різних умов середовища, таких як температура, вологість, освітленість тощо.

У місті Чугуїв здійснено власне флористичне дослідження з визначенням домінуючих видів всіх ярусів рослинного покриву. Основна увага приділялася вивченню видів різноманіття дернового покриву, що дозволило виділити домінуючі види природних угруповань. Отримані результати є ключовими для вибору відповідних видів рослин для посадки на напівприродних газонах, що сприятимуть забезпеченню стійкості території.

Розрахунок річного обсягу поверхневого стоку. З метою визначення важливості зелено-блакитної інфраструктури для регулювання поверхневого стоку в місті Чугуїв було здійснено розрахунок обсягу поверхневого стоку з різних типів антропогенних ландшафтів міста за формулою:

$$W = 10 \cdot h \cdot Y \cdot F, \quad (1.20),$$

де: W - річний обсяг стічних вод, м^3 ,

h - шар опадів, мм;

F - загальна площа водозбору, га;

Y - коефіцієнт стоку.

Визначення напрямків поверхневого стоку. З метою пошуку місць для створення об'єктів ЗБІ для вирішення проблеми управління поверхневим

стоком побудовано геоінформаційну растрову модель напрямків переважаючого поверхневого стоку.

Для моделювання напрямків стоку використано програмне забезпечення ArcGIS Desktop 10.8.1 в якому на основі супутникових даних цифрової моделі місцевості.

Цифрові моделі місцевості є цінними джерелами даних для здійснення геопросторового аналізу, які дають цифрове представлення рельєфу Земної поверхні [89]. Комірки регулярного растру ЦММ містять матрицю значень висот, розбиті на рівні інтервали, виміряні в одиницях географічної широти та довготи [90].

Крім того для побудови ЦММ було використано базу даних супутникових зображень SRTM (Радіолокаційно-топографічна місія Шатл). Це міжнародний проєкт, який спрямовано на отримання повної бази даних щодо топографії Землі високої роздільної здатності [91].

Відкрита база даних для таких супутникових зображень є геопортал Геологічної служби США (USGS) [92]. Пошук відповідних супутникових зображень як щодо даних SRTM так і попереднього згаданих супутникових знімків Landsat 8 або Sentinel 2 відбувався за алгоритмом зображеним на рис. 1.16.

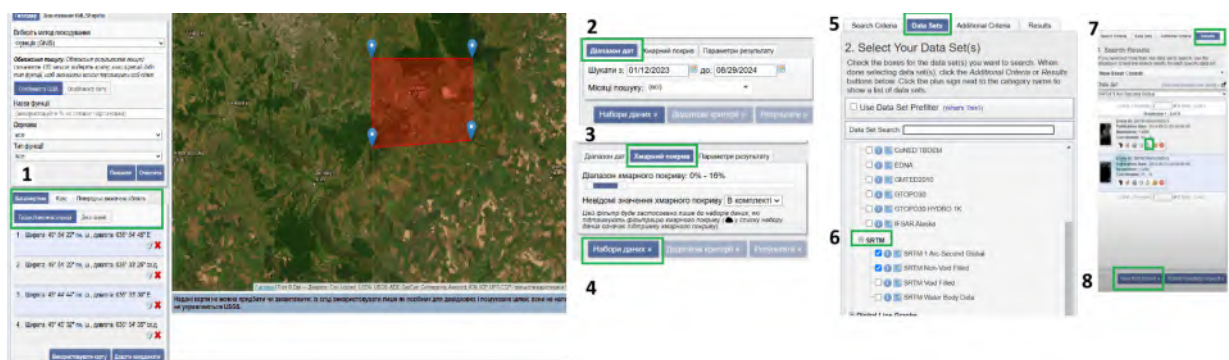


Рис. 1. 16. Алгоритм пошуку супутникових зображень для м. Чугуїв
Джерело: створено автором

Першим кроком є виставлення критеріїв пошуку супутникових знімків, в які входять: вибір території, пошук дат та встановлення відсотку хмарності. Для означення території пошуку даних доступними є три способи: використання даних координат розташування території дослідження, завантаження shape-файлу границь території дослідження або в ручному режимі окреслити полігон дослідження. Найпростішим способом, на наш погляд, для дослідження невеликої території є самостійне охоплення території за допомогою виставлення міток. Далі необхідно виставити певний діапазон дат. Під час виставлення цього критерію краще охопити більші часові проміжки, щоб неодмінно знайти супутникові дані. Під час виставлення критерію хмарності краще обирати діапазон з меншою хмарністю, тоді зображення буде передавати більш точні результати.

Другим кроком є вибір відповідного набору даних. Для цього у пошуковий рядок необхідно ввести назву типу даних супутникових зображень (SRTM) та обрати необхідний варіант.

Третім кроком є пошук результатів, які якнайкраще задовольняють критерії пошуку, та їх завантаження для роботи у відповідному програмному забезпеченні. Можливості інструментів попереднього перегляду знімків дозволяють швидко здійснити вибір кращого знімку, який повністю охоплює територію дослідження та не закритий хмарами.

Завантажений файл ЦММ у форматі TIFF буде містити дані щодо висот території, яка обрана для проведення дослідження.

Для побудови моделі використовуються дані з комірок щодо висот, які покажуть в якому напрямку буде відбуватись рух води. В середовищі ArcGIS Desktop 10.8.1 інструментом для побудови цифрової моделі поверхневого стоку є Flow Direction. Цей інструмент дає можливість визначити напрямок потоку з кожної комірки в растрі [93].

Це відбувається за рахунок того, що інструмент перетворює поверхню як вхідні дані та створює нове растрове зображення, що показує напрямок

поток з кожної комірки. Якщо вибрати параметр «Вихідний крапляний растр», створюється новий вихідний растр, який показує максимальну зміну висоти від кожної комірки вздовж напрямку потоку до довжини шляху між центрами комірок і виражається у відсотках.

Існує всього вісім вихідних напрямків за вісьмома суміжними комірками, які можуть потрапити у потік - через це такий підхід має назву восьми напрямкової моделі потоку. Візуально процес перетворення даних під час роботи цього інструменту представлено на рис. 1.17.

У випадку, коли клітина нижче за вісім своїх сусідів клітинка отримує значення найнижчого сусіда. У випадку якщо декілька сусідів мають найменше значення - комірка отримує це ж значення. Але потім вони фільтруються як одноклітинні поглиначі, які вважаються шумом.

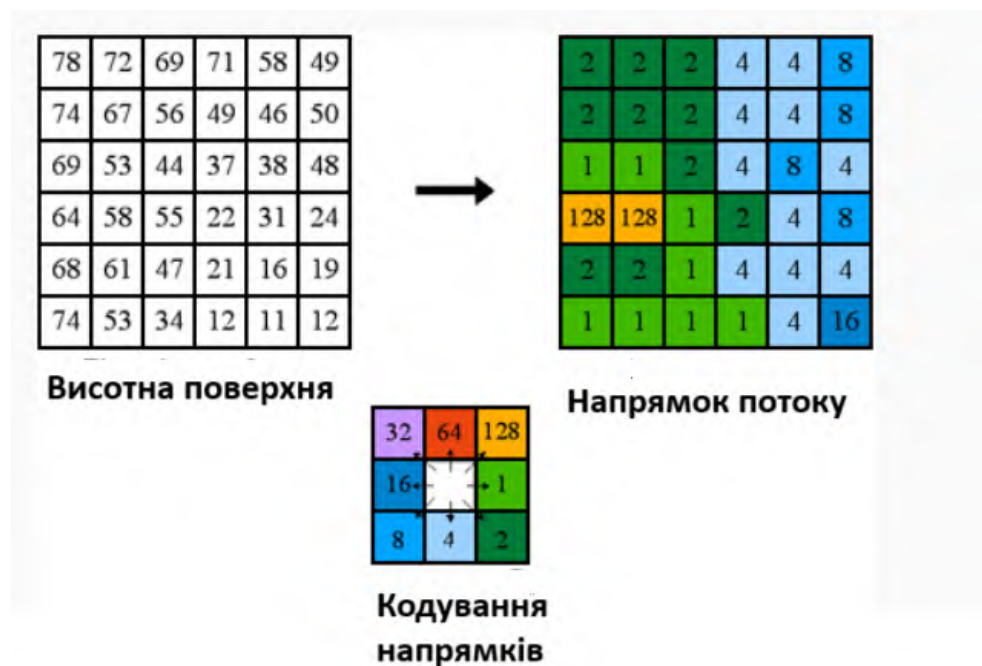


Рис. 1.17. Кодування напрямку потоку [89]

В результаті виконання зазначених вище операцій отримується візуальне представлення напрямків поверхневого стоку, яке можна представити у вигляді стрілок з напрямками стоку.

Висновки до першого розділу

1. Концепція ЗБІ є новим підходом до збалансованого та сталого розвитку міської території. На основі аналізу наукових публікацій сформовано визначення ЗБІ, як частини урболандшафту, що утворена зеленими та блакитними просторами, які складаються з природних та напівприродних далянок, здатних забезпечити виконання екосистемних функцій.

2. Популярність ЗБІ в Світі сприяє запровадженню її принципів в Україні, де за ініціативи окремих громад вже почали з'являтися парклети, дощові сади, зелені фасади, зелені дахи та зелені зупинки, тобто з'являється попит та поінформованість населення про необхідність створення таких об'єктів.

3. В Україні нормативно-правовий базис для створення об'єктів ЗБІ чітко не регламентований. Деякі положення містять ДБН.Б.2.2-12:2019 та Наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України №105 від 10.04.2006.

4. Для дослідження територіальної організації ЗБІ міста Чугуїв використані сучасні методи польових спостережень, картографічні методи, дані дистанційного зондування, за якими розраховано спектральні індекси: нормалізований вегетаційний індекс, індекс нормалізованої різниці вологості, нормалізований індекс різниці забудови, індекс рослинності з поправкою на ґрунтовий покрив, індекс сухості Землі, методики розрахунку вуглецевої ємності, зеленого індексу та моделювання напрямів поверхневого стоку,

Результати проведених наукових досліджень, викладених у розділі 1, опубліковані у наукових працях автора [94-96].

РОЗДІЛ 2. ЛАНДШАФТНО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

Поняття територіальної організації міст наскрізно пов'язане з ландшафтним плануванням території [97]. Різні дослідники вважають, що витоки ландшафтного планування зародились ще в давніх цивілізаціях Єгипту, Месопотамії, Ацтеків, Інків, тощо. Планування як спосіб організації міст ще у I-II ст. нашої ери простежувались у Давній Греції, де під час планування міст брали до уваги місцеві природні умови й підкреслювали значення агори й акрополя (осередків політичного й релігійного життя) як композиційних центрів міст; прийоми регулярного планування міст створили чітку містобудівну систему, в Давньому Римі планування території полягало в створенні системи водопостачання, відведення каналізаційної системи та перших спроб озеленення міст [98].

На території України активний процес урбанізації розпочався в 20-х роках минулого століття, але в ті часи було взято курс на індустріалізацію, тому під час планування міст досить часто не було враховано екологічний аспект планування території. Так при районному плануванні території, яке використовували як ключ до розбудови міст, увагу було зосереджено на:

- промислових районах і вузлах, зокрема гірничодобувних ареалів;
- сільськогосподарських районах;
- великих транспортних вузлах, територіях портів;
- курортних районів і зон масового відпочинку;
- приміських територіях великих міст [99].

Позитивні сторони районного планування як способу організації міст представлено на рис.2.1.



Рис. 2.1. Позитивні аспекти застосування районного планування міст

Коли очевидним стало, що виключно індустріалізований підхід вносить негативні аспекти в стан навколишнього природного середовища з'явилась концепція ТерКСОПів. Вони враховували регіональні особливості міст, що сприяло зародженню підходу до обґрунтування комплексних заходів з охорони природи, які мали запобігати забрудненню довкілля. На відміну від районного планування вони враховували не тільки соціально-економічні аспекти території, а й оцінювали стійкість природно-ресурсного потенціалу, тим самим управління території вже мало збалансувати економічні та екологічні аспекти.

Наступним етапом розвитку планування міської території стало використання ландшафтного планування. Це інструмент, що відкриває можливості врахування просторової специфіки ландшафту, розроблення конкретних рекомендацій для управління і планування розвитку територій, створення платформи для співпраці з громадськістю та іншими зацікавленими особами і, сприяє сталому розвитку територій [100].

Під час цього етапу з'являється спроба функціонального зонування, тобто територію міста розмежовують відповідно до характеру використання, це дає підґрунтя для створення умов сталості міста.

Позитивні сторони до такого підходу представлені на рис. 2.2.



Рис.2.2. Позитивні сторони ландшафтного планування як способу організації території

В той час як на території України поступово крок за кроком планування міської території підійшло до її використання не лише з економічною метою, але до уваги взято і екологічний аспект, на території сучасного Європейського союзу, зокрема в Німеччині ландшафтне планування застосовується ще з початку XIX століття як у вигляді підходу до освоєння території, так і на законодавчому рівні. Керівні принципи планування міст ЄС спрямовані на узгодження соціальних і економічних вимог до території з її екологічними і культурними функціями, що в свою чергу сприяє довготривалому, широкомасштабному і збалансованому просторовому розвитку.

З таблиці 2.1 видно, що планування пострадянських міст значною мірою програє тогочасному плануванню Європейських міст, де пріоритетними напрямками для розвитку міст є населення, відновлення та збалансоване використання територій, урахування конфліктів, які можуть виникати внаслідок нераціонального природокористування.

Таблиця 2.1

Порівняння планування міст на території колишнього СРСР та Європейських держав

Критерії	Пріоритетні напрямки	
	Колишній СРСР	Сучасна Європа
Ініціатива	Зверху	Знизу, узгодження інтересів всіх власників
Головний акцент	Розміщення продуктивних сил	Природа і населення
Другорядні цілі	Використання ресурсів	Відновлення і збалансоване використання
Цільові групи	Управлінські структури	Управлінські структури, громадяни, неурядові організації
Пріоритети	Галузеві	Територіальні
Інформативність	Низька	Висока
Методичні підходи	Комплексна, ресурсна оцінка середовища та впливи на нього	Розробка інтегральної цільової концепції просторового розвитку, урахування конфліктів інтересів

У сучасній незалежній Україні система планування міст походить з Генеральної схеми планування міст - це містобудівна документація, в якій означено концептуальні засади розвитку території.

2.1 Територіальна організація урболандшафтів м. Чугуїв

Місто Чугуїв є районним центром в Харківській області, та ключовим в Чугуївському районі. Офіційно місто засноване у 1638 році, проте перші

згадки про нього датуються ще раніше. За класифікацією міст по кількості населення місто є малим, адже в ньому мешкає 32 тисячі містян [101].

Територія міста Чугуїв розташована на Східноєвропейській рівнині. Відповідно до сучасного фізико-географічного районування [102] міста розташоване в межах Східноукраїнського краю, а саме в межах лісостепової зони Харківської схилово-височинної області.

Загальний тип території міста відповідає рівнинному. Згідно з геоморфологічним районуванням Чугуїв розташований на Східноєвропейській полігенній рівнині Середньоруської області пластово-денудаційних височин на неогенових, палеогенових та крейдових відкладах. Території міста притаманні два типи рельєфу - денудаційний та флювіальний. Денудаційний тип рельєфу представлено пластово-денудаційною рівниною та горбогір'ям областей переважно помірних піднять, а саме субгоризонтальною увалистою та горбисто-увалистою рівниною на крейдових, палеогенових і неогенових відкладах [103]. До флювіальних форм рельєфу міста відноситься: перша та друга надзаплавна тераса.

Клімат міста Чугуїв помірно континентального типу, що вирізняється помірними температурами, чітко вираженими сезонами та достатньою кількістю опадів. Теплий сезон триває 3,7 місяця, з 18 травня по 9 вересня, із середньодобовою високою температурою вище 21°C . Найспекотніший місяць року в Чугуєві – липень із середньою найвищою температурою 23°C та найнижчою 16°C . Холодний сезон триває 3,9 місяця, з 17 листопада по 13 березня, із середньодобовою високою температурою нижче 6°C . Найхолодніший місяць року в Чугуєві – січень із середньою мінімальною температурою -19°C та найвищою $-2,2^{\circ}\text{C}$ [104]. Річна кількість опадів у Чугуєві становить приблизно 520–530 мм. Найбільше опадів випадає влітку, найменше - взимку. Щодо вітрового режиму, то взимку переважають північні вітри, а влітку частіше дмуть південні та південно-східні.

Природними типами ґрунтів у місті Чугуїв є чорноземи на лесових породах і лучні ґрунти, що формуються на делювіальних та алювіальних відкладах. Чорноземи на лесових породах характеризуються високою родючістю та представлені чорноземами типовими середньо гумусними, які утворюються завдяки сприятливому поєднанню кліматичних умов і багатих на мінеральні речовини материнських порід. Лучні ґрунти, у свою чергу, включають лучні солонцюваті ґрунти, що формуються в умовах періодичного зволоження та впливу підземних вод, які збагачені солями. Проте, варто зазначити, що ґрунтовий покрив в місті сильно змінений внаслідок урбанізації. Можна стверджувати, що внаслідок інтенсивних процесів як фізичного так і хімічного перетворення типових природних ґрунтів в місті сформувався специфічний урбогенний покрив, що зберіг властивості природного ґрунтового покриву, але має свої відмінні риси [103].

Гідрологічна мережа м. Чугуїв представлена річками Сіверський Донець, та Чугівка, яка протікає через його територію. Обидві річки належать до басейну Дону. Сіверський Донець є важливою рекреаційною й екологічною складовою місцевості. Довжина річки Чугівка приблизно 7,20 км, вона є правою притокою Сіверського Дінця. Основним видом живлення річок є сніговий та дощовий тип живлення. Оскільки, гідрологічна мережа є основою блакитної інфраструктури в місті - її детальний аналіз представлено в пункті 2.3.

Рослинний покрив міста Чугуїв за даними Національного атласу України представлений двома видами рослинності - лісовою та лучною рослинністю. Лісова природна рослинність представлено сосновими та широколистяно-сосновими лісами, а також сільськогосподарськими землями на місці дубових лісів. Лучна рослинність представлена в заплаві місцевості [105]. Варто зазначити, що в місті попри процеси урбанізації гарно збережена аборигенна флора. Адвентивні види, які сформовані внаслідок антропогенного впливу спостерігаються здебільшого в зелених зонах

загального призначення (переважно в трав'янистому покриві), прибудинкових територіях, лінійних зелених зонах вздовж шляхів авто- та залізничного транспорту.

Згадані фізико-географічні умови формують загальне уявлення щодо природних ландшафтних комплексів території сучасного міста Чугуїв, які стали передумовою для утворення сучасної територіальної організації типів міських антропогенних ландшафтів (рис. 2.3).

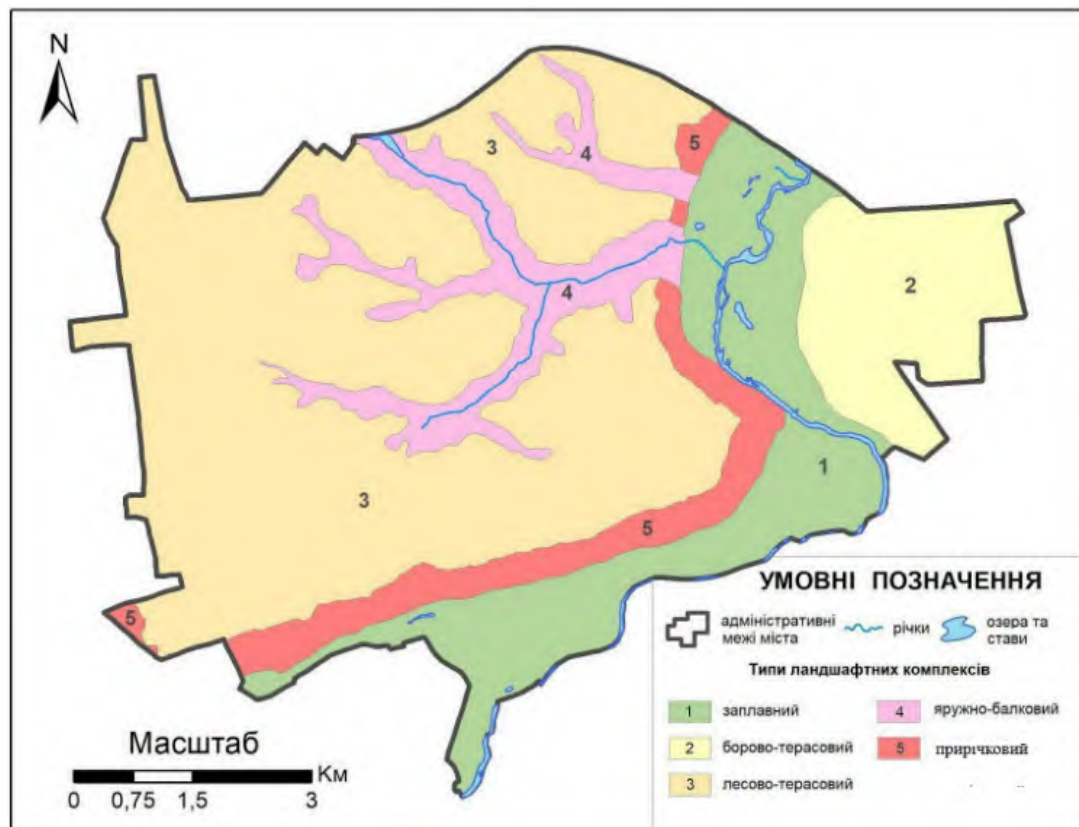


Рис. 2.3. Типи ландшафтних комплексів м. Чугуїв

Джерело: за автором

В місті Чугуїв можна виділити п'ять типів ландшафтних комплексів: заплавний, борова-терасовий, лесо-терасовий, яружно-балковий та прирічковий. У відсотковому співвідношенні найбільшу частину території міста Чугуїв займає лесо-терасовий тип ландшафту (48,3%), заплавний тип займає 27,55% території, борова-терасовим комплексом представлено 9%

території міста, яружно-балковий - 8,98%, а найменшим природним ландшафтним комплексом в місті є прирічковий тип - 6,17%.

Планування території відіграє ключову роль при виборі територій для подальшого їх оснащення елементами зелено-блакитної інфраструктури з метою забезпечення сталого розвитку території, виконання екосистемних функцій та покращення умов проживання для містян.

В [106] визначається роль ландшафтного планування як забезпечення створення умов для нормального функціонування території, підтримки екологічних зв'язків, інструмент забезпечення стійкості території. В той же час авторка в своїй монографії [100] визначає важливість ролі антропогенного навантаження на територію, в тому числі освоєність території, що і призводить до виділення вже не природних, а антропогенно змінених ландшафтів.

Вивченням антропогенних ландшафтів займалась ціла низка сучасних ландшафтознавців та географів таких як: Денисик Г. І. [107], Гродзинський М. Д. [108], Клещ А. А. [109], Тітенко Г. В. [110], Царик Л. П., Кузик І. Р. [111], Ричак Н. Л. [112], Шмагельська М. О. [113], Стефанков Л. І. [114], в своїх роботах вони вбачають, однією з ключових проблем всіх класифікацій не в різності думок щодо виокремлення типів антропогенних ландшафтів, а виділення районів співвідношення натуральних, тобто природних ландшафтів, до антропогенно змінених геокомплексів.

Актуальність дослідження антропогенних ландшафтів в Україні на сьогодні набуває особливого значення через низку факторів, таких як прискорена урбанізація, індустріалізація, зростання населення та загострення екологічних проблем. Антропогенні ландшафти - це ландшафти, які суттєво змінили людську діяльність: вони включають міста, промислові райони, сільськогосподарські землі, транспортну інфраструктуру тощо. Вивчення цих ландшафтів дозволяє не лише оцінити негативний вплив людської діяльності на природу, але й знайти рішення для мінімізації цього впливу.

В умовах глобальних змін клімату та стрімкого зростання урбанізованих територій в Україні дослідження антропогенних ландшафтів стає важливим для забезпечення сталого розвитку. Вивчення змінених людиною ландшафтів дає змогу розуміти механізми взаємодії між природними процесами та антропогенними факторами, а також сприяти розробці екологічно орієнтованих рішень, що дозволяють зменшити шкідливий вплив людини на довкілля.

Антропогенні ландшафти часто характеризуються високим рівнем екологічної напруги через порушення природних балансів. Наприклад, значні території побудовані під промислові або сільськогосподарські потреби, що призвело до виснаження ґрунтів, забруднення води та зниження біорізноманітності. Міські ландшафти є найбільш очевидним прикладом антропогенних ландшафтів. Вивчення міських ландшафтних комплексів є критичним напрямком для покращення якості життя мешканців міста, що дозволяє зберегти баланс між розбудовою інфраструктури та екологічною безпекою.

Антропогенні ландшафти більш вразливі до наслідків зміни клімату. Підвищення температури, частіші посухи та інші екстремальні природні явища створюють додаткові ризики для урбанізованих територій. Вивчення міських ландшафтів усвідомлює, як можна адаптувати інфраструктуру до нових кліматичних умов, наприклад, через збільшення зелених зон, встановлення системи збору дощової води, використання енергоефективних будівельних матеріалів.

Міські ландшафтні комплекси є основними об'єктами дослідження, міста стають центрами концентрації населення та економічної активності. Однак розвиток міст створює багато проблем: зниження якості повітря, зміни в локальних кліматичних умовах, руйнування природних екосистем.

В ході визначення мозаїки антропогенних ландшафтів для подальшого визначення антропогенних змін для міста Чугуїв було обрано класифікацію

антропогенних ландшафтів за видом господарської діяльності, за Денисиком Г. І. [115] :

- клас сільськогосподарських ландшафтів;
- клас промислових ландшафтів;
- клас лінійно-дорожніх ландшафтів;
- клас рекреаційних ландшафтів;
- клас селітебних ландшафтів;
- клас белігеративних ландшафтів.

Для виділення ландшафтної структури міста Чугуїв розроблено алгоритм дослідження (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Алгоритм створення карти антропогенних ландшафтів м. Чугуїв

Для картографічного відображення антропогенно трансформованих ландшафтів міста Чугуїв було використано програмне забезпечення ArcGIS Desktop версії 10.8.1. В якості підложки було використано план-зонування

міста Чугуїв (Додаток Д), для точності побудови шарів було використано відкриті супутникові дані Openstreet map. На території дослідження виявлено такі типи ландшафтних комплексів: селітебний, лінійно-дорожній, промисловий, белігеративний, рекреаційний, аквально-антропогенний тип та агроландшафти (рис. 2.5).

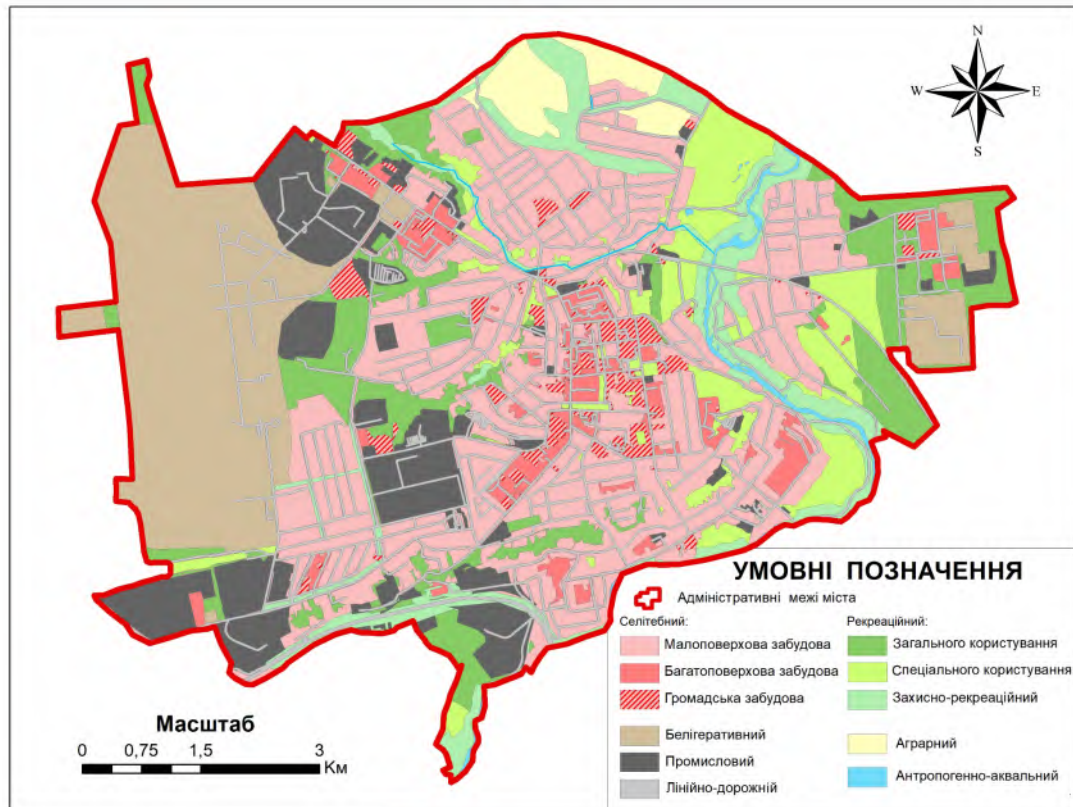


Рис. 2.5. Диференціація антропогенних ландшафтів м.Чугуїв

Джерело: за автором

Аналіз просторового розподілу всіх типів урболандшафту показав (табл. 2.2), що найбільшу частку в структурі антропогенних ландшафтів в місті Чугуїв займають селітебні ландшафти.

Таблиця 2.2

Співвідношення типів урболандшафтів на території м. Чугуїв

Тип	Площа, %	Тип	Площа, %
Селітебний, всього	33,66	Рекреаційний, всього	22,99
<i>малоповерхової забудови</i>	25,65	<i>спеціального призначення</i>	8,6
<i>багатоповерхової забудови</i>	5,45	<i>загального призначення</i>	7,33
<i>громадської забудови</i>	2,56	<i>захисно-рекреаційний</i>	7,07
Белігеративний	17,37	Лінійно-дорожній	12,08
Промисловий	10,55	Аквально-антропогенний	0,8
Агроландшафти	2,54	Всього	100

В [116] відзначається важливість селітебних ландшафтів через:

- формування каркасу антропогенного ландшафту в тандемі з дорожнім ландшафтом;
- синергія всіх типів ландшафту;
- прояви корінних змін у структурі ландшафту зі змінами у їх речовинному складі, структурі, зв'язках, морфології.

Малоповерховий тип міського ландшафту являє собою забудову одно та дво поверхову. Зазвичай малоповерховий тип ландшафту характерний для історичної частини міста [117], проте у місті Чугуїв спостерігається повсюдно велика кількість приватних будинків, що і дає більшу частку малоповерхового типу міського ландшафту. Порівнюючи малоповерховий тип міського ландшафту з багатоповерховим слід відмітити менше втручання в природні системи та не високий ступінь перетворення природного ландшафту. В першу чергу менший вплив пов'язаний з відсутністю необхідності сильного втручання в літосферу та ґрунтовий покрив. Малоповерховий ландшафт відрізняється меншою щільністю забудови в порівнянні з багатоповерховими кварталами. Це дозволяє забезпечити більше простору для зелених зон, садів, парків та інших елементів ЗІ.

Малоповерхова забудова забезпечує більш високий рівень комфорту для мешканців у порівнянні з багатоповерховою забудовою. Низька щільність забудови та велика кількість зелених зон сприяють зменшенню негативного впливу на довкілля. Крім того, більша кількість зелених насаджень сприяє поглинанню CO₂, знижуючи рівень забруднення. Такі райони мають меншу кількість населення, менший шум та трафік, що сприяє більш спокійному способу життя.

Багатоповерховий тип міського ландшафту має вищий рівень антропогенного навантаження в порівнянні з малоповерховим типом. Це відбувається за рахунок впливу на літосферу, ґрунтовий покрив, рослинність. Такий тип міського ландшафту характерний для будівель висотою понад три поверхи.

Головною ознакою такого ландшафту є щільність забудови та її масштабність, що створює відчуття урбаністичного простору з великою концентрацією населення та інфраструктури. У подібних районах звужені або обмежені зелені зони, а пішохідні простори можуть бути обмеженими та в основному заасфальтований. На думку Денисика Г. І. в такому типі міських ландшафтів спостерігається бідність ЗІ, закритість ґрунтів [116]. В той же час в своїй статті Война І. М. та Лебедовський А. В. [118] визначають, що багатоповерховий тип міського ландшафту є основою вертикальної диференціації міських ландшафтів, в цей же час визначають значну трансформацію на цих ділянках. Багатоповерховий тип міського ландшафту в місті Чугуїв представлений будинками від 5 до 9 поверхів.

Варто відзначити значний вплив багатоповерхового типу міського ландшафту на атмосферне середовище, адже багатоповерхові забудови сприяють утворенню "островів тепла" в містах, а бетон і асфальт поглинають та акумулюють тепло. Зростає забруднення повітря через викиди від автомобільного транспорту, систем опалення та промислових підприємств.

Високі будівлі можуть також змінювати потоки вітру, що ускладнює розсіювання забруднення.

Белігеративний тип антропогенних ландшафтів [119, 120] в місті Чугуїв представлений військовою частиною, полігоном та аеродромом, в структурі землекористування відносяться до земель оборони. Наявність белігеративного класу антропогенних ландшафтів в місті склалось історично, адже було сформовано як місто військових поселень.

Рекреаційні ландшафти в місті охоплює ділянки природної рослинності, адаптовані до антропогенного впливу. У межах міста це, ймовірно, невеликі лісопосадки, залишки природних екосистем або території з контрольованою рослинністю. Для таких територій характерною особливістю є багато інтродукованих видів рослин, що пов'язано з істотною зміною кореневої рослинності в результаті ландшафтного планування, озеленення території і садово-паркового будівництва. В межах рекреаційних ландшафтів в місті виділяють як зони спеціального та загального використання. Функція таких ландшафтів - екологічна стабілізація, зниження техногенного впливу, збереження біорізноманіття.

Транспортний тип представлений лінійно-дорожнім ландшафтом та охоплює головні дороги, автостради, які забезпечують доступ до його міста та районів. Вулично-дорожня мережа: включає внутрішньо міські дороги, пішохідні зони, тротуари та мости.

Промисловий клас в місті Чугуїв представлений об'єктами обробної галузі промисловості та відносяться до 4 та 5 класу небезпеки. Такі території є докорінно зміненими внаслідок виробничої діяльності людини. В ньому відбуваються зміни практично у всіх природних компонентах геоекосистем (літо-, педо-, гідро-, фіто- і зоокомпонентів).

Агроландшафти в місті майже не представлені, що пов'язано зі значною урбанізацією території, проте такі комплекси спостерігаються на околицях міста. Проте, варто зазначити, що в межах селітебного ландшафту

малоповерхової забудови, який представлений приватними садибами містять ландшафти сільськогосподарського призначення, адже території мають огороди.

Аквально-антропогенні комплекси представлені в місті двома водними об'єктами р. Сіверський Донець та Чугівкою, які значною мірою є зміненими в межах міста. Такі типи ландшафту сприяють розвитку рекреаційних зон та формуванню мезо- і мікроклімату в місті.

Дослідження територіальної структури урболандшафту м. Чугуїв показало суттєве функціональне, просторове різноманіття та важливість реалізації концепції зелено-блакитної інфраструктури.

2.2. Зелена інфраструктура

2.2.1 Просторова диференціація зеленої інфраструктури у місті Чугуїв

М. Чугуїв є малим містом в Харківській області, яке засновано у 1638 році як центр військових поселень [121]. На цьому місці було побудовано Чугуївську фортецю. Характерною особливістю м. Чугуїв те, що воно єдине в Україні, де збереглась структура планування та регулярна забудова центру військових поселень. Населення міста становить 32 тисячі 290 осіб [101], площа - 12,77 км². Догляд за зеленими насадженнями, що знаходяться в межах зон загального користування, здійснює комунальне підприємство «Чугуївський комунальний комплекс». Загальна площа зелених насаджень в місті становить 1455,3 га, з них: зелені насадження загального користування становлять 985,5 га. Площа, яку займають парки в межах міста - 127,9 га, площа скверів - 10,5 га.

Відповідно до “Стратегії розвитку міста Чугуєва на 2018- 2028 роки” [122] проблематику озеленення міста виділено як стратегічну ціль 4: Недостатній рівень благоустрою та безпеки міського публічного простору.

Згідно “Стратегії...” для забезпечення збільшення рівня благоустрою в м. Чугуїв має відбутись: створення комплексної програми з озеленення міста, озеленення парків та скверів, проведення заходів з реконструкції газонів, закупівля дерев, кущів, квітників, насіння трави. Фінансування комплексної програми з озеленення м. Чугуїв має відбуватися за рахунок місцевого, обласного та державного бюджету, а також за рахунок грантових коштів. Станом на серпень 2024 року ця програма ще на стадії розробки.

Відповідно до ДБН.2.2-12:2019 [73] в місті Чугуїв наявні всі об’єкти мережі ландшафтних та рекреаційних територій міста, а саме:

- території загального користування, які представлені: парками, скверами та бульварами;
- території обмеженого використання, представлені: ділянками прибудинкової території, території виробництв та культурної спадщини;
- території спеціального призначення, що представлені в місті санітарного-захисними зонами вздовж автошляхів;
- території сільськогосподарського призначення.

Відповідно до плану зонування міста Чугуїв за 2021 (Додаток Д) здійснено інвентаризацію різних типів екологічної інфраструктури міста:

- сірої інфраструктури, в яку входять житлові будинки, промислові об’єкти, дорожні елементи;
- блакитна інфраструктура, яка в місті представлена річкою Сіверський Донець та річкою Чугівка;
- зелена інфраструктура, з об’єктами загального та спеціального користування та рекреаційними зонами (рис. 2.6).

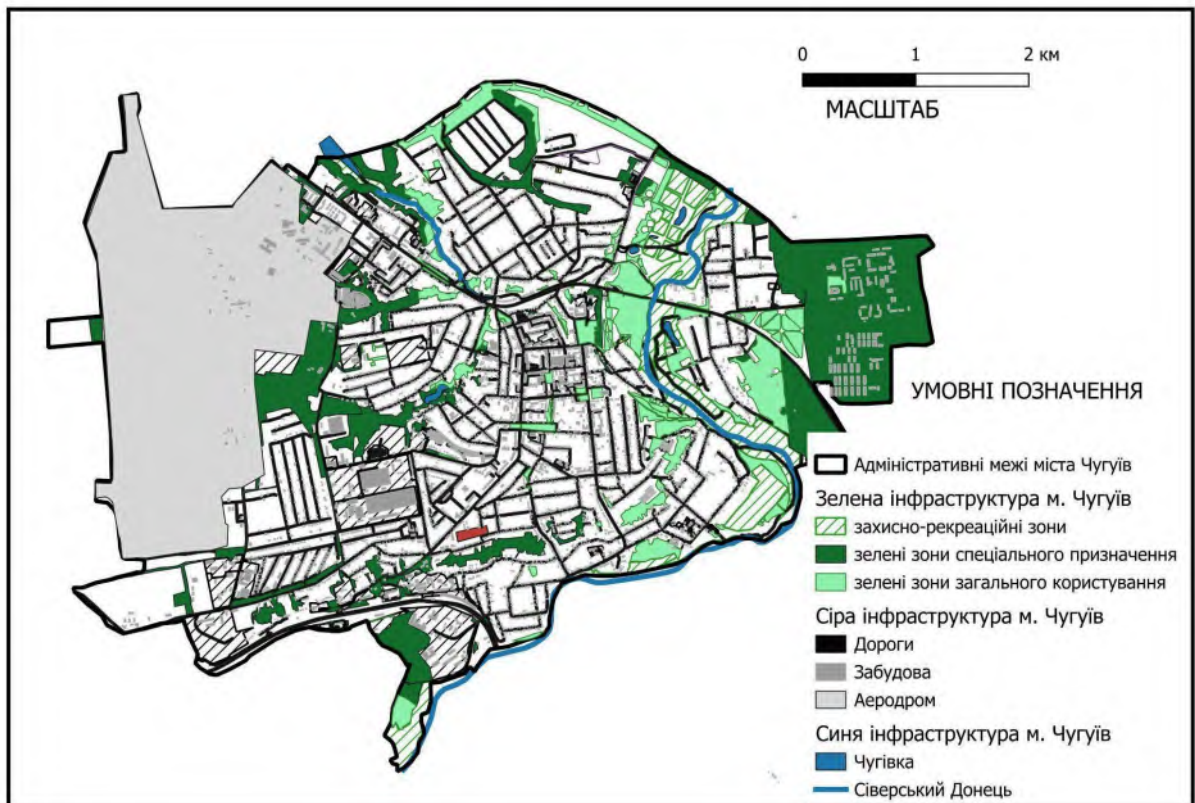


Рис. 2.6. Інвентаризація екологічної інфраструктури міста Чугуїв

Джерело: розроблено автором

В межах зелених зон загального використання в місті Чугуїв можна виділити такі об'єкти: міський парк культури та відпочинку імені І. Ю. Рєпіна; парк Закоханих; алея Пам'яті; сквер Слави; парк Мелодія; сквер на Центральному бульварі; сквер Чугуївський (рис. 2.7).

Міський парк культури та відпочинку імені І. Ю. Рєпіна розташований в центральній частині міста. Парк було закладено у 1944 році до 100-річчя з дня народження Іллі Рєпіна [123].

Площа парку становить 1,7 га. Парк представлений деревними рослинами - ялинами блакитними, акаціями, липою звичайною, кінським каштаном, трав'яний покрив представлено природним різноманіттям - бодяк польовий, ромашка пахуча, ковила звичайна, типчак тощо.

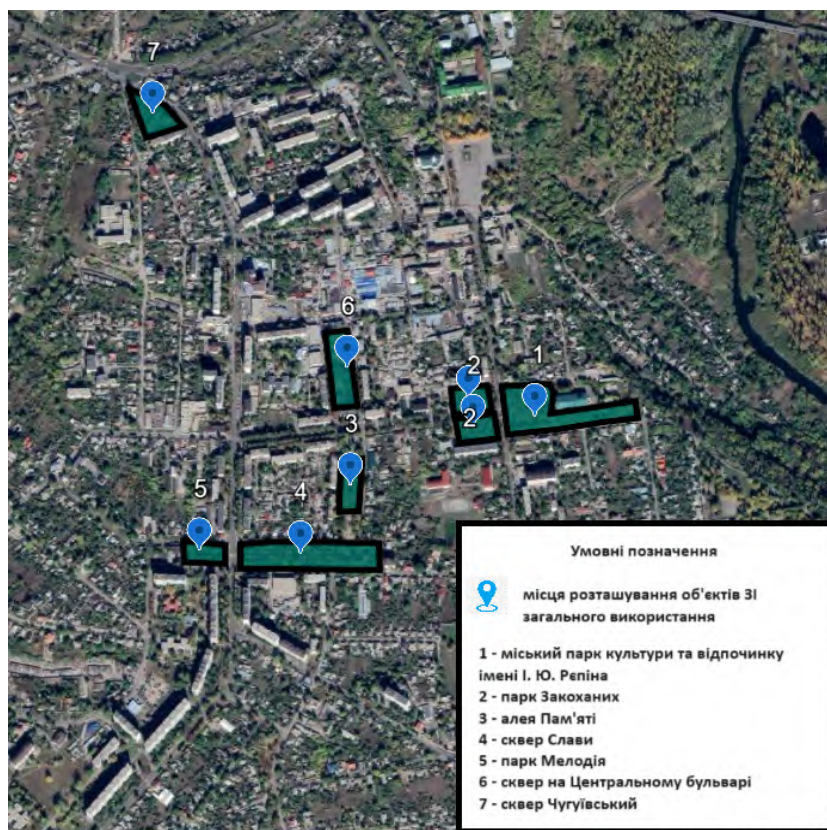


Рис. 2.7. Схема розташування об'єктів зеленої інфраструктури загального користування

Джерело: розроблено автором

Парк Закоханих - наймолодший парк в місті Чугуїв розташований в центральній частині міста поруч з парком І. Ю. Рєпіна, його площа становить 0,45 га. Центральним об'єктом парку є клумба, яка представлена однолітніми квітковими рослинами - петуніями, багаторічні рослини представлені шалфеєм блискучим та ценерією срібною. Деревні рослини в парку Закоханих: переважаючим видом є кінські каштани, поодинокі ялини блакитні.

Алея Пам'яті має площу 0,5 га. Розташована теж у центральній частині міста. Алея представлена клумбами з однорічними рослинами, зокрема петуніями, до багаторічних рослин можна віднести іриси, які посаджені вздовж тротуару. Деревні рослини: клен ясенелистий, дуб звичайний.

Сквер Слави - один з найбільших об'єктів загального користування в місті його площа становить 1,72 га. Об'єкт також розташований в центральній частині міста. В сквері майже повністю відсутнє газонне покриття, та слабо виражений ярус кущів, який представлено бірючиною звичайною у якості живоплоту обабіч дороги. Найбільш вираженим є ярус дерев, який представлено кленами, каштанами кінськими.

Парк Мелодія наймолодший парк в місті Чугуїв. Його площа становить 0,38 га. Газонне покриття в парку повністю відсутнє як і кущі. Деревостан представлено монопосадкою клена.

Сквер на центральному бульварі (0,82 га) сформовано переносними клумбами з однорічними петуніями, газон представлений конюшиною звичайною, подорожником, ялинами блакитними, кленами.

Сквер Чугуївський - єдиний об'єкт загального використання в місті, що знаходиться не в центральній частині міста. Сквер було облаштовано у 1950-х роках. Деревостан представлений кінськими каштанами, кленами, березами.

Більшість парків і скверів, розташованих у центральній частині міста, мають невелику площу, проте вважають важливу роль у забезпеченні мешканців рекреаційними територіями. Переважаючими видами деревних рослин є кінський каштан, клен, ялина блакитна, що надає паркам характерну дендрологічну структуру. Трав'яний покрив представлений як однорічними, так і багаторічними рослинами, що сприяє підтриманню біорізноманіття. Поруч з історичними об'єктами, такими як парк імені І. Ю. Рєпіна та сквер Слави, створено нові паркові зони, такі як парк Закоханих і парк Мелодія.

Окрему увагу варто звернути на обмежену присутність газонного покриття та декоративних кущів у деяких парках, що може бути перспективним напрямком для подальшого благоустрою.

Для визначення забезпеченості об'єктами зеленої інфраструктури в місті Чугуїв оцифровано території, які віднесено до об'єктів ЗІ: сквери, парки, алеї, поодинокі дерева, захисні лісосмуги, клумби тощо. Для

оцифрування території ЗІ використано відкриті дані OSM з ключами landuse та тегами: allotments, forest, meadow, orchard тощо та супутникові знімки, на яких було додатково розпізнано об'єкти як зелені зони міста та оцифровано вручну. Таким чином, створено цифрову картографічну модель м. Чугуїв (рис. 2.8).

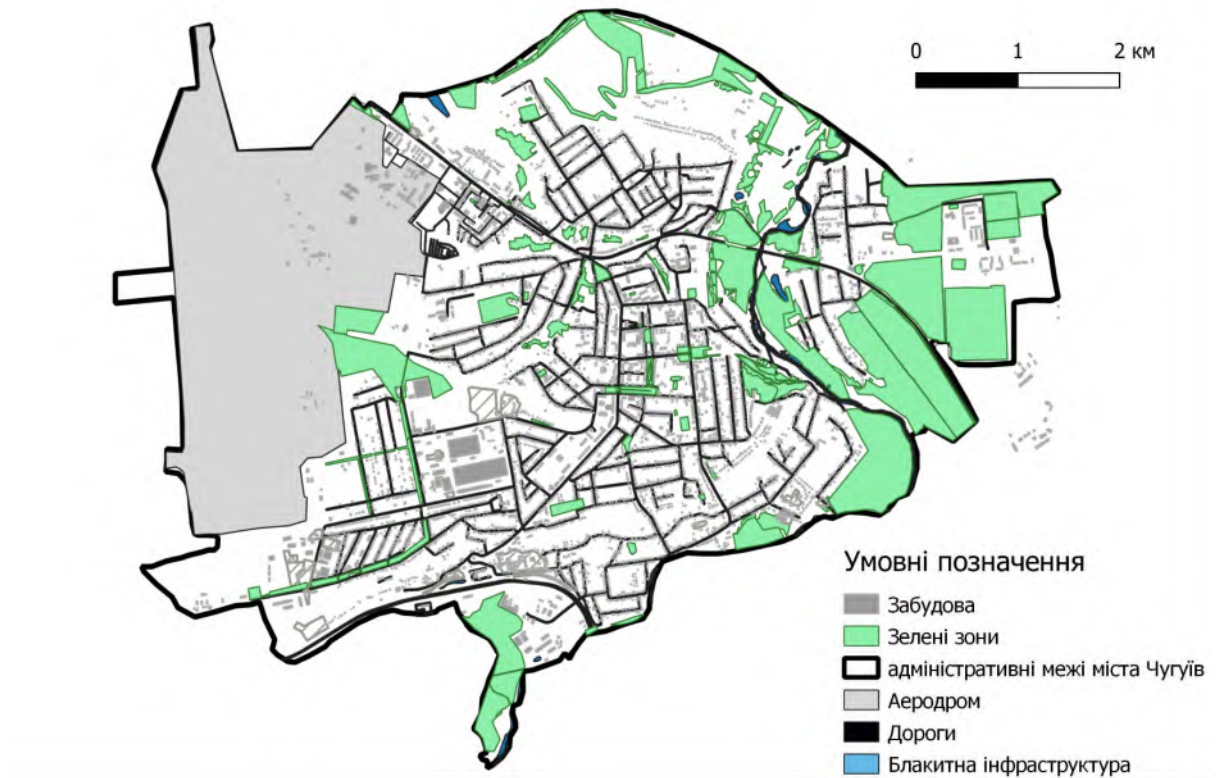


Рис. 2.8. Цифрова картографічна модель м. Чугуїв

Джерело: розроблено автором

Для визначення забезпеченості населення зеленою інфраструктурою, за допомогою плагіну Calculate Geometry в програмному забезпеченні Qgis обраховано площу зелених зон міста - вона становить 8,93 та за формулою 1.1 розраховано зелений індекс, який складає 27,6 м² на одну особу.

Порівнюючи показник з нормами запропонованими ВООЗ. можна констатувати, що Чугуїв не відповідає нормам і місто є недостатньо озелениним, що підтверджує гіпотезу про необхідність розширення зеленої

інфраструктури міста за рахунок озеленення вже наявних територій та пошуків територій з можливістю вертикального озеленення.

2.2.2 Геоботанічна характеристика об'єктів зеленої інфраструктури

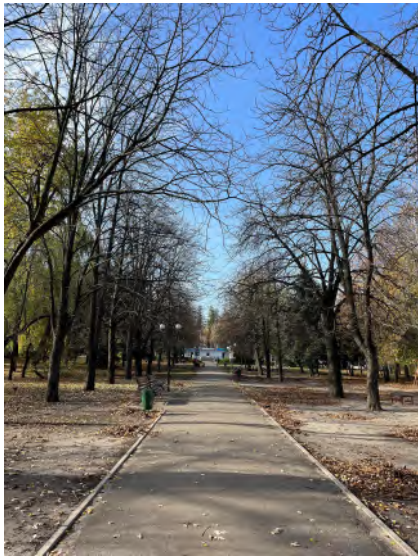
Оцінка стану біорізноманіття дернового покриву має на меті визначити домінуючі види природного рослинного угруповання, що дозволить в подальшому визначити відповідні види для висаджування напів природних газонах для забезпечення стійкості території [124].

З метою оцінки стану природного біорізноманіття природних газонів в місті Чугуїв проведено польове геоботанічне дослідження. Для проведення дослідження обрано один з основних геоботанічних методів - власне флористичне дослідження, яке націлено на збір та ідентифікацію рослин на території дослідження та подальшого визначення флористичного складу та просторового розподілу рослин.

Для точності ідентифікації видів рослинних угруповань використано застосунок PictureThis. Цей застосунок працює на основі штучного інтелекту, миттєво розпізнає та ідентифікує рослини за фотографіями, застосунок є зручним у використанні та підходить для проведення геоботанічних досліджень.

На дослідній ділянці закладено польове дослідження восени 2023 року. На території міста обстежено природні газони в різних куточках міста.

Перша пробна ділянка закладена на алеї Слави (рис. 2.9) В ході дослідження виявлено, що на алеї Слави штучно висаджені такі види дерев: ялина блакитна (*Picea pungens* Engelm.), гіркокаштан (*Aesculus hippocastanum*), липа американська (*Tilia americana* L.), верби (*Salix* L.) та живопліт сформований бірючиною звичайною (*Ligustrum vulgare*) та ялівцем козацьким (*Juniperus sabina* L.). Переважаючим видом дерев у парку є гіркокаштан.



а) вигляд алеї



б) клумба на алеї з козацького ялівцю

Рис. 2.9. На алеї Слави

Джерело: зроблено автором

У Сквері героям Афганістану (рис. 2.10) деревостан представлено: вільхою (*Alnus Mill.*), дубом звичайним (*Quercus robur L.*), ялиною блакитною (*Picea pungens Engelm.*). На території скверу розташовано декілька клумб на яких представлені іриси (*Iris*), колосняк піщаний (*Leymus arenarius*). Клуби вздовж огорожені живоплотом з бірючини звичайної (*Ligustrum vulgare*).

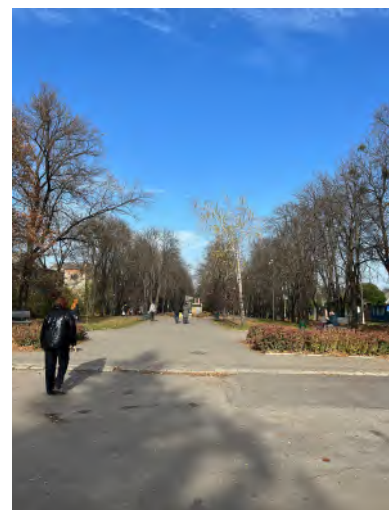
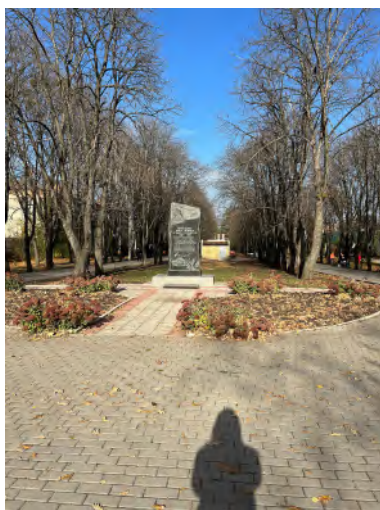
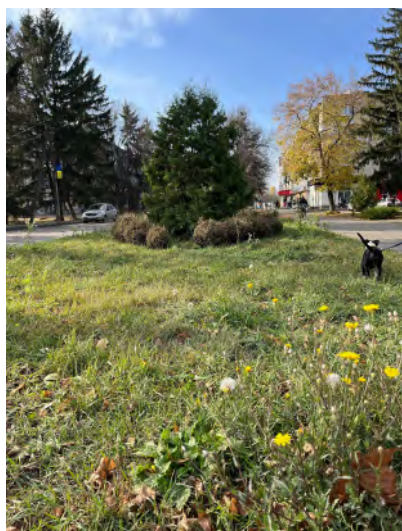


Рис. 2.10. У сквері героям Афганістану

Джерело: зроблено автором

Біля адмінбудівлі (рис. 2.11) розташована клумба, з природним різнотрав'ям: ковила звичайна (*Stipa ucrainica*), кульбаба (*Taraxacum*), злинка однорічна (*Erigeron annuus*), в середині клумби засаджено козацький ялівець (*Juniperus sabina L.*). Поблизу розташована алея вздовж якої посаджені гіркокаштани (*Aesculus hippocastanum*), липи американські (*Tilia americana L.*) та берези (*Bétula*).



а) вид клумби



б) представники різнотрав'я

Рис.2.11. Клумба біля адмінбудівлі

Джерело: зроблено автором

Парк на вулиці Кожедуба (рис. 2.12) має два яруси деревний та трав'яний. В першому наявні - клени (*Acer L.*), гіркокаштани (*Aesculus hippocastanum*), ялина блакитна (*Picea pungens Engelm.*), ялівець звичайний (*Juniperus communis L.*). Трав'яний ярус - природним різнотрав'ям - ковилою звичайною (*Stipa ucrainica*), кульбабою звичайною (*Taraxacum*), подорожники (*Plantago major L.*).



а) газон



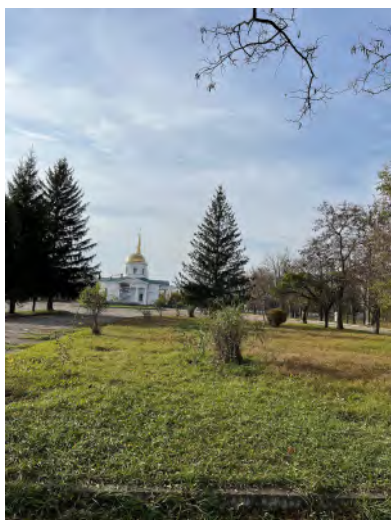
б) ялівець

Рис. 2.12. Парк по вулиці Кожедуба

Джерело: зроблено автором

В парку поруч (рис. 2.13) з площею Соборною клумба сформована природним газонним покриттям: конюшина (*Trifolium*), тисячolistник (*Achillea unundata Kondr.*), льнянка (*Linaria vulgaris*), мишій зелений (*Setaria viridis*), подорожник (*Plantago major L.*) та ковилою звичайною (*Stipa ucrainica*). Підлісок - кущами ялівцю (*Juniperus communis L.*). Основні породи дерев - ясен пенсільванський (*Fraxinus pennsylvanica L.*), туями західними (*Thuja occidentalis*), акаціями (*Robinia pseudoacacia*), кленами (*Acer L.*) та ялинами (*Picea*).

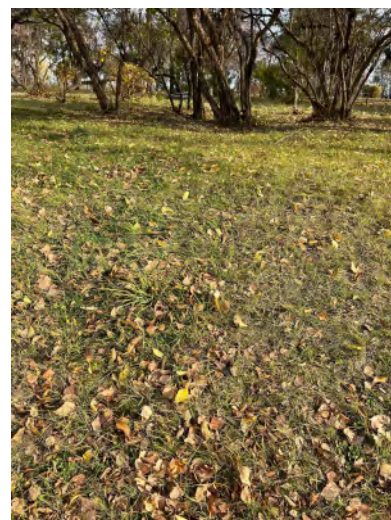
Одним з цікавих об'єктів зеленої інфраструктури є об'єкт вертикального озеленення у вигляді дикого винограду трилистого (*Parthenocissus tricuspidata*) (рис. 2. 14).



а)ярус дерев



б) ярус підліску



в)трав'яний ярус

Рис. 2.13. На Соборній площі

Джерело: зроблено автором



Рис. 2.14. Зелена стіна з дикого винограду п'ятилистого

Джерело: зроблено автором

Ця рослина є чудовим інструментом для створення вертикального озеленення, адже вона має такі переваги:

- невибагливість до умов зростання як до ґрунтового покриття так і до освітленості;
- вічнозелена рослина;

- чіпка рослина, яка здатна зростати на будь-якому покритті;
- легко розмножується;
- стійкий до хвороб та шкідників [125].

Геоботанічне обстеження міста Чугуїв дозволило визначити домінуючі види в місті серед деревних рослин: липа американська (*Tilia americana* L.), клени (*Acer* L.), ялина блакитна (*Picea pungens*), акація (*Robinia pseudoacacia*), каштан звичайний (*Aesculus hippocastanum*). Ярус кущів у місті представлено: бірючиною звичайною (*Ligustrum vulgare*), ялівець козацькими (*Juniperus sabina*). Газони в місті представлені дикорослими рослинами, зокрема: кульбаба звичайна (*Taraxacum officinale*), конюшина (*Trifolium* spp.), ковила (*Stipa* spp.) та подорожники (*Plantago* spp.).

2.3 Блакитна інфраструктура території м. Чугуїв

2.3.1 Просторова диференціація водних об'єктів у м. Чугуїв

Блакитна інфраструктура в місті Чугуїв представлена двома лінійними гідрологічними об'єктами. Річка Сіверський Донець є найбільшим водним об'єктом, який оточує територію міста та має важливе рекреаційне значення. Річка Чугівка є правою притокою річки Сіверський Донець і протікає територією міста.

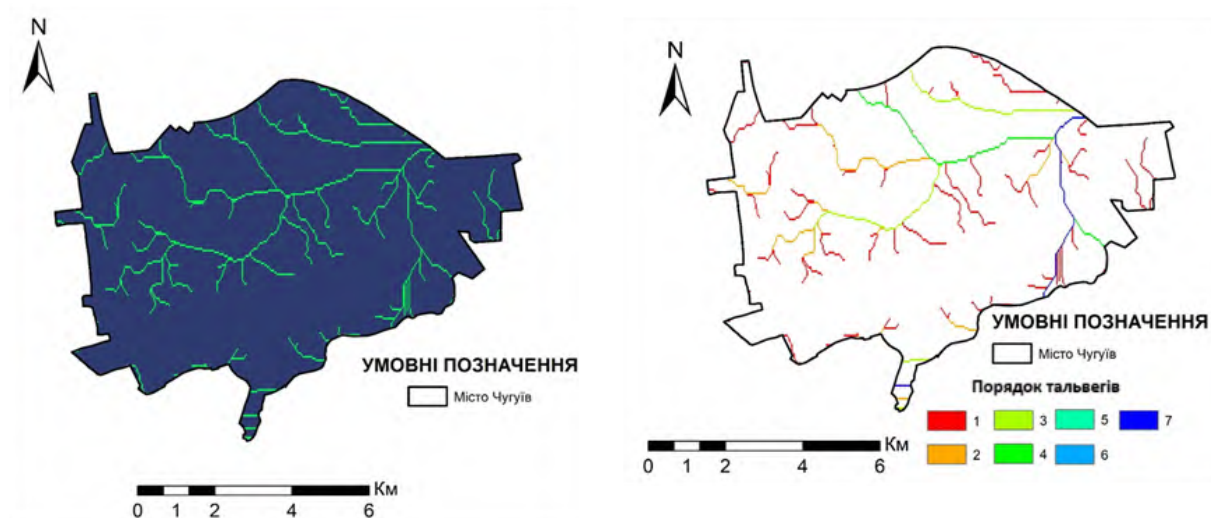
Сіверський Донець є найбільшою річкою Східної України. Має транскордонний характер та є найбільшою притокою Дону. Водний об'єкт є типовим представником рівнинних річок. Відноситься до першого типу - річки розчленованих долин [126]. Відповідно до площі басейну річки 54,4 тис. км² - за розміром належить до великих річок.

Відповідно до гідрологічного районування територія дослідження відноситься до зони недостатньої водності. Живлення річки відбувається головним чином за рахунок весняного сніготанення [127].

Сіверський Донець кантує територію з південної частини міста. Відстань від гирла до міста Чугуїв становить 837 км.

Річка Чугівка є правою притокою Сіверського Дінця. Бере свій початок в Кам'яній Ярузі (селище Чугуївського району). Довжина річки 7,2 км, тече у південно-східному напрямку. В межах території дослідження розташовується на північно-східній околиці міста. Річка за площею басейну відповідає градації малої. Русло річки є трансформованим. Третину площі водозбірного басейну займає міський ландшафт, що представлений селітебним ландшафтом малої забудови та дорожно-ліїним типом.

Загальне уявлення про просторову структуру водозбірного басейну в межах території міста Чугуїв можна скласти з рис. 2.15 на яких представлено місця потенційного накопичення поверхневого стоку (рис.2.15 а) та порядок тальвегів рельєфу (рис.2.15 б).



а) Місця потенційного накопичення поверхневого стоку

б) Порядок тальвегів за класифікацією Хортон-Стралера

Рис. 2.15. Структура водозбірного басейну м. Чугуїв

В місті Чугуїв можна виділити сім порядків тальвегів. Найбільш поширеними є тальвеги першого порядку, що є найменшими водотоками, які

збирають поверхневий стік та формують початок більших потоків, мають розгалужену систему. Вони мають тимчасовий характер, тобто їх активність припадає на період сніготанення та період рясних опадів.

Тальвеги другого та третього порядку формуються при злитті двох тальвегів меншого порядку, мають короткочасно концентрують у собі поверхневий стік та мають сезонний характер. Вони здатні визначати інтенсивність процесів ерозії. Тальвеги четвертого порядку є більш стійкими водотоками та на території дослідження представлені малою річкою Чугівкою. Тальвег сьомого порядку відповідає руслу р. Сіверський Донець, та є таким, що формує гідрологічний режим території дослідження.

2.3.2 Структура і динаміка поверхневого стоку в урболандшафтах м. Чугуїв

Поверхневий стік у межах урбосередовища є чинником формування не лише екологічного стану міста, а й водного балансу міського середовища. Характеристика поверхневого стоку є поєднанням природних та антропогенних чинників, зокрема кліматичних умов, гідрографічної мережі, морфологічних особливостей рельєфу, типом підстилаючої поверхні, рівнем урбанізації та особливостями просторової організації міського середовища.

Урбанізоване середовище змінює природну динаміку поверхневого стоку, збільшуючи швидкість відтоку води, знижуючи рівень її інфільтрації та посилюючи ерозійні процеси. Ключовими структурними елементами формування поверхневого стоку на території міста є атмосферні опади та їх розподіл, співвідношення непроникних поверхонь та відкритих ґрунтів, ливнева каналізація, наявність зелених зон, що здатні затримувати поверхневий стік.

У межах міської території Чугуєва поверхневий стік формується під впливом нерівномірного розподілу опадів, особливо за рахунок зливових

дощів і періодів сніготанення, які створюють пікові навантаження на систему водовідведення, яка у місті є слаборозвиненою, в першу чергу через давню історію створення міста. Значну роль у регулюванні стоку відіграє гідрографічна мережа міста, представлена річкою Сіверський Донець та її притокою р. Чугівкою, які забезпечують функцію природного дренажу. Водночас велика площа водонепроникних поверхонь, таких як асфальтове покриття доріг, тротуарів, дахів, завдяки швидкому переміщенню водних потоків може призвести до підтоплення у знижених ділянках рельєфу.

Сезонна динаміка поверхневого стоку в Чугуєві відзначається виразною циклічністю. Навесні, у період танення снігу, відбувається максимальне водне навантаження, що створює ризики для низинних районів міста, що переважно характерні для селітебного типу малоповерхової забудови. У літній період характерною є нерівномірність стоку, зумовлена короткочасними, але інтенсивними зливами, які можуть спричинити ерозійні процеси та локальні підтоплення. Осінній сезон супроводжується поступовим зменшенням обсягу поверхневого стоку за рахунок зниження кількості опадів. Взимку велика кількість опадів накопичується у формі снігового покриву, а процеси утворення стоку відтермінуються до весняного періоду за рахунок промерзання поверхні.

З метою оцінки динаміки поверхневого стоку м. Чугуїв було проведено дослідження з урахуванням кількості опадів та територіальної структури міста, яка визначає коефіцієнт стоку (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Коефіцієнт стоку в залежності від типу поверхні [128]

Вид поверхні	Відповідність типу антропогенного ландшафту	Коефіцієнт стоку
Покрівлі та асфальтобетонні покриття доріг	лінійно-дорожний	0,85
Газони	рекреаційні	0,10
Квартали з сучасною забудовою	селітебні	0,4-0,5

Продовження таблиці 2.3

Території промислових підприємств	промислові	0,8
квартали міст без дорожнього покриття	аглоландшафти	0,2

Для того, щоб відобразити здатність проникності поверхні на території міста Чугуїв здійснено ранжування проникності поверхні та зображено на рис. 2.16. Виділено 4 категорії проникності поверхні:

- висока - така проникність характерна для територій представлених відкритими ґрунтами з наявним газонним покриттям або деревною рослинністю, які здатні поглинати та затримувати поверхневий стік, а також його просочувати;
- середня - характерна для територій з наявним рослин покривом, проте з ущільненим ґрунтовим покривом, в місті це представлено агроландшафтами;
- низька - характерна для територій під забудовою, ці території містять непроникну поверхню, проте поруч з ними наявні ділянки з відкритими поверхнями, що частково здатні поглинати поверхневий стік;
- відсутня - характерна для суцільно заасфальтованих поверхонь, які є повністю непроникними.

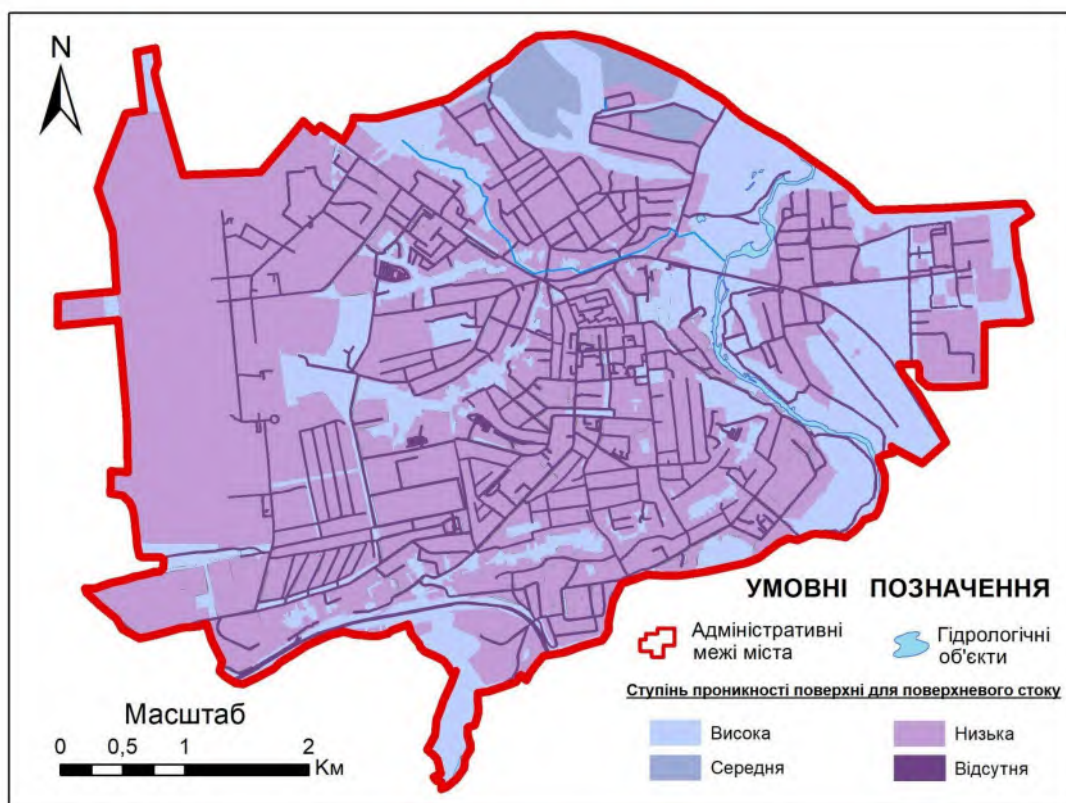


Рис. 2.16. Ступінь проникності поверхні території м. Чугуїв за [128]

Джерело: за автором

В місті Чугуїв переважають ділянки з низьким ступенем проникнення поверхневого стоку, що характеризує територію як таку, що не поглинає в себе поверхневий стік, а переміщує його у водні об'єкти міста. Найбільш непроникні поверхні збігаються з такими типами антропогенних ландшафтів: селітебним, белігеративним, лінійно-дорожнім та промисловим. Це може слугувати причиною забруднення поверхневих вод р. Сіверський Донець та Чугівки, адже промислові та белігеративні ландшафти є потенційними забрудниками.

Методика [128] дозволяє визначити ділянки в яких поверхневий стік буде просочуватись, а де залишатись та переноситись в поверхневі водойми, проте дана методика не враховує розташування ділянок проникаючих та непроникаючих поверхонь у відношенні до рельєфу місцевості. Адже саме

рельєф поверхні визначає місця накопичення поверхневого стоку та місця їх прискореного руху.

Для визначення об'єму поверхневого стоку, який стікає з різних типів антропогенних ландшафтів використано формулу 1.20, в якій за кількість опадів (h) прийнято середнє значення кількості опадів за останні 50 років, що становить 496,5 мм, адже за останні три роки немає доступних узагальнених усереднених даних за територією дослідження через військовий стан. Результати розрахунку об'єму представлено на рис. 2.17 та рис. 2.18.

Аналіз об'єму поверхневого стоку (рис. 2.17) для різних типів антропогенних ландшафтів показує, що найбільший рівень стоку формується в окремих селітебному типі малоповерхової забудови ($2752344,2 \text{ м}^3$), що пов'язано з великою площею забудови, недостатнім рівнем дренажу та високим коефіцієнтом стоку. Значні обсяги стоку також характерні для белігеративних ($1863695,8 \text{ м}^3$), промислових ($1132022,9 \text{ м}^3$) та лінійно-дорожніх ландшафтів ($1376353,4 \text{ м}^3$), де велика частка водонепроникних поверхонь, таких як асфальт і бетон, не дозволяє природним чином поглинатися поверхневому стоку. Найменший об'єм поверхневого стоку формується в рекреаційних ($2783118,75 \text{ м}^3$), захисно-рекреаційних та агроландшафтах ($68774,3 \text{ м}^3$), що є свідченням того, що рослинний покрив активно утримує вологу, знижуючи рівень поверхневого стоку. Ці результати підкреслюють важливість розвитку зеленої інфраструктури та вдосконалення системи водовідведення, що сприятиме зменшенню негативних наслідків урбанізації та запобіганню підтопленню.

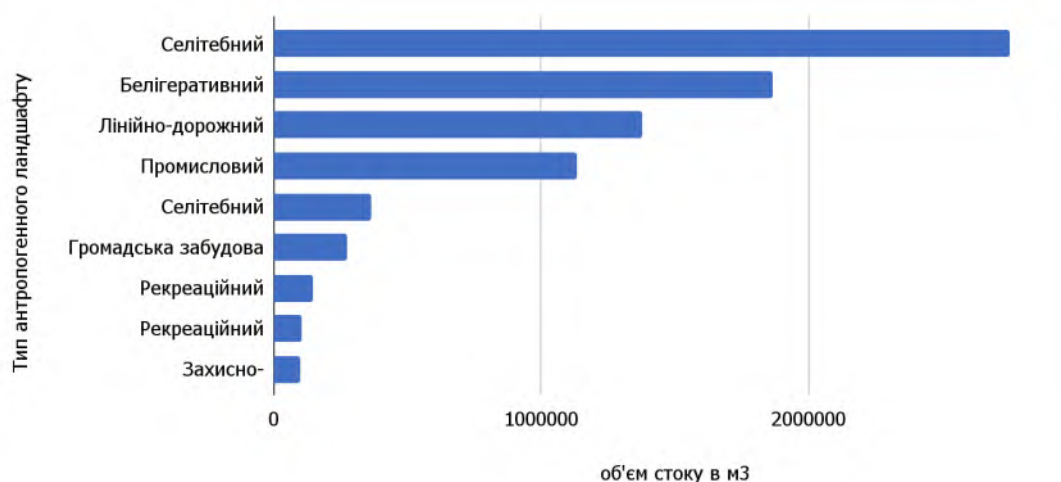


Рис. 2.17. Об'єм накопиченого поверхневого стоку з різних типів антропогенних ландшафтів

Розрахунок об'єму поверхневого стоку з усіх типів (рис.2.18) та підтипів антропогенних ландшафтів міста визначив загальну картину накопичення поверхневого стоку: селітебний малоповерховий тип збирає в собі 33,62%, белігеративний - 22,77%, лінійно-дорожній - 16,81%, промисловий - 13,83%, селітебний багатоповерховий - 4,48%, громадська забудова - 3,36%, рекреаційний спеціального користування - 1,78%, рекреаційний загального користування - 1,29%, захисно-рекреаційний - 1,23%, агроландшафти - 0,84%. Накопичення поверхневого стоку напряму залежить від типу підстилаючої поверхні, якщо місто буде повністю заасфальтоване - поверхневий стік буде накопичуватись та пораяляти у водний об'єкт, враховуючи, що поверхневий стік не просочується саме з селітебного, промислового, белігеративного та лінійно-дорожнього - є свідченням того, що потенційно водні об'єкти будуть забруднені через потрапляння в поверхневий стік забруднюючих речовин, в тому числі нафтопродуктами. З рекреаційного типу ландшафту накопичується менше поверхневого стоку через поглинання та затримку рослинами.

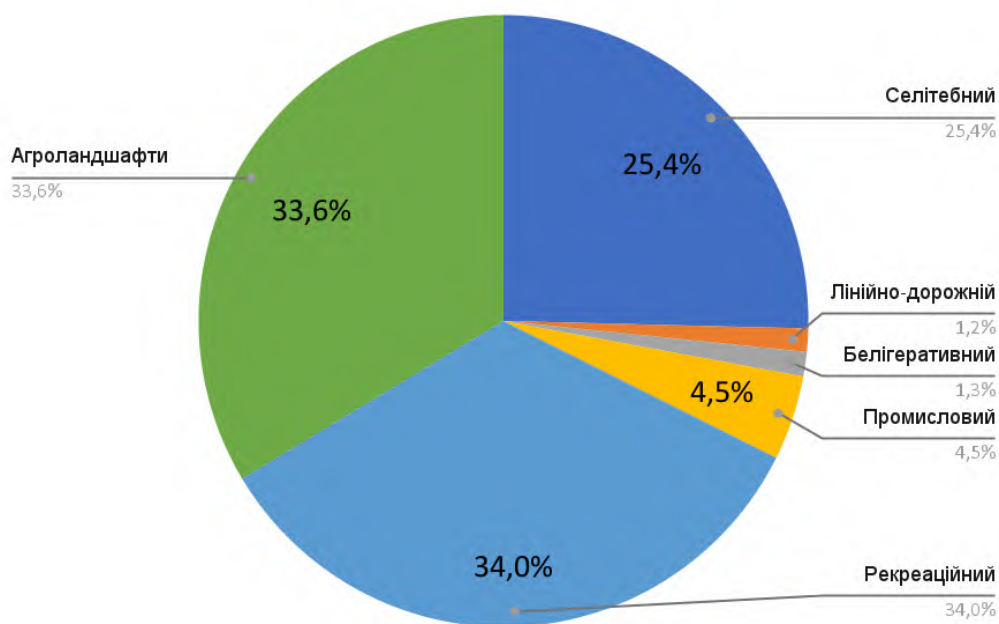


Рис. 2.18. Розподіл поверхневого стоку за типами антропогенних ландшафтів

З огляду на значний рівень урбанізації та недостатню ефективність існуючих дренажних систем, регулювання поверхневого стоку у м. Чугуїв потребує впровадження сучасних методів управління поверхневим стоком, зокрема розвитку зелено-блакитної інфраструктури.

Оптимізація управління поверхневим стоком сприятиме підвищенню екологічної стійкості міського середовища та зниженню ризиків негативного впливу від поверхневого стоку.

Висновки до другого розділу

1. У м. Чугуїв виділено і обраховано площі природних ландшафтів: заплашний (27,55% території міста), борово-терасовий (9%), лесово-терасовий (48,3%), яружно-балковий (8,98%) та прирічковий (6,17%). Основні типи антропогенних ландшафтів: селітебні (33,66%), рекреаційні (22,99%), белігеративні (17,37%), промислові (10,55%), лінійно-дорожні (12,08%), агроландшафти (2,54%), аквально-антропогенні (0,8%).

2. Зелена інфраструктура у місті представлена 7-а об'єктами загального користування, озелененими ділянками прибудинкових територій та узбіччями доріг. Забезпеченість населення міста ЗІ становить 27,6 м² на одну особу, що є недостатнім за рекомендацією ВООЗ.

3. Геоботанічне обстеження зелених зон загального користування м. Чугуїв дозволило визначити домінуючі види рослин у місті це: липи американські (*Tilia americana* L.), клени (*Acer* L.), ялина блакитна (*Picea pungens*), акація (*Robinia pseudoacacia*), каштан звичайний (*Aesculus hippocastanum*), бірючина звичайна (*Ligustrum vulgare*), ялівець козацький (*Juniperus sabina*), кульбаба звичайна (*Taraxacum officinale*), конюшина (*Trifolium* spp.), ковила (*Stipa* spp.) та подорожник (*Plantago* spp.).

4. Блакитна інфраструктура в місті Чугуїв представлена двома постійними водотоками - річками Сіверський Донець, та його правою притокою - річкою Чугівкою та тимчасовими водотоками, що виникають на тальвегах балок.

5. В структурі водозбірному басейну Сіверського Донця у межах міста виділено тальвеги до сьомого порядку, при цьому - тальвеги другого та третього порядку збирають поверхневий стік і сприяють ерозії ґрунтів, тальвег четвертого порядку формує долину р. Чугівка, а водозбір Сіверського Дінця формується тальвегами сьомого порядку.

6. Аналіз умов розподілу стоку в м. Чугуїв показав, що більша частина міста (94,86%) має непроникну поверхню, що сприяє інтенсивному

поверхневому змив та підтоплення понижених ділянок рельєфу. Це зумовлює потребу в створенні об'єктів ЗБІ, які здатні відводити поверхневий стік.

7. Найбільша кількість поверхневого стоку накопичується з селітебного типу ландшафту та становить 2752344,1 м³, белігеративний тип накопичує - 1863695,7 м³, лінійно-дорожній тип - 1376353,4 м³, найменшу кількість поверхневого стоку накопичують агроландшафти - 68774,3 м³ та рекреаційний тип ландшафту - 2783118,75 м³.

8. Визначено об'єм і розподіл поверхневого стоку в урболандшафтах: селітебний малоповерховий тип збирає в собі 33,62% , белігеративний - 22,77 %, лінійно-дорожній - 16,81%, промисловий - 13,83%, селітебний багатоповерховий - 4,48%, громадська забудова - 3,36%, рекреаційний спеціального користування - 1,78%, рекреаційний загального користування - 1,29%, захисно-рекреаційний - 1,23%, агроландшафти - 0,84%.

Результати проведених наукових досліджень, викладених у розділі 2, опубліковані у наукових працях автора [124, 129-131].

РОЗДІЛ 3.

ЛАНДШАФТНО-ЕКОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ КОРИГУВАННЯ СТРУКТУРИ І ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ ЗЕЛЕНО-БЛАКИТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ У М. ЧУГУЇВ

3.1 Моделювання рельєфу для визначення потреб і можливостей затримання поверхневого стоку

Рельєф виконує функцію перерозподілу обсягу поверхневого стоку. Напрямок і інтенсивність стоку зумовлюється експозицією і крутизною нахилу поверхні. У випадку слабого просочування опадів, що зумовлене характером підстильної поверхні надлишкова волога переміщується по схилу та стає причиною водної ерозії, а в урболандшафті ще і створює умови для додаткового забруднення водойми, у яку потрапляє поверхневий стік.

Запобігти цій ситуації може створення об'єктів зеленої інфраструктури в понижених ділянках рельєфу. Прикладом таких об'єктів можуть стати дощові канави, дощові сади, дощові парки. Важливість їх створення, на думку [132] полягає в тому, що вони можуть допомогти зменшити об'єм та потік дощової води, запобігти руйнуванню об'єктів сірої інфраструктури, видаляють забруднюючі речовини з міського поверхневого стоку та здатні поповнювати ґрунтові води. Проте для створення цих об'єктів необхідно точно визначити місця накопичення поверхневого стоку та напрямок його руху, що дозволить затримувати поверхневий стік та отримати максимальний ефект від створення такого об'єкту.

Для пошуку місць, де доцільно створити об'єкти ЗБІ, які будуть виконувати вказані функції використано модель поверхневого стоку. Для її побудови використано растрові супутникові знімки SRTM, які містять інформацію щодо ЦММ. Використано знімок за 23.09.2021 року з геопорталу

Геологічної служби США [90], який має розширення 30*30 метрів, що дає змогу точно моделювати напрямки поверхневого стоку на локальному рівні.

Розроблена модель із загальним виглядом SRTM зображення дала змогу проаналізувати загальний вигляд рельєфу місцевості, знайти каркасні лінії горизонтальних потоків, які відповідають місцям з пониженим рельєфом, тобто заплавам річок, днищу балок та яруг. Найвища точка в місті Чугуїв має позначку 150 м, а найнижча точка - 90 м (рис.3.1).

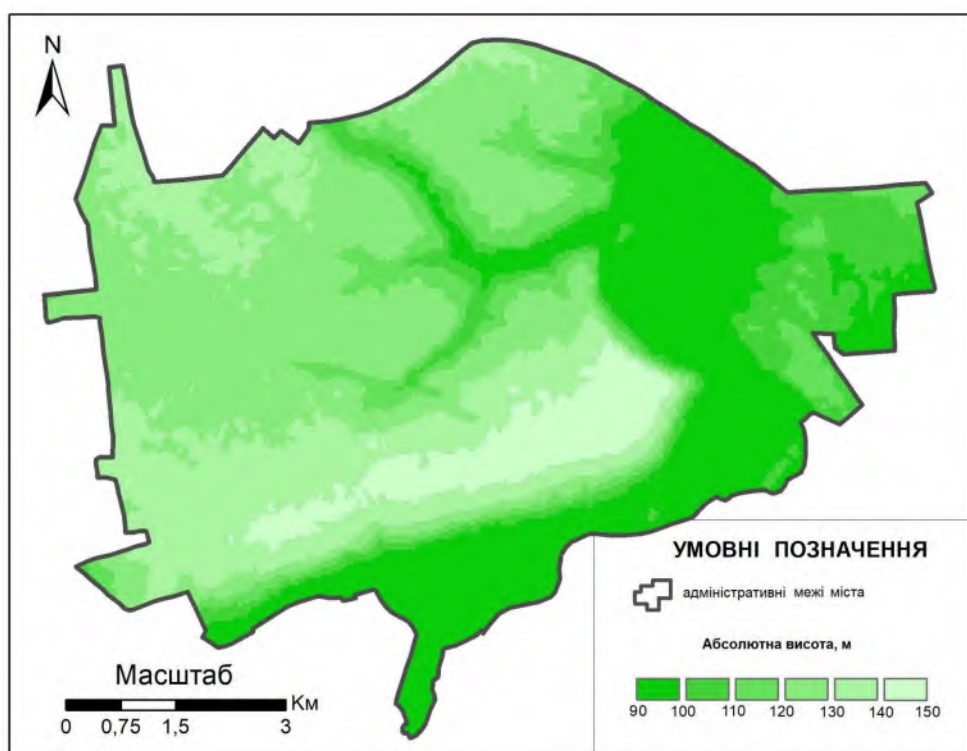


Рис. 3.1. Цифрова модель рельєфу міста Чугуїв

Джерело: розроблено автором

Далі визначено ухили поверхні, що дозволяє визначити ділянки рельєфу з більшою або меншою інтенсивністю поверхневого стоку. Розроблена модель (рис. 3.2) показує, що у місті Чугуїв переважає ухил поверхні від 0 до 1 градуса, що відповідає характеру пологої рівнини. В таких місцях поверхневий стік має найменше прискорення та високу можливість інфільтрувати поверхневий стік у ґрунтовий покрив.

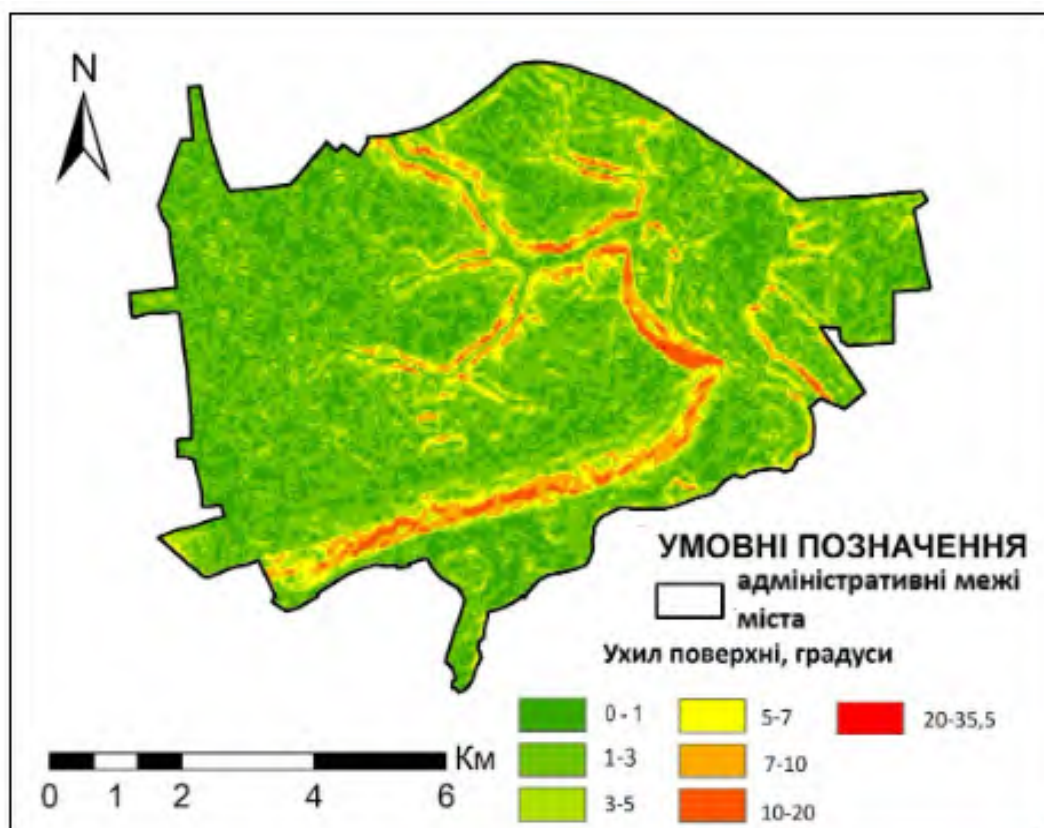


Рис. 3.2. Ухил поверхні міста Чугуїв

Джерело: розроблено автором

Значення ухилу поверхні від 1 до 5 градусів, відповідає значенню долинного типу, що має густо розчленовані яри та балки. Такі ділянки є місцями незначного прискорення поверхневого стоку.

Ділянки з ухилом 10-30 градусів - це місця різкого пришвидшення поверхневого стоку. Головним чином, це прирічковий схил і схили балок.

Найменшу частину території займають ділянки з ухилом поверхні від 30 до 35,5 градусів. Такі місця мають максимальне прискорення поверхневого стоку.

Важливим аспектом дослідження є встановлення напрямку поверхневого стоку. Для цього на основі визначення експозиції схилу, побудовано модель напрямку руху поверхневого стоку, яка дає змогу проаналізувати “поведінку” горизонтальних потоків (рис. 3.3).

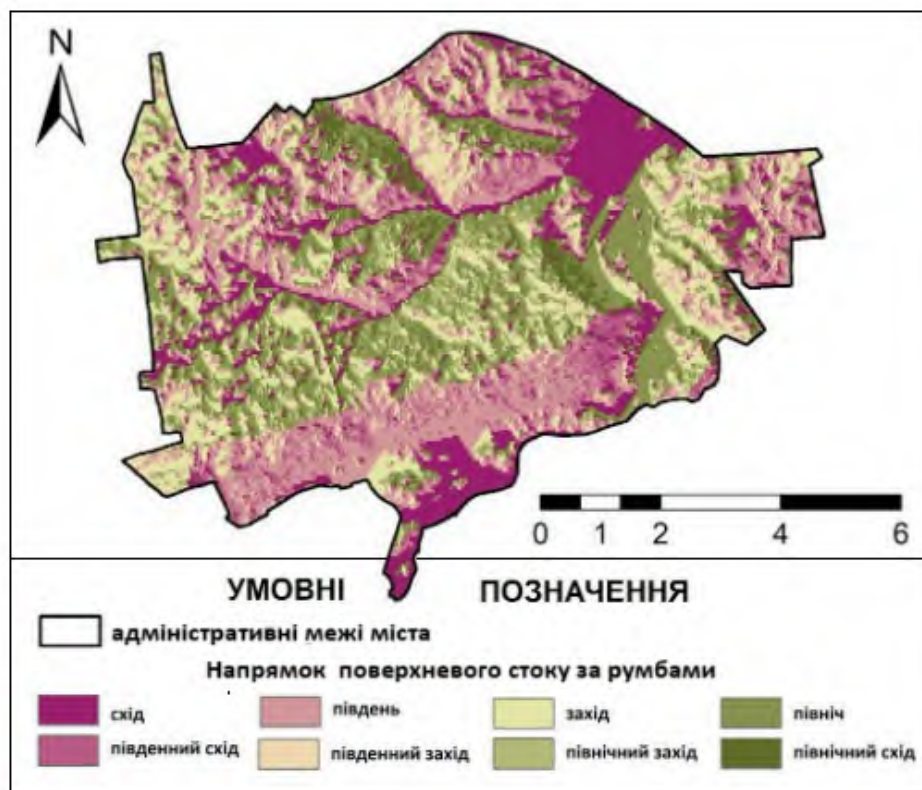


Рис. 3.3. Експозиції схилів рельєфу території м. Чугуїв

Джерело: розроблено автором

Для кращої візуалізації основних напрямків поверхневого стоку побудована картографічна модель (рис. 3.4). Проблемними є ділянки, де напрями стоку збігаються і формують великий обсяг води, наприклад, поблизу злиття потоків у південній частині міста та в центральних низинах.

На основі визначення ділянок з прискореним поверхневим стоком визначено ділянки його потенційної акумуляції, де доцільно створення дощових садків, де природним чином буде відбуватись накопичення води в разі дощової погоди або інтенсивного сніготанення (рис. 3. 5). Ділянки для створення дощових садів обрані в межах селітебного типу ландшафту, що дозволить не тільки компенсувати відсутність сірої інфраструктури у вигляді зливової каналізації, а й створить додаткові об'єкти зелено-блакитної інфраструктури, що слугуватимуть місцями потенційної рекреації.

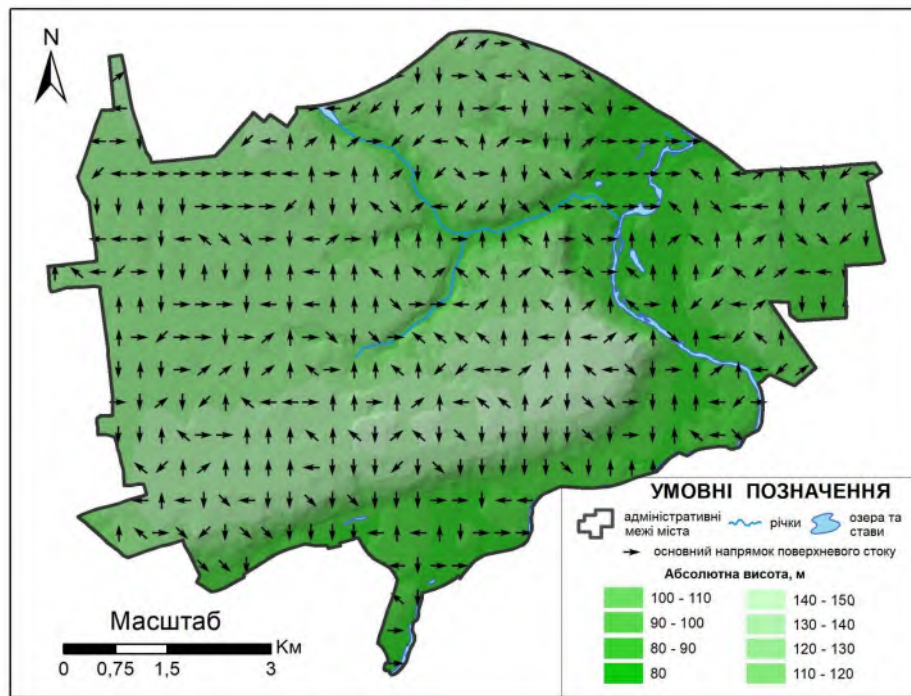


Рис. 3.4. Основні напрямки поверхневого стоку території міста Чугуїв
Джерело: розроблено автором



Рис. 3.5. Рекомендовані локації для створення дощових садків за переважанням поверхневого стоку

Джерело: розроблено автором

До таких ділянок віднесені узбіччя доріг на вулицях 92-ої ОМБр, Перемоги, Музейній, Стадіонній, Давній вал, Нагірній, Івана Нечуй-Левицького, Підгірній, у провулку Відомчий та на площі Захисників Чугуєва. Також виділено осередки у парку культури і відпочинку ім. Іллі Рєпіна, де попри значну кількість дерев, відсутнє газонне покриття і відбувається накопичення поверхневого стоку.

3.2 Дистанційний моніторинг елементів урболандшафту м. Чугуїв

3.2.1 Визначення водного стресу у об'єктах зеленої інфраструктури

Для ефективного управління та коригування наявних об'єктів зеленої інфраструктури важливим є відслідковувати їх стан. Одним з ключових параметрів для нормального функціонування ЗІ є визначення достатності зволоженості або рівня нестачі вологи. Останнє можна визначити за показником водного стресу - індексу NDMI. Це особливо важливо для урбанізованих територій, де мікроклімат та водний режим часто змінюються через щільну забудову. Використання дистанційних методів обстеження території дозволяє не лише охопити всю територію дослідження, а й може бути корисним для стратегічного планування створення нових об'єктів.

Розрахунок індексу нормалізованої різниці вологості (Normalized Difference Moisture Index - NDMI) є інструментом для управління, моніторингу та розвитку зеленої інфраструктури, що дозволяє оцінити рівень водного стресу рослинності, визначити ділянки, що потребують додаткового зрошення, та оптимізувати використання водних ресурсів. Це сприяє ефективному плануванню нових озелених територій, вибору відповідних

видів рослин з урахуванням умов їх зростання, а також для підтримки стану існуючих насаджень та запобігання їх деградації.

Для розрахунку індексу нормалізованої різниці вологості у місті Чугуїв використано супутникові знімки Landsat-8 за різні періоди протягом часу дослідження. Супутникові знімки Landsat-8 мають низку переваг, що роблять їх важливим інструментом для досліджень земної поверхні та моніторингу навколишнього середовища, зокрема такими перевагами є висока роздільна здатність. Враховуючи те, що територія міста є відносно невеликою такий знімок дає змогу мати краще розрізнення, широкий спектральний діапазон, зокрема необхідний для розрахунку NIR та SWIR. Головною перевагою є швидке оновлення даних.

Для виконання розрахунку використано відкриті супутникові знімки з сайту USGS [133]. Дату обрано так, щоб у вибраному за координатами діапазоні була мінімальна хмарність. Знімки земної поверхні мають бути без хмар або з мінімальною хмарністю з кількох важливих причин. По-перше, хмари і хмарність закривають частини земної поверхні, що робить знімки менш інформативними та знижує їхню якість. По-друге, це ускладнює аналіз і розпізнавання об'єктів на землі. По-третє, оскільки дослідження стосується урбосередовища, наявність хмар може закривати рослинність, або змінювати відбивну здатність поверхонь.

При використанні даних супутникових знімків Landsat-8 необхідними спектральними діапазонами є NIR та SWIR відповідно - Band 5 та Band 6. Для цього знімки необхідного спектрального діапазону використано в середовищі Qgis версії 3.34, потім за допомогою інструменту вилучення знімки обрізано за маскою, а саме векторним шаром з адміністративними межами міста. Далі за допомогою калькулятора растрів за формулою 1.3 створено новий шар, який дає попереднє уявлення щодо розрахунку NDMI.

Для створення легенди до карти обрано стандартну кольорову шкалу при визначенні NDMI (рис. 3.6).

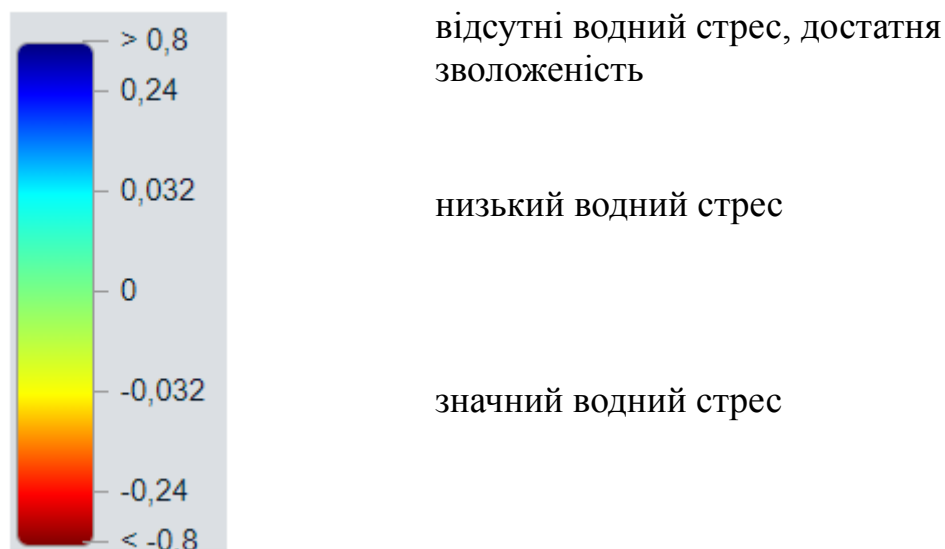


Рис. 3.6. Шкала NDMI [134]

Діапазон значень NDMI становить від -1 до 1. Від'ємні значення NDMI відповідають значному водному стресу. Значення близько нуля (від -0,2 до 0,4) зазвичай відповідають водному стресу. Високі, позитивні значення представляють високий вміст води без водного стресу (показник в межах діапазону від 0,4 до 1).

Багатоспектральні знімки супутнику Landsat - 8 взято за такі дати:

- 08 липня 2022 року;
- 17 липня 2023 року;
- 16 липня 2024 року.

За результатами визначення нормалізованої різниці вологості у липні 2022 року можна стверджувати, що наявний рослинний покрив має значення від 0 до 0,32 та відповідає показнику низького водного стресу. На території заплави річки Сіверський Донець значення в межах 0,032 - 0,24, що відповідає відсутності водного стресу. Від'ємні значення NDMI від 0 до -0,032 на карті позначені в місцях щільної забудови в межах селітебного та промислового типу ландшафту (рис. 3.7).

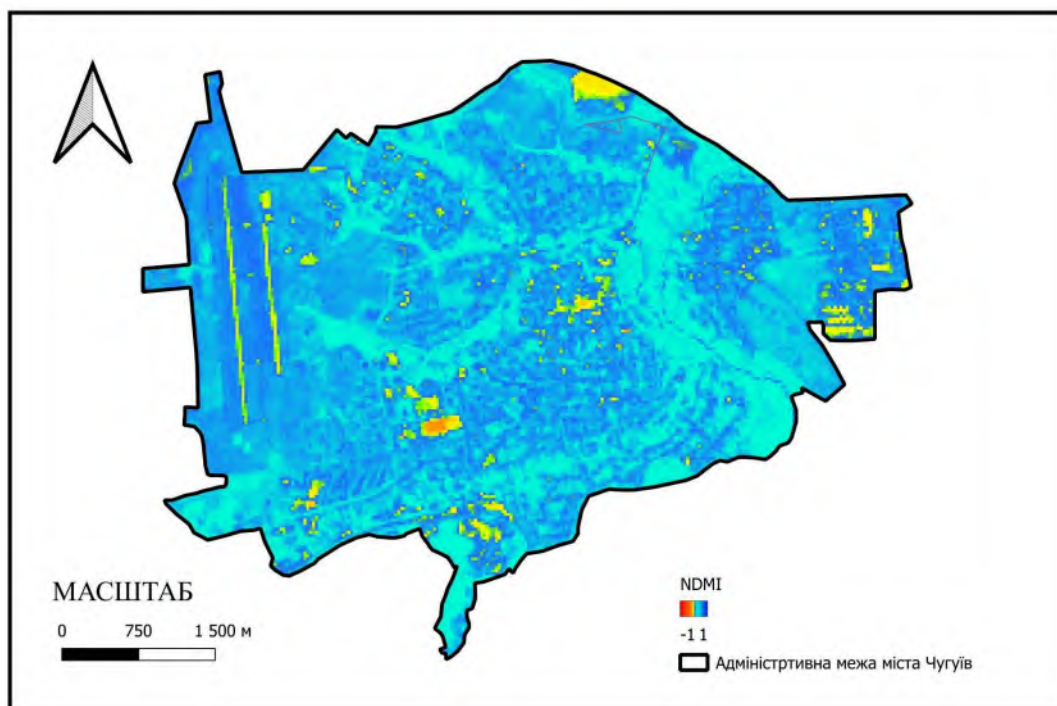


Рис. 3.7. Нормалізована різниця вологості для м. Чугуїв за липень 2022 року
Джерело: складено автором

Результати визначення показника NDMI для міста Чугуїв за липень 2023 року дещо відрізняються від значень за результатами оцінки 2022 року, значення від 0 - 0,32 та відповідає значенню низького водного стресу, за цей період з'являється більша кількість значень від 0 до -0,24.

Результати визначення індексу нормалізованої різниці вологості для міста Чугуїв в липні 2024 року значною мірою відрізняються від даних отриманих за попередні два роки, перш за все, це пов'язано з досить посушливим літом 2024 року. За результатом, більша частина території міста відповідає значенню низького рівня водного стресу (0-0,32 ум. од.), в східній частині міста спостерігається збільшення ділянок, що відповідають значенню високого рівня водного стресу (від 0 до -0,24). В межах бєлігеративного ландшафту, що відповідає західній частині міста спостерігається значний водний стрес, в межах селітебного ландшафту також спостерігається водний стрес (рис. 3.8, 3.9).

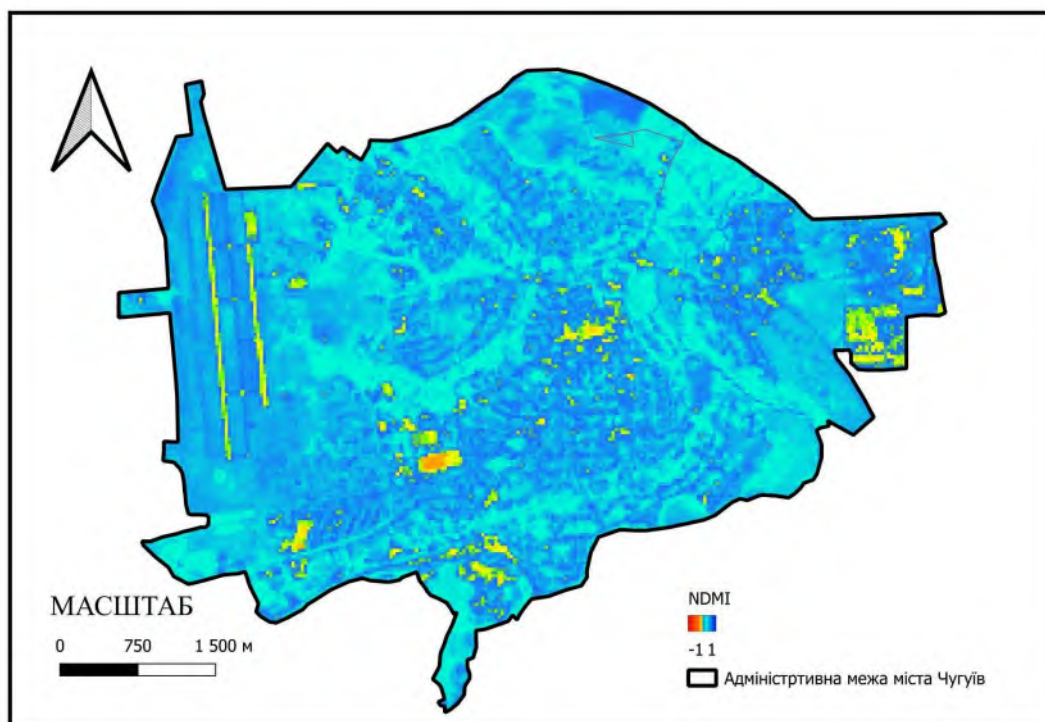


Рис. 3.8. Нормалізована різниця вологості для м. Чугуїв за липень 2023 року
Джерело: складено автором

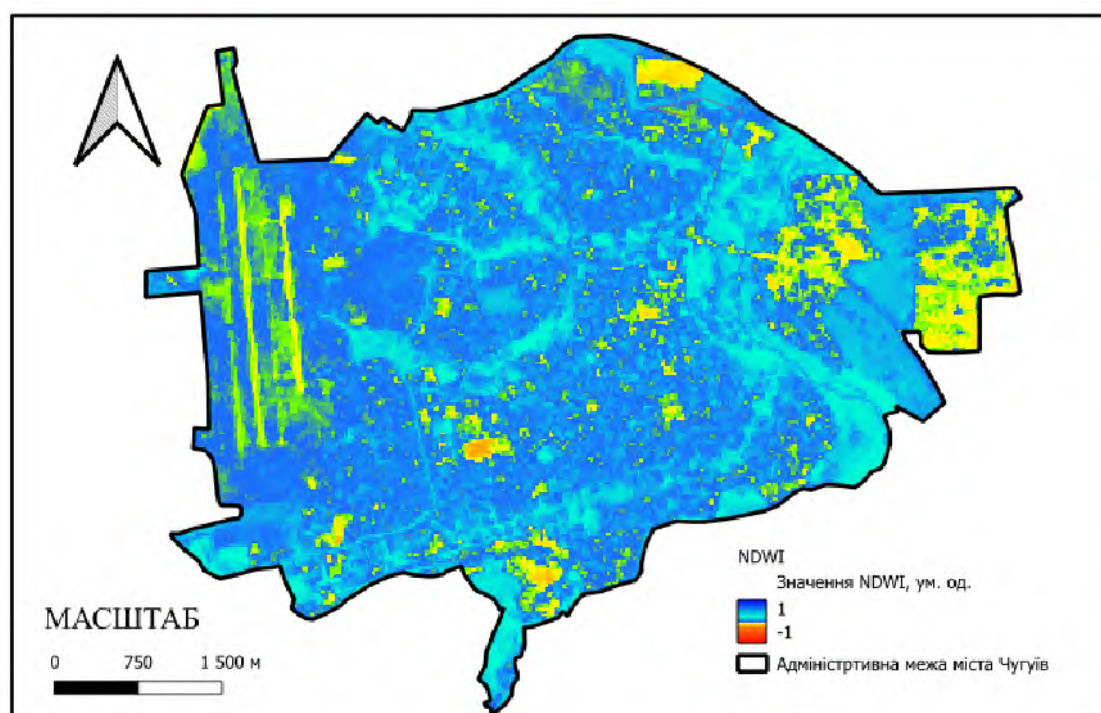


Рис. 3.9. Нормалізована різниця вологості для м. Чугуїв за липень 2024 року
Джерело: складено автором

Для більш детального аналізу значень показника NDMI доцільним є порівняти погодні умови за липень 2022, 2023 та 2024 років відповідно, для цих потреб розраховано середні значення погодних умов: кількість опадів, температура та вологість.

Таблиця 3.1

Погодні умов досліджуваних періодів

Показник	Липень 2022 р.	Липень 2023 р.	Липень 2024 р.
Середня температура, °C.	28	31	25
вологість, %	63	23	20
Опади, мм	50	-	60

Порівнюючи середні значення погодних умов на момент проведення дослідження можна стверджувати, що у 2024 році, попри нижчу температуру спостерігається нижча вологість повітря, що було пов'язано з досить спекотним червнем та відсутністю дощів протягом тривалого часу.

Порівнюючи результати трьохрічного дослідження можна сказати, що в цілому, в місті Чугуїв переважає низький рівень водного стресу, що дозволяє розширювати об'єкти ЗІ та не витрачати кошти на додатковий полив вже наявних об'єктів.

3.2.2 Екологічний стан міста Чугуїв за даними дистанційного зондування

Дослідження екологічного стану міста за результатами обробки супутникових знімків використовується в ряді робіт [135, 136]. Для визначення екологічного стану міста автори використовують індикатори:

- ступінь забудованості середовища NDBI;
- ступінь озеленення, що характеризується показником SAVI;

- ступінь посушливості, що представлено в індексі NDSI;
- ступінь зволоженості, що характеризується індексом NDMI.

Для дослідження обрано супутниковий знімок з Landsat-9 з сайту USGS за 16 липня 2024 року - в цей день хмарність була низькою та не закривала район дослідження.

Для визначення екологічного стану міста за формулами 1.4-1.11 необхідно врахувати такі спектри: SWIR, NIR, RED, GREEN, BLUE. Для правильного визначення необхідних Band застосовано розшифрування діапазонів (рис. 3.10).

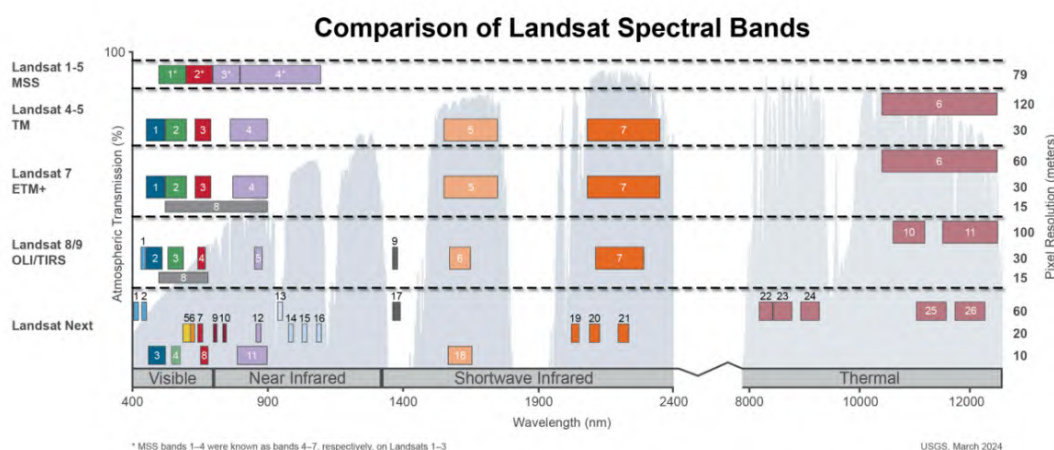


Рис. 3. 10. Спектральні діапазони довжини хвиль діапазону для датчиків Landsat 1-9

Перший показник, який розраховано це нормалізований індекс забудови. Цей індекс важливий при врахуванні екологічного стану міста, адже суцільна забудова негативно впливає шляхом створення ефекту МОТ, дозволяє визначити території, які є найбільш перетвореними у ландшафтному відношенні. Позитивні значення NDBI свідчать про наявність забудованих територій. Чим вище значення, тим більше ймовірність того, що ділянка покрита штучними спорудами. Негативні значення NDBI характерні для природних поверхонь, таких як рослинність або вода.

Ці дані також є корисними для оптимізації планування міської території, адже його врахування дозволяє визначити місця, які потребують

озеленення, тобто включення елементів зеленої інфраструктури, що дозволить знижувати негативний вплив забудови. NDBI розраховано за формулою 1.4 з використанням band 5 та band 6. Результат визначення представлено на рис. 3.11.

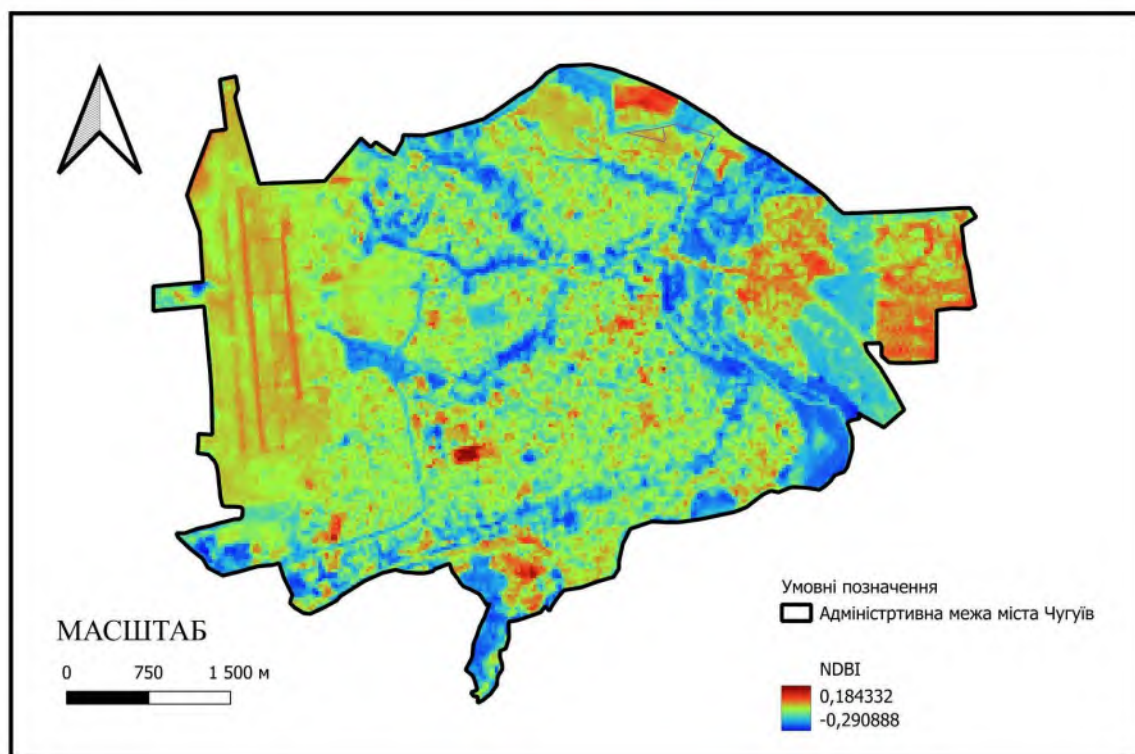


Рис. 3.11. Нормалізований індекс забудови м. Чугуїв

Джерело: складено автором

Результати дослідження нормалізованого індексу забудови виявили, що помаранчеві та червоні зони - це місця з наявною забудовою, та вони збігаються з селітебним типом ландшафту, зелені та сині зони з негативним значенням індексу забудови - це природні зони, які збігаються з рекреаційними ландшафтами та водно-антропогенними.

Для характеристики ступеню озеленення території обрано показник SAVI. Він подібний до NDVI, але може мінімізувати видимі втрати у відгуку вегетаційного індексу, оскільки він призводить до нижчого вегетаційного індексу, варіації ґрунтів нормалізуються і не впливають на вимірювання

рослинного покриву [137]. Для його розрахунку використано формулу 1.5, яка враховує band 5 і band 6 та поправку на ґрунт (рис. 3.12).

Результати дослідження індексу рослинності з урахуванням ґрунту показали, що значення близькі 0,84 відповідають високому рівню озеленення. Ці території переважають в місцях, де наявна природна рослинність, (значення близькі 0,5) позначено території, що мають менш щільну рослинність, блідо салат�овим кольором позначено території, які потребують збільшення зелених зон, території позначені помаранчевим та червоним кольором - збігаються з урбанізованими зонами, ці території відповідають селітебним, промисловим, лінійно-дорожнім та белігеративним типам ландшафтів в м. Чугуїв.

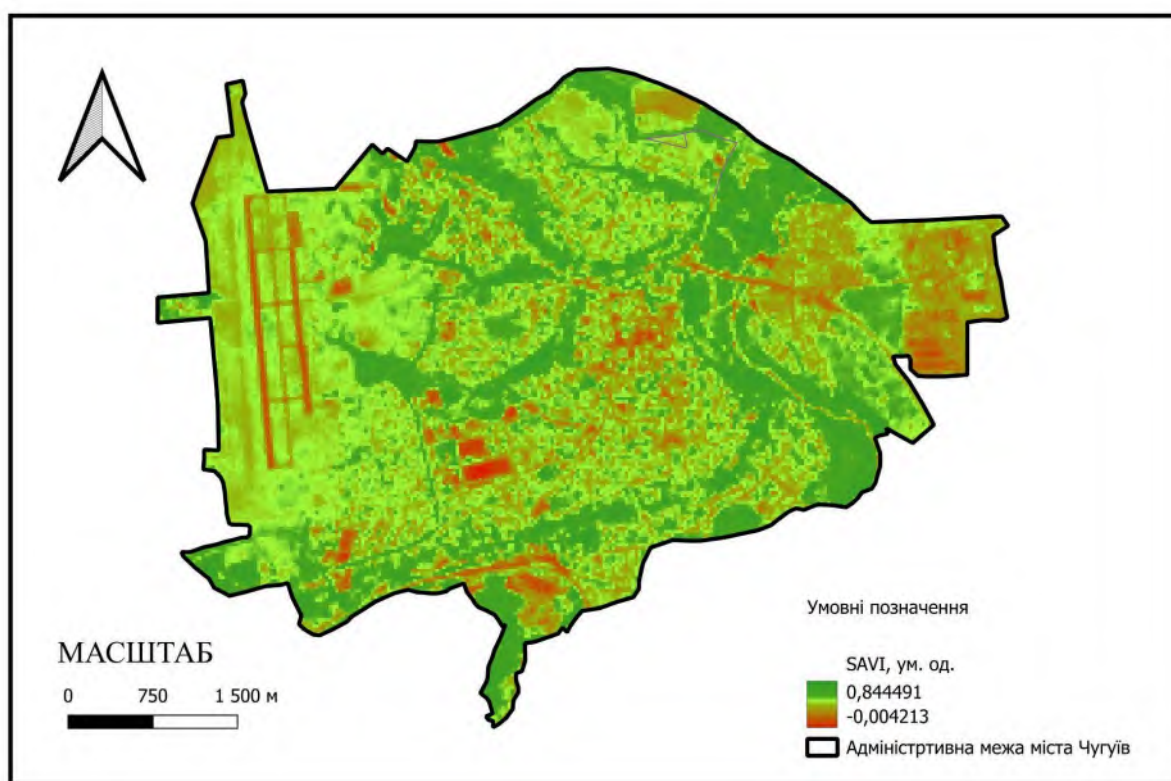


Рис. 3. 12. Індекс рослинності з урахуванням ґрунту в м. Чугуїв

Джерело: складено автором

Для визначення нормалізованого різницевого індексу ґрунту розраховано три індекси: індекс голого ґрунту (BSI), нормалізований індекс різницевого опору поверхні (NDISI) та індекс водного шуму (MNDWI).

Для екологічної оцінки території з точки зору оголеності ґрунту та ризиків, пов'язаних з ерозією або іншими негативними процесами використано індекс оголеного ґрунту, який розраховано за формулою 1.6 та знімки спектру band 3, 4, 5 та 6 (рис. 3.13). Значення BSI коливається від -1 до 1, де: 1 - зони з високою оголеністю ґрунтового покриття, такі зони не мають рослинного покриття та піддаються ерозійним процесам; значення близькі до 0, такі землі вказують на рідку рослинність, можуть бути територіями з певними змінами, бути будівельними майданчиками або зонами рекультивації; значення близькі до -1, це території вказують на щільний рослинний покрив або на наявність водного об'єкту, такі зони не піддаються ерозії.

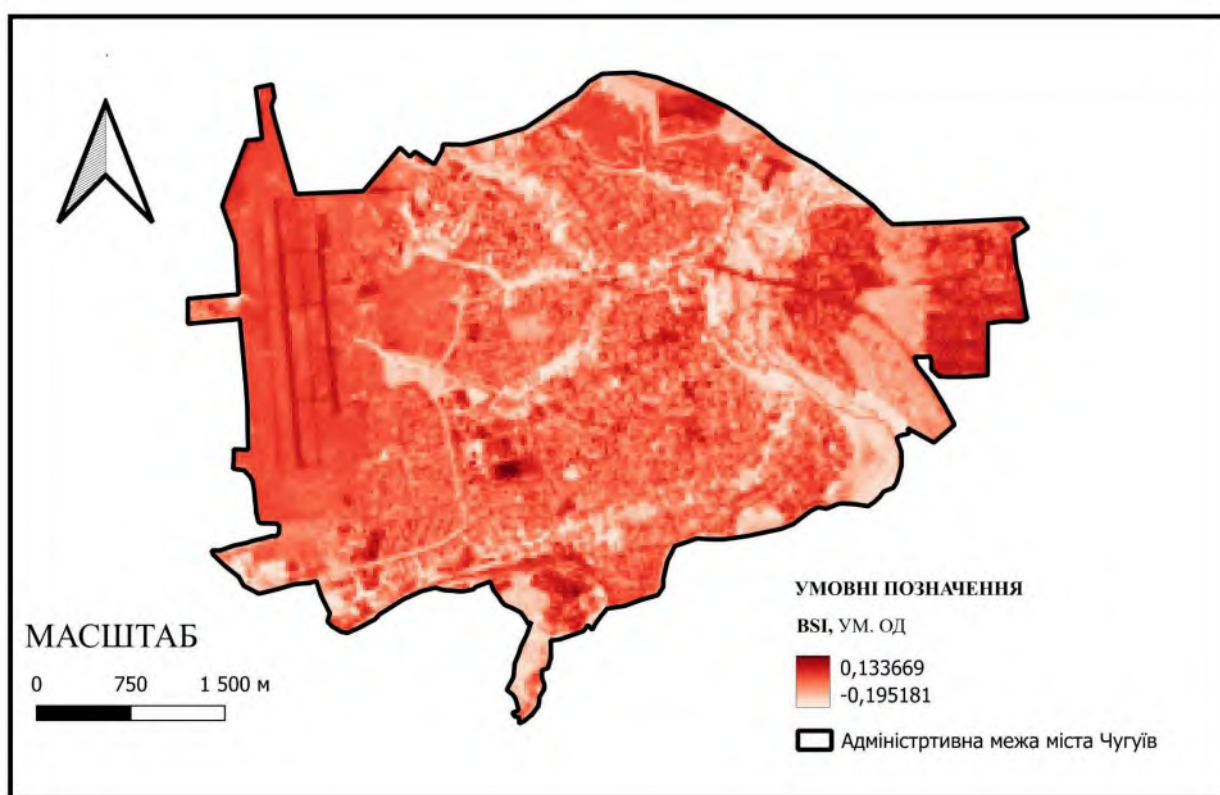


Рис. 3.13. Індекс оголеності ґрунту в м. Чугуїв

Джерело: складено автором

Результати розрахунків індексу оголеності ґрунту в м. Чугуїв вказують на те, що в цілому вмісті превалюють значення близькі до 0, що свідчить про наявність нещільного рослинного покриву, значення від 0 до -0,19 вказують на більш щільне рослинне покриття, значення 0,133, що відповідають темно червоному кольору збігаються з селітебним та белігеративним ландшафтом, та відповідають незначному рослинному покриву.

Індекс водного шуму розраховується [138] на основі band 3 (Green) та band 6 (SWIR). Цей індекс ефективно ідентифікує водні об'єкти, такі як річки, озера, ставки та водосховища та корисний для визначення впливу урбосередовища на водні об'єкти, значення індексу від -1 до 1, де 1 - наявний водний об'єкт, 0 відсутність водного об'єкту (рис. 3.16). Блакитним кольором позначено територію, де індекс найвищий, що збігається з водним об'єктом міста, а саме річкою Сіверський Донець, проте досить низьке значення 0,3 вказує на те, що рівень води в річці досить низький, червоним кольором позначено території забудови та зелені зони міста.

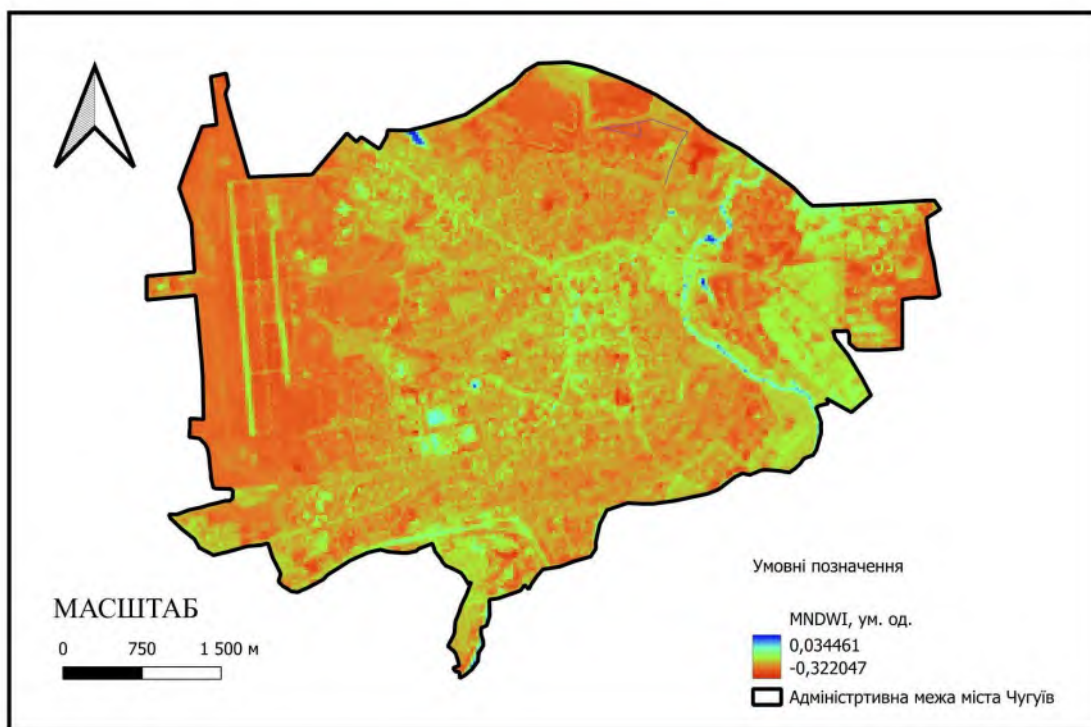


Рис. 3.14. Індекс водного шуму в м. Чугуїв

Джерело: складено автором

Індекс непроникної поверхні з нормалізованою різницею (NDISI) є індексом, що використовується для оцінки непроникності поверхні, що характерно для забудованих територій. Цей індекс дозволяє оцінити ступінь урбанізації та змін в середовищі, визначати потенційний вплив на навколишнє середовище, включаючи ризики повеней та теплових островів. Діапазон індексу в межах від -1 до 1, де значення близькі до -1 вказують на непроникну поверхню, а значення близькі до 1 навпаки вказують на проникну поверхню (рис. 3.15).

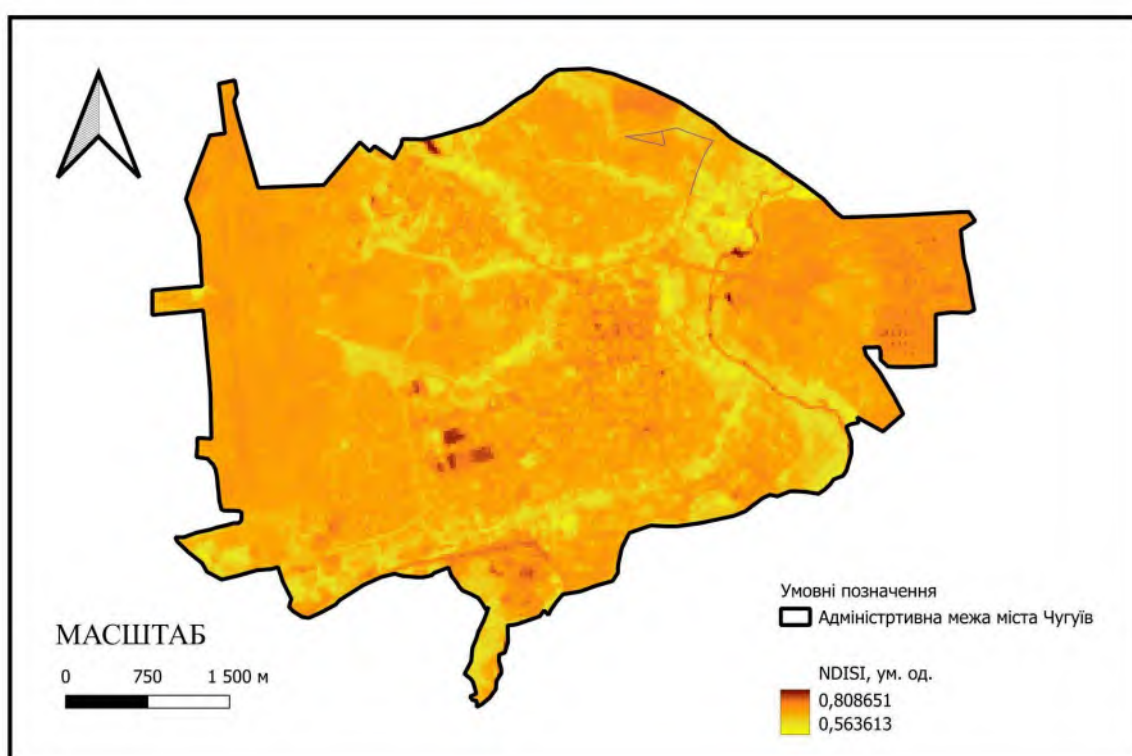


Рис. 3.15. Індекс непроникності поверхні

Джерело: складено автором

Результати дослідження показали, що майже вся територія міста має позитивні значення, що є свідченням значної кількості непроникної поверхні в місті. Також це свідчить про можливість формування в місті острова тепла, адже саме непроникна поверхня часто є причиною його розвитку.

Ґрунт є одним із ключових біофізичних компонентів, який досліджується за допомогою методів дистанційного зондування поряд із рослинністю та площею непроникної поверхні. NDSI (Normalized Difference Soil Index) розглядається як показник ступеня сухості, що вказує на розподіл голої землі, і є одним із факторів, які впливають на мікрокліматичні умови в місті. NDSI включає в себе комбінацію індексу голого ґрунту (BSI) та нормалізованого індексу різницевого опору поверхні (NDISI). Індекс BSI використовується для розмежування забудованих територій та голого ґрунту, а NDISI дозволяє враховувати високе відбиття SWIR (короткохвильового інфрачервоного випромінювання) від піску та ґрунту. Результати дослідження представлені на рисунку 3.16.

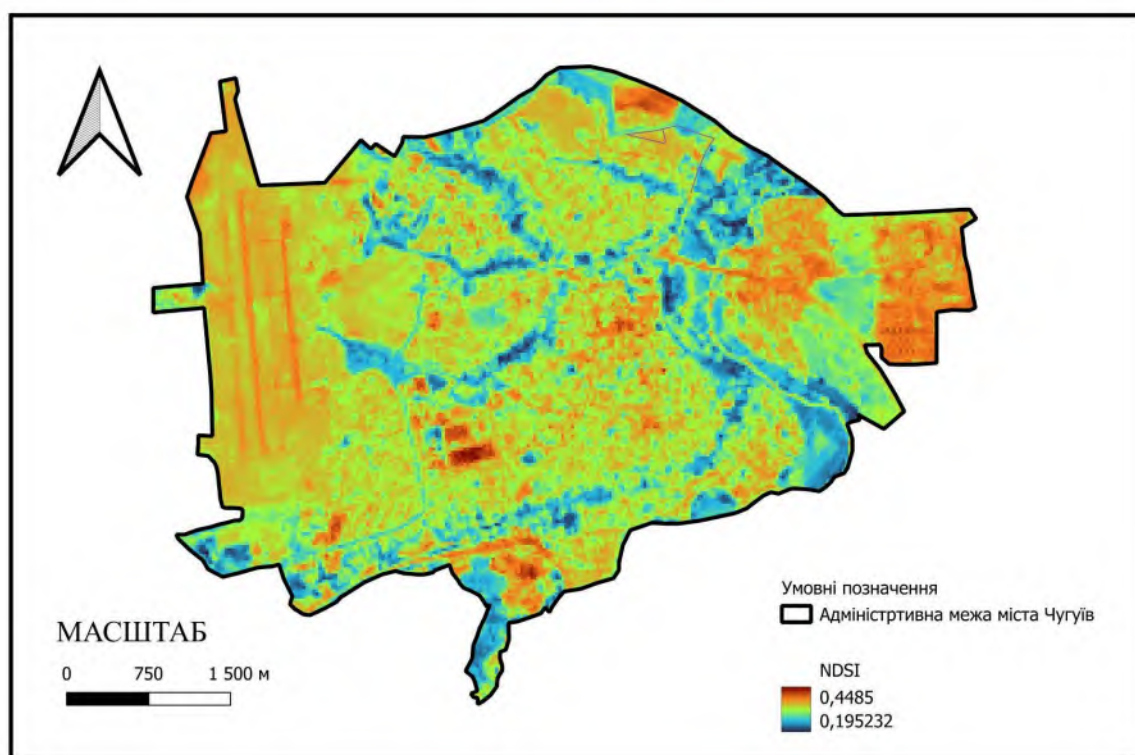


Рис. 3.16. Нормалізований різницевий індекс ґрунтового покриття

Джерело: складено автором

На наданій карті відображені результати дослідження індексу NDSI (Normalized Difference Soil Index), який використовується для оцінки ступеня забруднення ґрунтів та відмінностей у їх складі. Кольорова гама карти

відображає різні значення індексу. Червоний колір (ближче до 0.4485) вказує на області з вищими значеннями NDSI, що може свідчити про наявність більш забруднених або менш родючих ґрунтів. Жовтий колір, який переходить у блакитний (ближче до 0.195232), представляє ділянки з нижчими значеннями NDSI, що може означати кращу якість ґрунту або менше забруднення.

Розподіл значень на карті показує, що червоні області зосереджені переважно в зоні з інтенсивним використанням земель або ділянки з порушеним природним балансом ґрунту. Блакитні області, які переважно знаходяться на ділянках з менш інтенсивним використанням та відносно природними умовами. Ці зони з вищими значеннями NDSI, позначені червоним кольором, можуть вимагати додаткової уваги з точки зору екологічного моніторингу та оцінки впливу антропогенних факторів. Зони з нижчими значеннями NDSI, позначені блакитним кольором, можуть вказувати на ділянки з кращим природним станом ґрунту.

Для визначення територій, які мають водний стрес використано NDMI. Цей показник негативно корелює з температурою поверхні суші (рис.3.17).

Встановлено, що більша частина території міста відповідає значенню низького рівня водного стресу (0-0,32 ум. од.), в східній частині міста спостерігаються ділянки зі значенням високого рівня водного стресу (від 0 до -0,24). В межах белігеративного ландшафту, що відповідає західній частині міста спостерігається значний водний стрес, в межах селітебного ландшафту також спостерігається водний стрес.

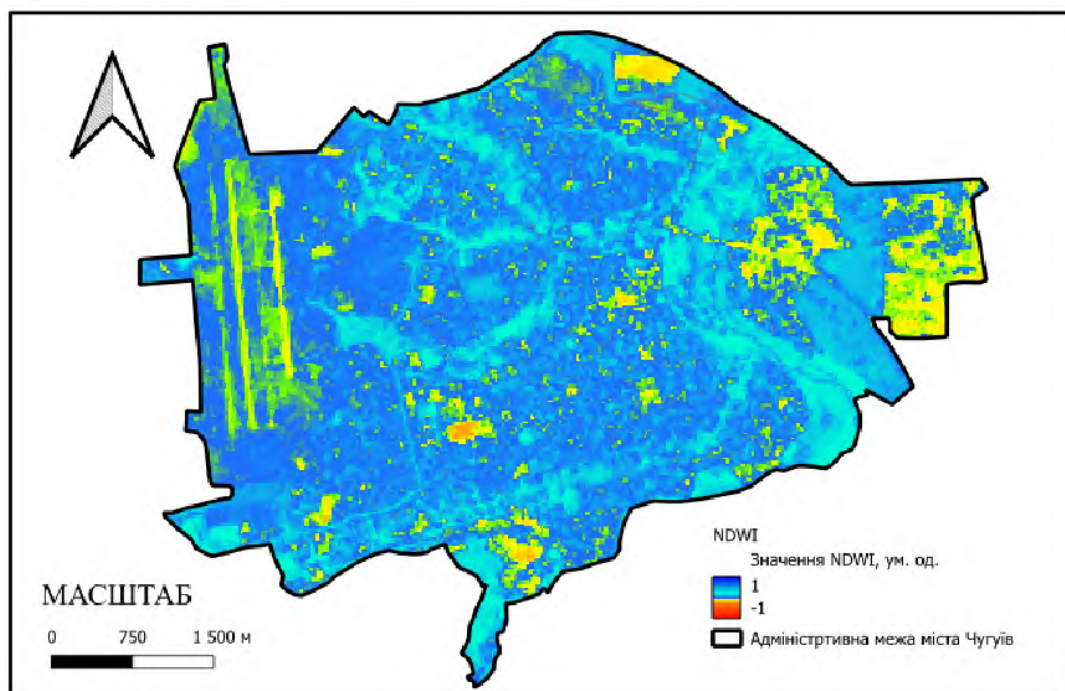


Рис.3.17. Нормалізована різниця вологості для міста Чугуїв

Джерело: складено автором

Для створення результуючої моделі проведено нормалізацію індексів: нормалізованого індексу забудови, індексу рослинності з урахуванням ґрунту, нормалізованого різницевого індексу ґрунтового покриття, індексу нормалізованої різниці вологості за формулою 1.10.

Результуюча модель екологічного стану створена за допомогою інструмента калькулятор растрів в середовищі QGIS з розрахунком за формулою 1.11.

Зони з екологічно несприятливими умовами в м. Чугуїв визначені червоним кольором, ці території збігаються з селітебним та промисловим ландшафтом (рис. 3.18).

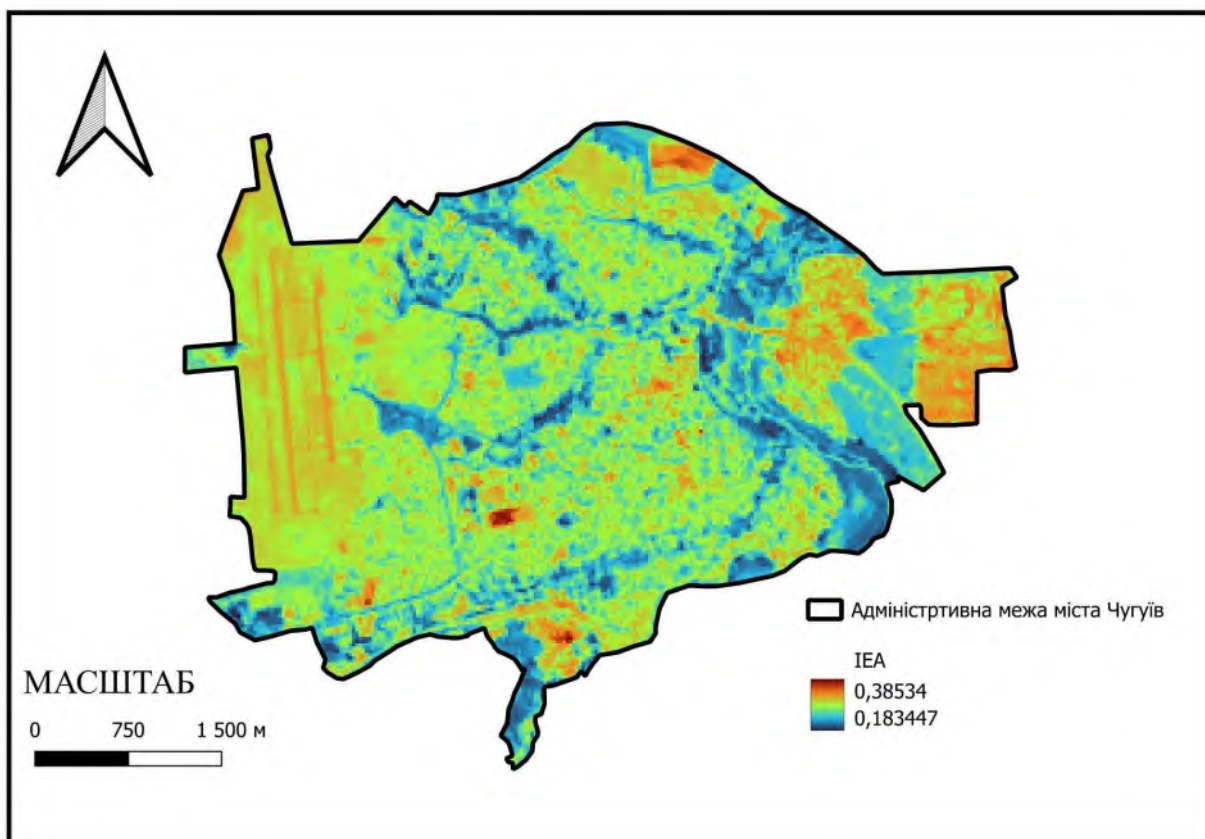


Рис. 3. 18. Результати визначення екологічного стану міста Чугуїв
Джерело: складено автором

Такі території піддалися найбільшому антропогенному впливу урбанізації. Найбільш екологічно сприятливі умови спостерігаються в межах визначених зеленим кольором, ці території збігаються з зеленими зонами міста та відповідають рекреаційним, зеленим зонам спеціального та загального користування.

Картографічне зображення демонструє, що екологічна цілісність території міста Чугуїв варіюється залежно від рівня антропогенного впливу. Чим більше порушений природний ландшафт, тим нижча екологічна цілісність, що відображено на карті через градації кольорів. Аналіз цієї карти може слугувати основою для планування екологічних заходів і управління територією з метою збереження або відновлення природних екосистем міста. Таким чином можна стверджувати, що червоні та жовті території безумовно

потребують розширення зелено-блакитної мережі для забезпечення стійкості урбосередовища м. Чугуїв.

3.3 Дослідження міського теплового острова

Вперше про ефект MOT було згадано ще у 1818 році Люком Говардом [139] і вже більше ніж 200 років науковці з усього світу здійснюють свої дослідження в сфері визначення теплового острова тепла та шукають ефективні способи боротьби з ним.

В цілому ефект MOT можна пояснити як міську територію з температурними показниками значно вищими за навколишню температуру близьких до міста сільських територій [140, 141].

Міський острів тепла виникає через значні зміни в міському середовищі, які змінюють природний тепловий баланс території. Основними причинами явища MOT є:

- *Використання штучних покриттів.* У містах природні поверхні, такі як рослинність і ґрунтовий покрив, часто замінюються будівлями, дорогами та іншими об'єктами інфраструктури, що мають низьку теплопоглинальність. Матеріали, такі як асфальт, бетон і метал, здатні поглинати більше тепла і довше його утримувати, що призводить до підвищення температури поверхні.

Автори статті [142] відзначають, що асфальтобетон є одним із найпоширеніших матеріалів для покриття тротуарів. Асфальтобетон вносить значний внесок у розвиток ефекту MOT, адже щільне асфальтне покриття має низьке альбедо та високу об'ємну теплоємність.

- *Зменшення кількості зелених насаджень.* Зелені зони мають важливу роль у регулюванні температури через процеси випаровування та затінення. Відсутність достатньої кількості дерев та інших рослин у міському

середовищі зменшує можливості охолодження, що також сприяє утворенню теплового острова.

Автори статті [143] стверджують, що відсутність рослинності посилює ефект МОТ, оскільки рослинність допомагає поглинати вихлопні гази та створювати чистіше повітря, адже сажа та пил здатні поглинати сонячне випромінювання та підвищують температуру повітря.

- *Викиди в атмосферне повітря від транспорту та промисловості.* Автомобілі, фабрики та інші джерела викидів виробляють не лише забруднюючі речовини, але й теплову енергію, що додатково нагріває міське повітря.

В статті [144] відзначено, що важливим внеском в розвиток міського острова тепла є рух автотранспорту та робота промислових об'єктів. Внаслідок руху автотранспорту в атмосферне повітря викидається: діоксид сірки (SO_2), оксид азоту (NO_x), твердими частинками (PM), леткими органічними речовинами (VOC) та окис вуглецю (CO) всі ці речовини спричиняють розвиток МОТ.

- *Щільність забудови.* Щільна міська забудова перешкоджає ефективній циркуляції повітря, що призводить до накопичення тепла в міських районах. Високі будівлі, що близько розташовані одна до одної, створюють бар'єри для вітру, що зменшує можливість природного охолодження.

Використання ручних тепловізорів для вимірювання теплового острова є одним з методів дослідження ефекту МОТ під час виконання польових дослідженнях в умовах урбосередовища. Цей метод дозволяє отримати точні дані щодо температури різних поверхонь, таких як будівлі, дороги, та зелені насадження. На відміну від супутникових знімків, які можуть мати обмежену роздільну здатність та інші обмеження, ручні тепловізори дають можливість деталізованого вимірювання теплових аномалій на локальному рівні.

Зокрема, тепловізори дозволяють дослідникам швидко виявляти "гарячі точки" у міському середовищі, які можуть бути причиною підвищеної температури в певних районах. Цей метод є важливим для оцінки ефективності впровадження ЗІ або ж бути корисним для пошуку точок нагрівання поверхонь для подальшого створення таких елементів з метою зниження ефекту МОТ.

Польове дослідження щодо наявності територій з підвищеною температурою здійснено 31 липня 2024 року о 12:00. Температура повітря опівдні становила 25 °C, вологість повітря становила 48 %, з вітром 4 м/с.

Першим місцем для проведення дослідження обрано вулицю Торгову, яка знаходиться в центрі міста та проходить вздовж міського ринку до автостанції міста. Характерною особливістю вулиці є те, що зелена інфраструктура у вигляді дерев та незначної ділянки з природним газоном спостерігається лише на правій стороні вулиці (точка 1), ліва сторона вулиці, яка прилягає до ринку викладена бруківкою (точка 2). Схема проведення дослідження зображена на рис. 3.19. Третю точку спостереження обрано через наявність такого елементу зеленої інфраструктури як зелена стіна.

Результати дослідження температурних показників на вулиці Торговій представлено на рис. 3.22. Лівий пішохідний бік вулиці має температуру поверхні 41 °C, при температурі повітря 25 °C, цей бік вулиці представлено лише штучним покриттям та немає елементів зеленої інфраструктури. На правому боці вулиці попри наявність штучного асфальтового покриття, є газон і дерева - температура поверхні тут становила 27,5 °C.

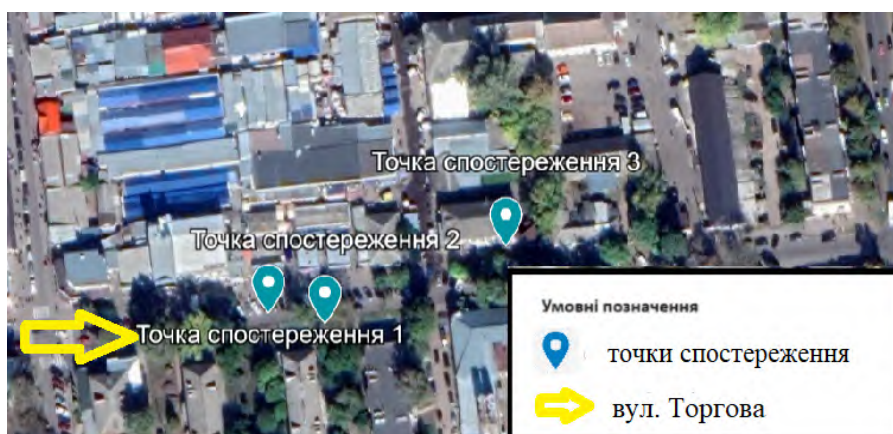
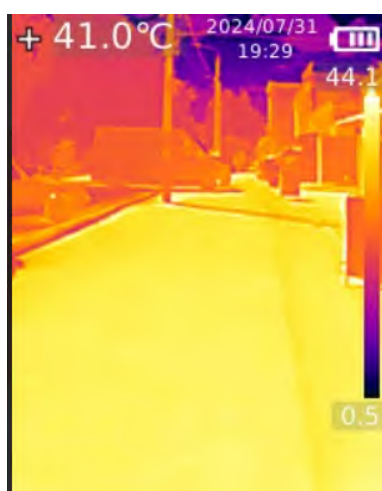
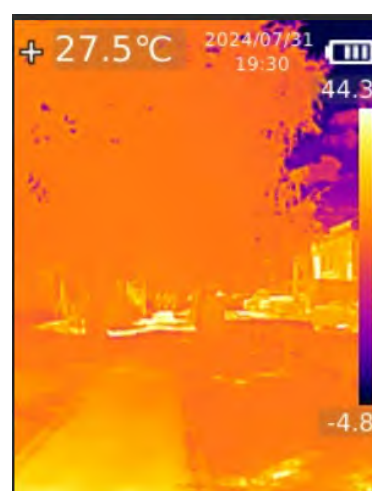


Рис. 3.19. Схема точок спостереження на вул. Торговій в м. Чугуїв

Газонне покриття з правого боку вул. Торгова представлено природною рослинністю: ковила звичайна, кульбаба, подорожник великим та цикорієм звичайним. Вздовж вулиці ростуть в'язи дрібнолисті, які мають висоту більш ніж 2,5 м, значну крону, що дає гарний затінок та зменшує нагрівання від асфальтового покриття вулиці.



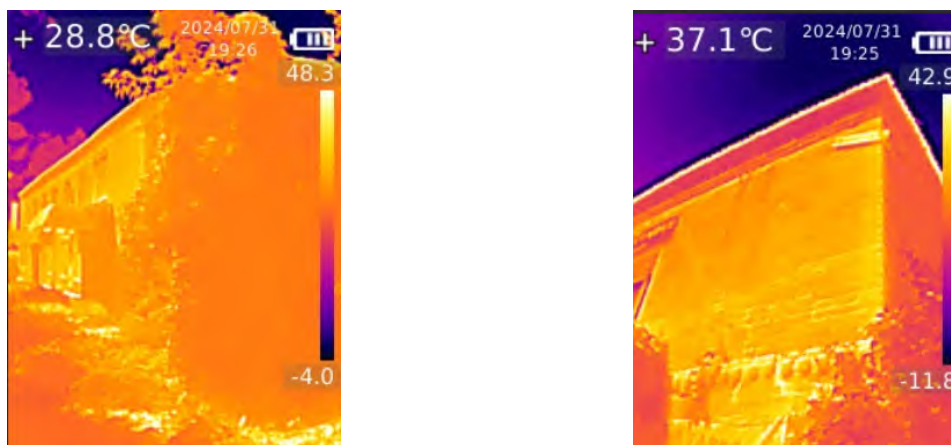
а) лівий пішохідний бік



б) правий пішохідний бік

Рис. 3.20. Результати спостережень на вул. Торгова

Вертикальне озеленення на третій точці представлено зеленою стіною з в'юнкої рослини - дикого винограду. Температура поверхні будівлі без вертикального озеленення становила - 37, 1 °С, а температура поверхні будівлі з зеленою інфраструктурою становила 28,8 °С (рис. 3. 21).



а) температура поверхні будівлі з ЗІ б) температура поверхні будівлі без ЗІ

Рис. 3.21. Результати вимірювання температури поверхні будівлі по вул.Торгова

За результатами спостережень по третій точці на вулиці Торгова можна стверджувати, що впровадження елементів ЗІ є ефективним методом для зменшення температури поверхні будівель, адже температурна різниця між частиною будівлі з ЗІ та без ЗІ становить $8,3^{\circ}\text{C}$.

Наступним місцем для спостереження обрано перетин вулиць Торгова та бульвару Центрального (рис. 3.22). Ця ділянка характерна наявністю інтенсивного руху автотранспорту широкого дорожнього покриття 19,6 м, об'єктів зеленої інфраструктури не виявлено, температура поверхні за даними вимірювання становить $37,7^{\circ}\text{C}$ при температурі повітря 25°C . Можна стверджувати, що ця частина вулиці неодмінно потребує створення об'єктів ЗІ, що дозволить зробити пішохідну частину вулиці більш комфортною для очікування при переході дороги.

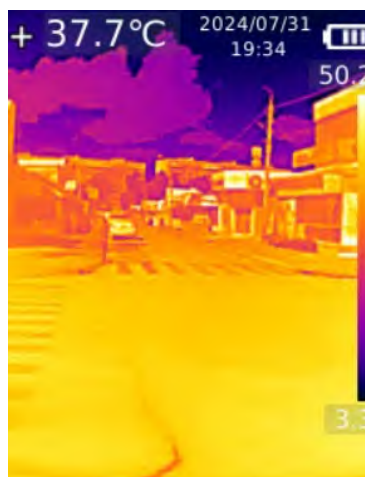


Рис. 3.22. Результати вимірювання температури на перетині вулиці Торгова та бульвару Центрального

Також спостереження проводились по Центральному бульвару (рис. 3.23). Точки обрано як на території скверу, що знаходиться біля бульвару та вздовж пішохідного тротуару з наявною зеленою інфраструктурою та без неї. На території скверу здійснено обстеження на ділянках з газонним покриттям та з бруківкою, яка є проникним покриттям.



Рис. 3.23. Схема точок спостережень на Центральному бульварі

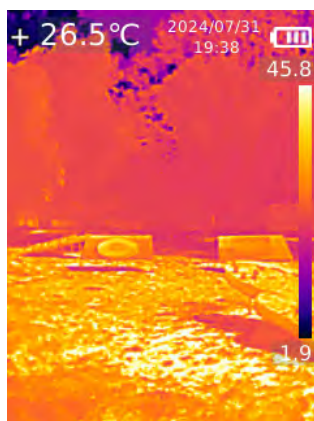
На точці спостереження 5 (рис. 3.24 а) температура поверхні становила $26,5^{\circ}\text{C}$ газонне покриття представлено природним біорізноманіттям, попри те, що точка спостереження в сквері на газонному покритті, температура поверхні різнилася від $26,5^{\circ}\text{C}$ до $35,5^{\circ}\text{C}$ через невідлі агротехнічні заходи щодо підстригання газону, адже газонне покриття вистрижене місцями майже до голого ґрунту, що призвело до висихання рослин та втрату ними здатності до підтримки мікроклімату та охолодження поверхні.

На рис. 3.24 б здійснено оцінку температури поверхні з бруківки, яка становить $27,4^{\circ}\text{C}$, що на $0,9$ більше ніж в тому ж місці, але при використанні газону, проте варто відмітити що такий спосіб все ж є ефективнішим, ніж укладання асфальту, за умови, що метою є створення комфортнішої температури в міському середовищі.

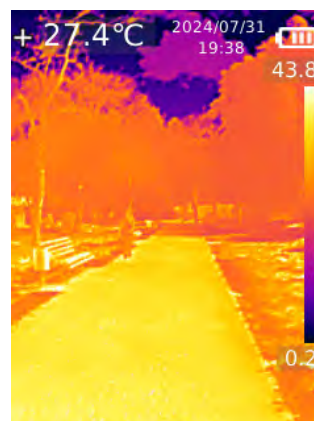
На точці спостереження 7 як елементи ЗІ, що створюють більш комфортні умови та виконують послугу з регуляції температури, представлено живопліт з бирючини звичайної, яка розмежовує пішохідну частину від автошляху, та поодинокі дерева липи звичайної, які створюють затінок. За таких умов температура була найкомфортнішою з усіх точок спостереження по бульвару Центральному та становила $25,9^{\circ}\text{C}$.

На точці спостереження 8, що знаходиться паралельно до точки спостереження 7, не виявлено жодного елементу ЗІ, тротуарне покриття представлено асфальтом, температура поверхні є найбільшою з усіх точок спостереження по Центральному бульвару та становить $27,7^{\circ}\text{C}$.

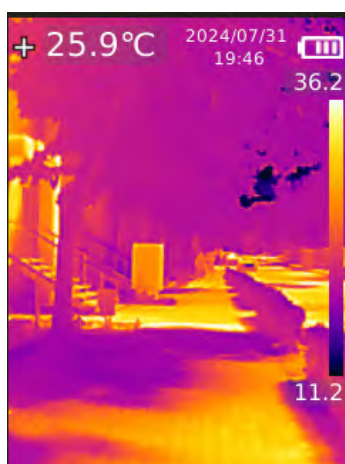
Спостереження на вулиці Торговій та Центральному бульварі свідчать, що наявність елементів зеленої інфраструктури, таких як газонне покриття, дерева та зелені стіни, сприяє суттєвому зниженню температури поверхні порівняно з ділянками без таких елементів.



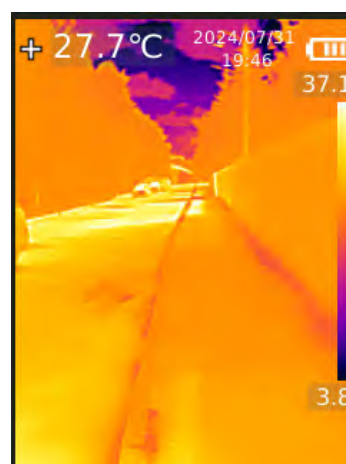
а) сквер з газонним покриттям



б) сквер з бруківкою



в) тротуар з ЗІ



г) тротуар без ЗІ

Рис. 3.24. Результати вимірювання температури поверхні на точках спостереження на бульварі Центральному

У точці спостереження з вертикальним озелененням температура поверхні будівлі була на 8,3 °С нижчою, ніж на ділянці без зелених насаджень. Це підтверджує високий потенціал вертикального озеленення для пом'якшення ефекту міського острова тепла та регулювання температурного режиму будівель. Екологічна ефективність газонного покриття залежить від його стану. Дослідження у сквері показали, що недотримання агротехнічних вимог, зокрема надмірне підстригання газону, призводить до висихання рослинності та зменшення її здатності до охолодження поверхні.

Дослідження підтвердили важливість інтеграції зеленої інфраструктури в міське середовище для адаптації до змін клімату та покращення умов життя в містах.

3.4 Оцінка щільності рослинного покриву

NDVI є одним з найбільш розповсюджених індексів, що ідентифікують наявність рослинного покриву в ландшафті. Чим більше значення показника NDVI - тим вища концентрація рослинного покриву. Негативне або нульове значення показника вказує на забудовану територію, або на територію, яку заасфальтовано. Розрахунок NDVI в момент вегетації може вказати на поганий розвиток біомаси. По суті, обчислення NDVI ґрунтується на методі математичного порівняння кількості поглиненого видимого червоного світла та відображеного ближнього інфрачервоного світла (рис.3.25).

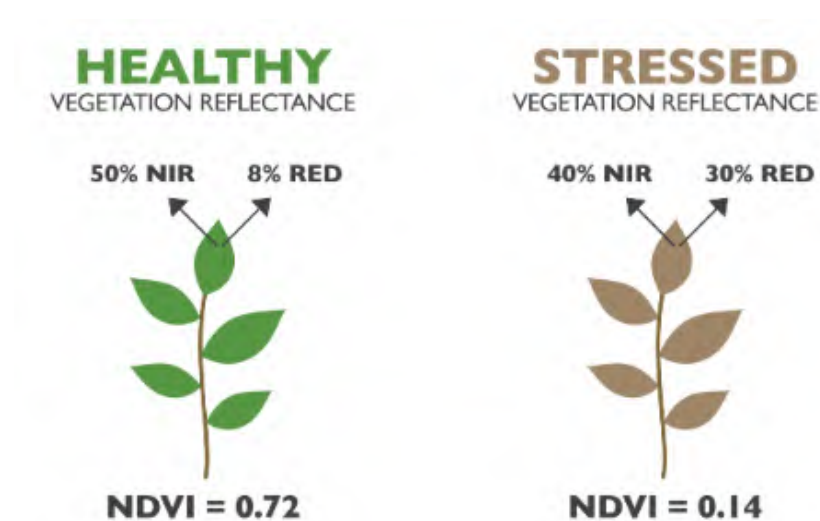


Рис. 3.25. Відображення значення NDVI у рослин

Нормалізований різницевий індекс рослинності є показником, який легко інтерпретується, його значення коливається від -1 до +1 [146]. В таблиці 3.2 представлено інтерпретацію значення діапазонів індексів.

Таблиця 3.2

Значення нормалізованого різницевого індексу рослинності [146]

Значення NDVI	Тлумачення	Значення NDVI	Тлумачення
<0,1	Голий ґрунт	0,5 – 0,6	середній рівень рослинного покриву, низький або середньо-низький покрив, високий рівень
0,1 – 0,2	Майже відсутній рослинний покрив	0,6 – 0,7	середньо-високий покрив, низька сила або середній рівень ярусу, висока сила росту
0,2 – 0,3	дуже низький рослинний покрив	0,7 – 0,8	Висока щільність рослинного покриву
0,3 – 0,4	Низька рослинність, низької щільності	0,8 – 0,9	Щільний рослинний покрив
0,4 – 0,5	Середньо-низький рослинний покрив, низька сила або низька потужність крони	0,9 – 1,0	Дуже висока щільність

В статті [146] розрахунок NDVI, використано як метод, що дозволяє виокремити в три етапи стан біомаси на дослідній території. Першим етапом є вибір супутникових знімків для цього використано відкриті дані з сайту USGS [90]. Для роботи в середовищі QGIS 3.34 обрано супутникові знімки Sentinel-2 за серпень 2022 року (рис. 3.26) та знімки Landsat 8 та серпень 2023 року (рис. 3.27). Різні супутникові знімки обрано для того, щоб визначити, які знімки будуть більш наочними для подальшої класифікації рівнів. При виборі знімків враховано відсутність хмар, адже їх наявність погіршує результат розрахунку. NDVI розраховано за формулою 1.2.

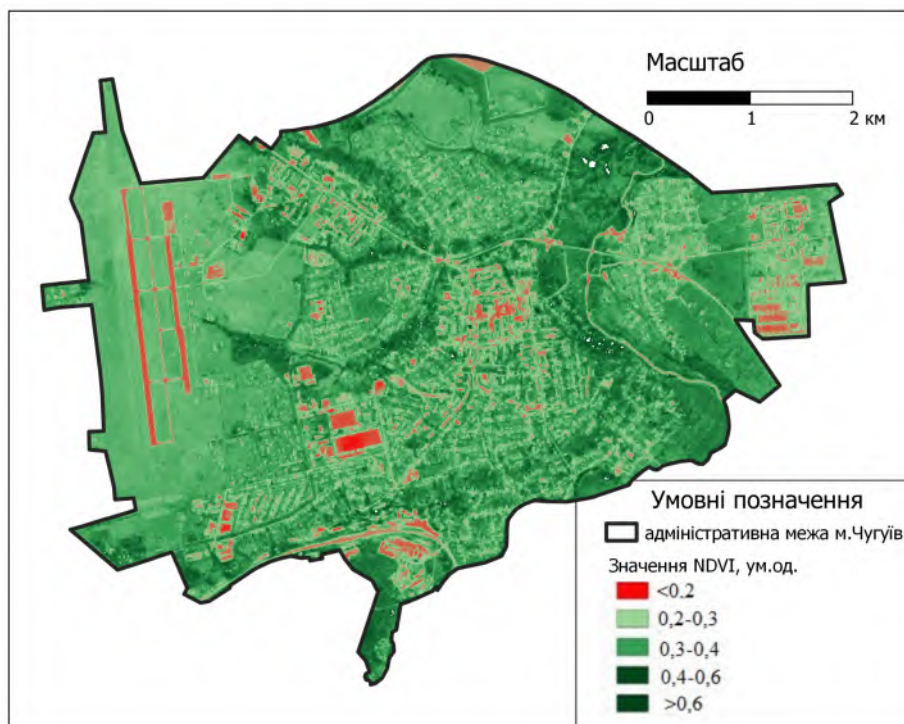


Рис. 3. 26. Нормалізований вегетаційний індекс (NDVI) для м. Чугуїв у серпні 2022 року за даними супутникових знімків Sentinel-2

Джерело: складено автором

При застосуванні супутникових знімків Sentinel-2 каналом NIR з довжиною хвилі 664.6 μm , роздільна здатність 10 м; виступає Band 8, RED Band 4 з довжиною хвилі 832.8 μm , роздільна здатність 10 м. При застосуванні знімків Sentinel-2 дуже чітко простежуються забудовані ділянки, заасфальтовані ділянки, а також злітну смугу аеродрому. Такий знімок повністю підходить для подальшого дослідження.

При застосуванні супутникових знімків Landsat 8 каналом NIR з довжиною хвилі 0.85 - 0.88 μm , роздільна здатність 30 м; виступає Band 5, RED Band 4 з довжиною хвилі 0.64 - 0.67 μm , роздільна здатність 30 м.

Порівнюючи результати розрахунку нормалізованого вегетаційного індексу можна зробити висновок, що знімок Landsat 8 не підходить для подальшої класифікації.

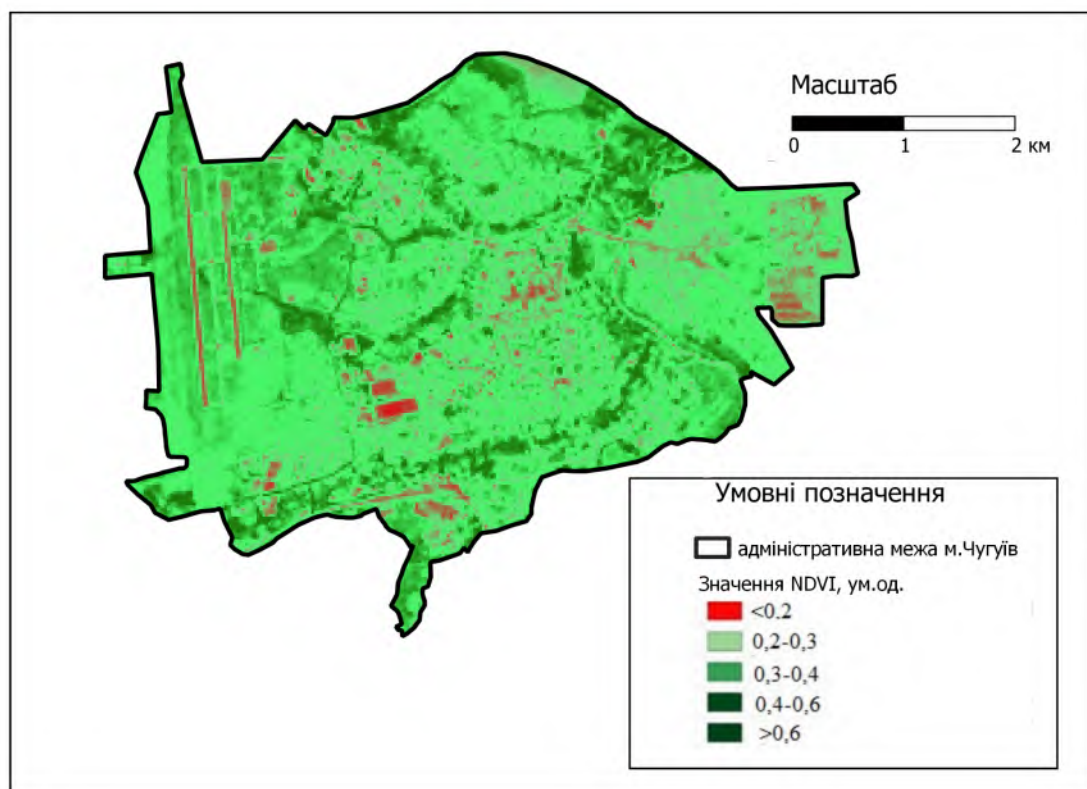


Рис. 3. 27. Нормалізований вегетаційний індекс (NDVI) для м. Чугуїв у серпні 2023 року за даними супутникових знімків Landsat 8

Джерело: складено автором

Показники NDVI класифікуємо на два широкі спектри:

- наявність рослинного покриття за умови, що показник від 0,2 до 1;
- відсутність рослинного покриття за умови, що $>0,2$;

За результатами розрахунку (рис. 3.26) червоним кольором виявлено забудову, асфальтовані покриття без жодних ознак наявності рослин.

Другим рівнем класифікації нормалізованого вегетаційного індексу був розподіл виявленого рослинного покриття на ділянки з:

- чагарниковою рослинністю за умови, що показник від 0,2 до 0,5;
- деревною рослинністю за умови, що показник більше 0,5.

За візуальною оцінкою (рис. 3.26) площа з чагарниковою рослинністю є переважаючою, деревна рослинність охоплює менші площі.

Наступною є класифікація дозволила визначити стан рослинного покриву:

- що мають здоровий (задовільний стан) за умови, що показник від 0,4 до 0,5;
- чагарники, стан яких є незадовільним за умови, що показник від 0,2 до 0,4.

За таких умов чагарники стан яких є незадовільним візуально займають найбільшу площу, проте візуальне дешифрування території вказує на наявність на цих територіях трав'янистого ярусу. Тож для подальшої ідентифікації було використано іншу методику.

З метою оцінки площі зайнятої різними видами рослинності застосовано калькуляцію площ, що дозволило чисельно оцінити їх представленість у просторовій структурі міста (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Результати визначення типів ділянок та оцінка площі їх поширення за значенням NDVI

Значення NDVI	Типізація ділянки за значенням	Площа, км ²	%, від площі
>0,2	забудовані ділянки, заасфальтовані, або водні поверхні	2,5	9,15
0,2-0,4	ділянки з трав'янистою рослинністю	15,4	56,96
0,4-0,6	Ділянки, помірно вкриті добре вегетуючою деревною, рідше – щільною чагарниковою рослинністю	9,1	33,78
0,6<	Ділянки, щільною вкриті добре вегетуючою деревною рослинністю	0,1	0,11

За результатами класифікації (табл. 3.3) виявлено, що найбільшу площу займають ділянки з трав'янистою рослинністю - 56,96% території міста Чугуїв, найменшу площу займають ділянки вкриті щільною деревною рослинністю. Тобто, у розподілі об'єктів ЗІ більшу вагу має трав'яний ярус. Попри значний відсоток трав'янистого ярусу, можна стверджувати, що ЗІ в

місті недостатньо, адже ЗІ у вигляді деревної та/ або чагарникової рослинності здатна надавати більш якісні екосистемні послуги з очищення повітря, створення затінку, поглинання поверхневого стоку, регулювання ефекту МОТ.

3.5 Вуглецева ємність, як аргумент для розширення площі зелених зон

Забруднення атмосферного повітря, зокрема оксидом вуглецю, є однією з нагальних проблем урбосередовища [147, 148]. Зелена інфраструктура міст здатна зв'язувати в результаті фотосинтезу та депонувати CO_2 в собі, в ґрунтовому покриві тощо. Проте, вона має певну місткість. Вуглецева ємність території за [149] - це здатність зв'язувати та депонувати в різних частинах наземних екосистем (фітомасі, мертвій деревині, ґрунті) вуглець.

Питаннями вуглецевої ємності займають науковці з різних країн. Так колектив авторів з США в [150] відмітили, що стрімке зростання розвитку внутрішнього валового продукту призвело до посилення викидів парникових газів, через переважне використання викопного палива. Природні поглиначі вуглецю, такі як океани та наземні екосистеми, продемонстрували зниження своєї ефективності в поглинанні антропогенного CO_2 . Автори наголошують на необхідності посилення міжнародних зусиль у сфері скорочення викидів, покращення енергоефективності та підтримки природних екосистем для стимулювання кліматичних змін.

Низку робіт по вуглецевій ємності території мають науковці Інституту екології Карпат НАН України [151-153]. Автори здійснили оцінку запасів вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів, Українських Карпат результатами дослідження стали заходи щодо збереження лісових екосистем.

В роботі [151] увагу приділено накопиченню органічного вуглецю в старовікових лісах Вододільно-Верховинського хребта в Українських

Карпатах. Робота підкреслює значення старовікових лісів як ключових компонентів регіональної вуглецевої динаміки та їх роль у збереженні природної спадщини.

В статті [152] досліджуються актуальні запаси органічного вуглецю в лісових екосистемах Регіонального ландшафтного парку «Надсянський». Робота висвітлює екологічне значення парку в контексті збереження у формуванні вуглецевих резервуарів і кліматичної стійкості.

В статті [154] досліджуються запаси вуглецю в підстилці лісових екосистем Сколівських Бескидів. Автори аналізують накопичення органічного вуглецю в підстилці різних типів лісів залежно від умов місцезростання, віку деревостанів та видового складу дерев. Робота підкреслює важливість лісової підстилки як компонента вуглецевого балансу, що впливає на загальну екосистемну стійкість і процеси вуглецевого циклу.

До вивчення вуглецевої ємності долучились і представники Каразінського університету [155, 156]. В роботах проведено дослідження монопородних об'єктів зеленої інфраструктури в м. Харків. Це дослідження має важливе практичне та наукове значення, особливо для міст з високим рівнем урбанізації, таких як Харків. Оцінка вуглецевої ємності деревних насаджень дозволяє визначити їх роль у пом'якшенні наслідків змін клімату, зниженні концентрації вуглекислого газу в атмосфері та забезпечити екологічну стійкість урбаністичного середовища. З точки зору наукових досліджень результати роботи є корисними для розробки рекомендацій з управління зеленою інфраструктурою, її оптимізації та підвищення ефективності у контексті депонування вуглецю.

Дослідження підкреслює, що вуглецева ємність зелених насаджень є ключовим показником для оцінки їх екологічної ефективності. У повоєнних умовах, коли відновлення інфраструктури потребуватиме нових екологічних підходів, зелена інфраструктура стає інструментом для стабілізації вуглецевого балансу. У контексті вуглецевої ємності Харків і Чугуїв мають

різні екологічні умови та історичні особливості. Харків, будучи більшим містом з більш розвиненою інфраструктурою, має більше можливостей для впровадження масштабних проєктів з озеленення, що дозволяє йому акумулювати значні обсяги вуглецю. Однак Чугуїв, хоч і менший за розмірами, також має потенціал для збереження вуглецю за рахунок меншого навантаження на природу та можливості відновлення природних екосистем, попри меншу урбанізованість.

Ці дослідження формують основу для подальшого аналізу впливу зеленої інфраструктури на кліматичну стабільність з точки зору накопичення запасів вуглецю.

Вище зазначені статті доводять, що вивчення вуглецевої ємності необхідне для оцінки здатності екосистеми утримувати та поглинати вуглець, що є ключовим фактором у боротьбі з глобальним потеплінням.

Розрахунок запасу вуглецю зроблено за формулами (1.12-1.19). Для цього було створено своєрідну базу даних відносно:

- площі насаджень;
- породного складу;
- віку деревних насаджень;
- даних щодо поновлення деревини;
- індексу складу породи;
- бонітету та його кодування (1 та 2, 3 та 4);
- типу лісорослинних умов, їх коефіцієнту;
- повноти деревостану;
- запасу деревини на 1 м³;
- сухостою (м³/га);
- захищеності (м³).

До переваг використання методики запропонованої Лакидою П. І. [81] можна віднести те, що можливим стає вибір дерев, які здатні депонувати

більше органічного вуглецю. Тож змодельовавши різні типи деревостанів можна обрати найкращий варіант.

У таблиці 3. 4 наведено результати оцінки запасів органічного вуглецю та фітомаси в шести зелених зонах загального користування міста Чугуїв.

Таблиця 3.4

Запаси вуглецю в модельних ділянках міста Чугуїв

Назва модельної ділянки	запас вуглецю, т/га	разом жива фітомаса, т	разом відмерла фітомаса, С т	загальний запас органічного вуглецю, Ст	запас органічного вуглецю, С т/га
парк Мелодія	109,66	1102,73	96,5	706,79	115,87
сквер Чугуївський	160,55	97,65	29,5	706,79	115,87
сквер Слави	62,72	109,78	29,5	1151,39	75,75
Алея Пам'яті	223,97	224,83	29,5	61802, 88	78,82
парк Закоханих	109,66	1102,73	96,5	706,79	115,87
Парк культури і відпочинку ім. Іллі Рєпіна	77,24	459,80	29,5	1151,39	75,75

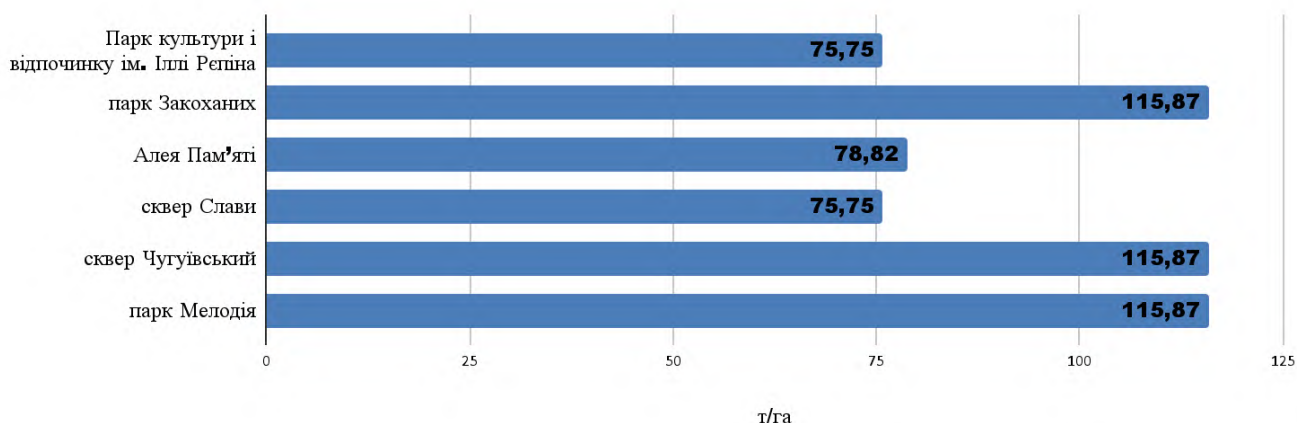


Рис. 3.28. Запаси органічного вуглецю в зелених зонах загального користування в місті Чугуїв

Розподіл запасів вуглецю у модельних ділянках, які представлені зонами загального користування в місті Чугуїв показав нерівномірність можливості депонування вуглецю (рис.3.29). Найбільший внесок у накопичення вуглецю має Алея Пам'яті, яка містить 30,1% загального запасу вуглецю, сквер Чугуївський -21,6%, що вказує на важливість цих об'єктів у підтриманні вуглецевого балансу міста. Дещо нижчі показники спостерігаються у парків "Мелодія" та "Закоханих" (по 14,7%), що може бути пов'язано з видовим складом рослинності. Меншу частку у загальних запасах вуглецю мають Парк культури і відпочинку ім. Іллі Рєпіна (10,4%) та Сквер Слави (8,4%), що може свідчити про переважання видів із меншою накопичувальною здатністю вуглецю.

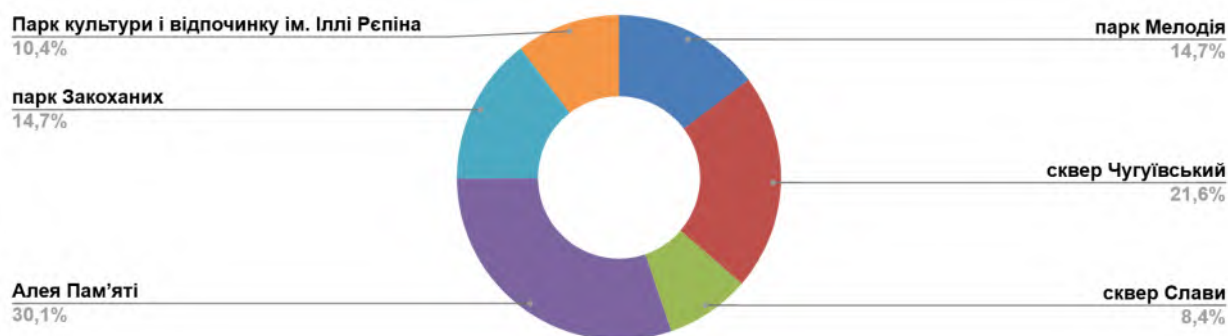


Рис. 3.29. Запаси вуглецю у %, в зелених зонах загального користування в місті Чугуїв

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити такі висновки:

1. Найбільший запас вуглецю на одиниці площі зафіксовано на території Алеї Пам'яті (223,97 т/га), що свідчить про високу ефективність цієї ділянки при депонуванні вуглецю. Друге місце посідає сквер Чугуївський (160,55 т/га). Найнижчий показник зафіксовано у сквері Слави (62,72 т/га) (рис. 3.28).

2. Максимальні запаси живої фітомаси спостерігаються у парку Мелодія та парку Закоханих (по 1102,73 т). Найменший показник належить скверу Чугуївському (97,65 т). Запаси відмерлої фітомаси варіюють у межах від 29,5 до 96,5 т, найбільше значення характерне для парку Мелодія та парку Закоханих (по 96,5 т).

3. Найвищі показники щодо запасів органічного вуглецю зафіксовані у парку Мелодія, сквері Чугуївському та парку Закоханих (по 115,87 т/га). Мінімальні значення спостерігаються у сквері Слави та парку культури і відпочинку ім. Іллі Рєпіна (по 75,75 т/га) (рис. 3.29).

Визначення вуглецевої ємності модельних ділянок в місті Чугуїв дозволило виявити потенціал до депонування органічного вуглецю в парку Мелодія та сквері Чугуївському, які представлені в основному моно культурою гіркокаштану.

Висновки до третього розділу

1. Визначення ділянок з прискореним поверхневим стоком на основі моделювання цифрової моделі рельєфу дозволило визначити місця потенційної акумуляції поверхневого стоку. З метою створення дощових садків для акумуляції стоку визначено потенційні місця, в яких природним чином буде відбуватись накопичення води в разі дощової погоди.

2. З метою виявлення водного стресу в об'єктах зеленої інфраструктури в місті Чугуїв здійснено за допомогою даних супутникових знімків Landsat-8, за трирічний період та використано відповідно знімки за липень 2022, 2023 та 2024 року. В ході дослідження виявлено, що у місті не спостерігався водний стрес, що дає змогу визначити, що об'єкти зеленої інфраструктури не будуть відчувати водний стрес та здатні до нормального функціонування, та можливим є подальше розширення об'єктів зеленої інфраструктури.

3. Зони з екологічно несприятливими умовами в місті Чугуїв визначені збігаються з селітебним ландшафтом та промисловим ландшафтом в місті Чугуїв. Такі території піддалися найбільшому впливу процесу урбанізації. Найбільш екологічно сприятливі умови спостерігаються в межах рекреаційного типу ландшафту. Ці зони мають менше антропогенне втручання та є більш екологічно цілісними. Картографічне зображення демонструє, що екологічна цілісність території міста Чугуїв варіюється залежно від рівня антропогенного впливу. Зони, які визначено як екологічно несприятливі потребують включення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури, що дозволить знизити наслідки урбанізації.

4. За результатами інтерпретації значення NDVI було виявлено, що найбільшу площу займають ділянки з трав'янистою рослинністю - 56,96% території міста Чугуїв, найменшу площу займають ділянки вкриті щільною деревною рослинністю.

5. Дослідження ефекту міського острова тепла на території дослідження виявило тедецію зростання температурних показників у суцільно заасфальтованих ділянках. Обстеження зеленої зони на Центральному бульварі показали, що важливим є не тільки наявність об'єктів зеленої інфраструктури, але і вдалість агротехнічних заходів щодо догляду за ними, так суцільно скошене газонне покриття має меншу здатність до регуляції мікроклімату, ніж газонне покриття з густим на високим шаром. Польові дослідження тепловізійною зйомкою підтвердили важливість інтеграції зеленої інфраструктури в міське середовище для адаптації до змін клімату та покращення умов життя в містах.

6. Найбільший внесок у накопичення вуглецю має Алея Пам'яті, яка містить 30,1% загального запасу вуглецю, сквер Чугуївський -21,6%, що вказує на важливість цих об'єктів у підтриманні вуглецевого балансу міста. Найбільший запас вуглецю на одиниці площі зафіксовано на території Алеї Пам'яті (223,97 т/га), що свідчить про високу ефективність цієї ділянки при депонуванні вуглецю. Найвищі показники щодо запасів органічного вуглецю зафіксовані у парку Мелодія, сквері Чугуївському та парку Закоханих (по 115,87 т/га).

Результати проведених наукових досліджень, викладених у розділі 3, опубліковані у наукових працях автора [156-159]

РОЗДІЛ 4.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗЕЛЕНО-БЛАКИТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА ЧУГУЇВ

4.1 Напрямки оптимізації зелено-блакитної інфраструктури м. Чугуїв

Оптимізація зелено-блакитної інфраструктури міста Чугуїв базується на комплексному аналізі просторової організації міських ландшафтів, екологічному стані міста, визначеному на основі застосування даних дистанційного зондування, проведенню польових досліджень, оцінці наявних природних комплексів та об'єктів зеленої інфраструктури.

Аналіз територіальної організації урболандшафтів дозволив визначити найбільш антропогенно змінені ділянки території міста, а також виявити нерівномірний розподіл рекреаційного типу ландшафтів по території міста.

Значну увагу приділено геоінформаційному моделюванню, яке дозволило оцінити існуючу конфігурацію зеленої та блакитної інфраструктури та виявити зони, що потребують втручання шляхом створення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури. Використання методів дистанційного зондування Землі дозволило визначити територію з незадовільним екологічним станом, високим рівнем водного стресу, щільність наявних елементів зеленої інфраструктури.

Отримані результати покладені в основу рекомендацій щодо просторового коригування зелено-блакитної інфраструктури, шляхом створення нових об'єктів озеленення, ревіталізацію пошкоджених природних територій та вдосконалення системи управління водними ресурсами. Оптимізація цих процесів сприятиме підвищенню екологічної стійкості території Чугуєва, покращенню якості життя мешканців та формуванню гармонійного міського середовища.

4.1.1 Рекомендації зі створення нових об'єктів зеленої інфраструктури

Для облаштування нових об'єктів зеленої інфраструктури в місті Чугуїв пропонується: створення зелених зупинок, вертикального озеленення, модульного озеленення, зелені парковки. Такі об'єкти в місті дозволяють створювати зелені зони, при цьому не вилучати територію під їх облаштування.

Першим об'єктом, який пропонується для збільшення кількості зеленої інфраструктури є облаштування зелених зупинок. Місцем для облаштування є міська автостанція (рис. 4.1). Площа автостанції в місті Чугуїв займає площу 0,59 гектарів, а об'єкти зеленої інфраструктури, які розташовані поруч з автостанцією - 0,08 гектарів. На території автовокзалу спостерігається значне підвищення температури повітря, що пов'язано зі значною заасфальтованістю території. Також важливим аспектом території автостанції є значне забруднення атмосферного повітря вихлопними газами, адже з міського автовокзалу щоденно відправляється сотні рейсів.



Рис. 4.1. Міська автостанція м. Чугуїв

Джерело: розроблено автором

На автостанції міста Чугуїв з наявних елементів зеленої інфраструктури є облаштований газон площею 0,04 га та газон з 4 поодинокими деревами площею 0,04 га.

Для облаштування зелених зупинок можна використати вже існуючі зупинки. Таких облаштованих зупинок на автостанції чотири. Схематичне зображення конструкції представлено на рис. 4.2. Вона має включати декілька шарів:

- перший шар це самі рослинні угруповання;
- шар субстрату;
- шар фільтрації;
- дренажний шар, який виконує функцію водовідведення;
- захисний шар, який необхідний для захисту зупинки від механічних пошкоджень конструкції корінням рослин;
- гідроізоляційний шар, що захищає конструкцію зупинки від процесів корозії.

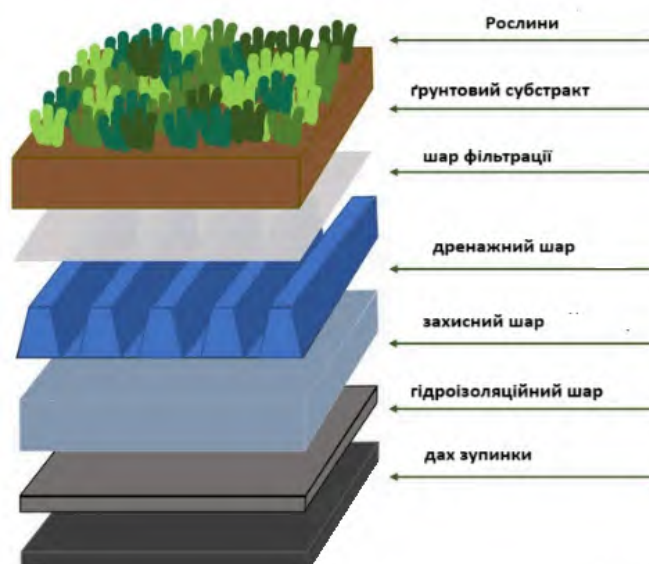


Рис. 4. 2. Схематичне зображення облаштування зеленої зупинки

Джерело: розроблено автором

Для зелених зупинок важливо підібрати рослини, які підходять для екстремальних умов міського середовища, мають високу витривалість, мінімальні вимоги до догляду та будуть гармонійно виглядати в урбаністичному просторі.

Одними з найкращих рослин для облаштування є сукуленти, такі як очиток, ехеверія, кам'яна троянда чи алое. Ці рослини невибагливі, добре переносять посуху завдяки здатності накопичувати воду в своїх листках і не потребують частого догляду. Їх компактний розмір і декоративний вигляд роблять - ідеальними для використання на дахах зупинок. Ґрунтопокривні рослини, такі як барвінок, чебрець або гвоздика травянка, стануть чудовим вибором для створення щільного зеленого покриття.

Для комплексної оцінки переваг та недоліків від застосування зелених зупинок в місті Чугуїв було здійснено SWOT-аналіз. Результати представлено в Додатку Б, а в Додатку В представлено екосистемні послуги, які можна отримати від використання зелених зупинок.

Впровадження зелених зупинок у місті Чугуїв є перспективною ініціативою, яка має значний позитивний вплив на екологічний, економічний та соціальний розвиток. Екологічно - це покращення якості повітря, зниження теплових островів та підвищення біорізноманітності. Економічний ефект - може залучити інвестиції, створити нові робочі місця та оптимізувати витрати на міську інфраструктуру. Соціально - це покращення формування комфортного міського простору, підвищення рівня екологічної обізнаності та зміцнення почуття спільності серед людей. Проте реалізація вимагає постійного планування, фінансової підтримки, ефективного догляду за рослинами та роботи з громадою для підвищення вандалізму й забезпечення тривалої підтримки проєкту.

Наступним видом об'єктів зеленої інфраструктури, які рекомендується створювати в місті Чугуїв є вертикальне озеленення. Об'єктами вертикального озеленення в місті можуть бути як зелені дахи так і стіни. При

створенні зелених дахів можна отримати: затримку опадів, охолодження поверхні крівлі влітку, а взимку навпаки затримку тепла, що в свою чергу, позитивно впливає на енергоефективність будівель [46].

Більша частина науковців, які займаються вивченням зелених дахів [160-162] вирізняють три основні типи: екстенсивні, інтенсивні та напівінтенсивні [163, 164]. Різниця між типом дахів полягає в першу чергу в типі рослин, що будуть висаджені на даху, а в другу чергу у важкості конструкції, яка необхідна для створення оптимальних умов зростання.

Екстенсивні зелені дахи - це дахи, що характеризуються висотою рослин до 10 см та майже не потребують особливого догляду. Як ландшафтний матеріал використовують суху адаптовану рослинність таку як седуми та мохи. Перевагами екстенсивних дахів є легкість конструкції та менші витрати на догляд [165].

Другий тип зелених дахів – напівінтенсивні. Характерною рослинністю таких дахів є лугові рослини та різні види декоративних рослин, які потребують додаткового поливу та постійного догляду.

Інтенсивні дахи - це дахи, на яких можна вирощувати всі види рослинних насаджень, з висотою рослин від 20 см до 1 м. Часто інтенсивні дахи прикрашають створенням водних об'єктів. Недоліком такого типу зеленого даху є більша вага конструкції, що унеможлиблює його використання на багатьох дахах, найкраще застосовувати на нових будівлях, спроектованих спеціально для утримання конструкції.

Але для створення такого об'єкту варто враховувати технічні можливості будівлі. В роботі [166] розглядаються можливості використання панельних будинків, які побудовані в кінці 1970-80 рр., під створення зелених дахів. Автори прийшли до згоди в питанні щодо необхідності підбору типу зеленого даху в залежності від навантаження, яке може витримати будівля. В розглянутій роботі зазначено, що сила тиску кожного з типів зеленого даху буде:

- екстенсивного даху - $0,5 \text{ кН/м}^2$;
- ніпівінтенсивного даху - $0,9 \text{ кН/м}^2$;
- інтенсивного даху - понад $0,9 \text{ кН/м}^2$.

Враховуючи, що дані щодо технічних особливостей будівель в місті Чугуїв значно різняться за віком та типом матеріалів, пропонуємо облаштування найлегшого типу дахів, а саме екстенсивного. При виборі будівель для облаштування використано аргументи з [166].

Оптимальним виявився житловий квартал багатоповерхової забудови вздовж вулиці Кожедуба (рис. 4.3). Всі житлові будинки там - це панельні девятиповерхові будівлі, які побудовані в період 1970-80 років.



Рис. 4.3. Місця для облаштування екстенсивних зелених дахів

Джерело: створено автором

Орієнтовний вигляд конструкції зеленого екстенсивного даху представлено на рис. 4.4. Схему створено на основі джерел [167, 168]. В таблиці 4.1 запропоновано варіанти рослинних угруповань, які можна облаштувати на екстенсивних зелених дахах в місті Чугуїв.



Рис. 4.4. Схематичне зображення екстенсивного даху

Джерело: розроблено автором

Таблиця 4.1

Варіанти рослинних угруповань для створення екстенсивних дахів

Назва рослини	Латинська назва	Особливості вирощування	Переваги
чебрець повзучий	<i>Thymus serpyllum</i>	Полюбляє сонячні місця, потребує добре дренованого субстрату, стійкий до посухи.	Ароматний, приваблює запилювачів, створює щільний ґрунтопокривний шар.
Котовник Фассена	<i>Nepeta faassenii</i>	Стійкий до посухи, добре росте на сонячних ділянках, невибагливий до субстрату.	Тривале цвітіння, приваблює метеликів і бджіл, додає декоративності.
Гвоздика трав'янка	<i>Diáanthus deltoídes</i>	Зростає на легких субстрактах, добре переносити посуху, полюбляє сонце.	Компактна, яскраве цвітіння, не потребує інтенсивного догляду.
Молодило покрівельне	<i>Sempervivum tectorum</i>	Зростає на бідних ґрунтах, потребує	Декоративний вигляд, стійкість

Продовження табл.4.1

		мінімального поливу, стійке до морозів.	до несприятливих погодних умов, тривале життя без пересадки.
Очиток звичайний	<i>Hylotelephium telephium</i>	Стійкий до посухи, потребує мінімального шару субстрату (3-5 см), невибагливий до якості субстрату.	Легкий, витривалий, добре переносити екстремальні температури, швидко утворює щільний килим.

Ще одним рішенням щодо облаштування вертикальних об'єктів зеленої інфраструктури є створення зелених стін. Як було раніше зазначено в роботі, організувати зелені стіни можна за допомогою побудови контейнерної конструкції або за допомогою в'юнких рослин. Для міста Чугуїв найкращим варіантом буде другий спосіб організації, адже він:

- вимагає значно менших фінансових витрат;
- в'юнкі рослини, що природно огортають стіни або конструкції, створюють більш гармонійний і природний вигляд;
- в'юнкі рослини не потребують постійного спеціального догляду;
- в'юнкі рослини (наприклад, плющ звичайний, дикий виноград, клематис) добре адаптовані до місцевих кліматичних умов. Вони здатні витримувати температурні коливання, посуху чи рясні дощі, що знижує ризики втрат і витрати на догляд.

Щодо вибору рослин, які можна використати для організації зелених стін запропоновані види представлені в таблиці 4.2.

Перевагами від створення зелених стін в місті Чугуїв будуть:

- створення додаткових зелених зон;
- покращення якості повітря;
- зниження температури навколишнього середовища;

- шумозахисна функція для будівлі.

Таблиця 4.2

Варіанти в'юнких рослин для створення зелених стін

Назва рослини	Латинська назва	Особливості вирощування	Переваги
В'юнка троянда	<i>Rosa 'Florentina'</i>	Потребує сонячних місць або легкого затінення; добре дренованого ґрунту; регулярного підживлення.	Чудовий декоративний вигляд; рясне і тривале цвітіння; стійкість до помірних заморозків.
Клематис	<i>Clematis spp.</i>	Потребує сонячних ділянок із захищеними коренями; потребує регулярного поливу; добре дренованого і поживного ґрунту.	Різноманітність кольорів і форм квітів; рясне цвітіння; швидкий ріст.
Жимолость	<i>Lonicera spp.</i>	Вирощується на сонячних або затінених ділянках; потребує регулярного поливу; добре переносить обрізання.	Приємний аромат квітів; швидкий ріст; стійкість до погодних умов.
Дівочий виноград	<i>Parthenocissus</i>	Невибагливий, росте на сонці й у затінку; підходить будь-який тип ґрунту; швидко розростається.	Висока морозостійкість; самостійно кріпитися до стіни; створити густий покрив
Плющ	<i>Hedera helix</i>	Потребує затінених або напівзатінених ділянок; любить вологий, родючий ґрунт, але може адаптуватися до різних умов.	Висока зимостійкість; швидкий ріст; здатність до самокріплення; добре очищає повітря.

Джерело: створено автором на основі [169]

Цікавим елементом ЗІ для створення в місті Чугуїв можуть стати об'єкти мобільного озеленення. Мобільне озеленення, яке включає використання контейнерних рослин, модульних систем та переносних конструкцій, є ефективним інструментом покращення якості міського

середовища. В Україні цей підхід набуває все більшої популярності завдяки своїй гнучкості та здатності адаптуватися до сучасних урбаністичних викликів. Такі об'єкти легко переміщати, дозволяючи швидко реагувати на зміни міського простору. Наприклад, у Львові контейнерні рослини широко використовуються для озеленення центральної частини міста, де стаціонарні насадження можуть перешкодити туристичному руху. У Києві мобільні квітники встановлюються під час масових заходів, таких як ярмарки чи фестивалі, що додає території естетичної привабливості без необхідності капітальних змін. В місті Харків об'єкти мобільного озеленення відіграють важливу роль у оздобленні ХАТОБу та такі об'єкти повсюдно зустрічаються у парку Шевченка.

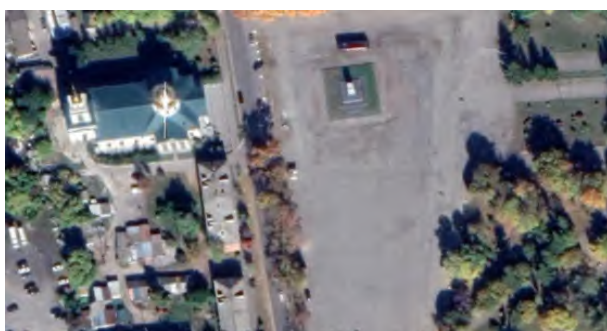
Мобільні об'єкти можна поділити на два основні види:

- стаціонарні, ті, які будуть встановлені на тривалий час;
- переносні, ті, які за потреби можливо переносити та прибирати при настанні зими [170].

В виборі рослинних угруповань для оснащення можна обирати трави, квіткові рослини, кущі та дерева, а також комбінації з них. Такий елемент зеленої інфраструктури дозволить збільшити кількість об'єктів, не змінюючи територіальну структуру міста.

На рис. 4.5 зображено бажані місця для розташування об'єктів мобільного озеленення в місті. На території міської площі розміщено суцільне асфальтове покриття, яке посилює ефект міського острова тепла. Таке покриття не тільки збільшує накопичення теплової енергії в денний час, але й уповільнює її випромінювання вночі, що створює дискомфорт для мешканців і погіршує мікроклімат. Установка мобільних об'єктів озеленення по периметру площі є ефективним засобом для боротьби з цим явищем. Ці зелені елементи, крім очевидного покращення естетичної привабливості, можуть впливати на важливу екологічну функцію: поглинати пил, вуглекислий газ та інші забруднюючі речовини, водночас продукуючи кисень,

що суттєво покращує якість атмосферного повітря. Додатково мобільне озеленення може виконувати роль бар'єрів для обмеження руху транспорту, зокрема в частині міста, де виражений центральний автомобільний трафік створює додатковий шум і забруднення. Це дозволить зменшити негативний вплив транспорту на навколишнє середовище та підвищити безпеку для пішоходів.



а) міська площа



б) територія автовокзалу



в) вулиця Торгова



г) бульвар Комарова

Рис. 4. 5. Місця для розташування об'єктів мобільного озеленення

На території автовокзалу такі об'єкти можуть мати ще більш багатофункціональну роль. Зелені конструкції здатні створити затінок для пасажирів, які очікують транспорт, забезпечуючи комфортні умови в літню спеку. Вони також сприяють покращенню мікроклімату, знижуючи температуру навколишнього середовища та підвищуючи рівень вологості

повітря. Мобільне озеленення може бути використано для зонування території або обмеження в'їзду до автостанції.

На вулиці Ждановського та бульварі Комарова натурне обстеження виявило відсутність елементів зеленої інфраструктури. Ці ділянки характеризуються великою площею твердого покриття, яке акумулює тепло, що особливо відчутно в літній період. Тепловізійне обстеження підтвердило наявність значного підвищення температури в цих зонах, що зумовлює формування локальних осередків теплового стресу.

Загалом, облаштування об'єктів мобільного озеленення на території міста Чугуїв, зокрема міській площі, автовокзалі та вулицях із недостатнім рівнем озеленення, є перспективним рішенням для зменшення негативного впливу урбанізації та покращення екологічної ситуації. Такі заходи сприяють не тільки зниженню ефекту міського острова тепла, але й забезпечують жителів та гостей міста комфортними умовами для перебування, створюють простір, який є естетично привабливим і функціональним. Водночас впровадження мобільного озеленення є швидким і досить недорогим способом трансформації міського середовища, що дозволяє адаптувати його до сучасних кліматичних та соціальних викликів.

Наступним пропонованим кейсом для збільшення кількості об'єктів зеленої інфраструктури є облаштування осередків природного біорізноманіття.

Ці осередки мають на меті створення екологічно стійких зон, що сприяють відновленню та збереженню різноманіття місцевої флори і фауни, а також покращують якість життя в урбанізованих районах.

Місцями для створення таких об'єктів можуть стати як вже існуючі місця, які відведені під газони, так і зовсім нові ділянки. Існуючі газони, парки та зелені зони в місті можуть стати відправною точкою для створення осередків природного біорізноманіття. Вже наявні площі можуть бути оптимізовані шляхом:

- включення місцевих видів рослин, які будуть підтримувати екологічний баланс та сприятимуть зростанню біорізноманіття;
- створення природних середовищ для птахів, комах та дрібних тварин, зокрема через висадку чагарників, дерев, квіткових рослин, які приваблюють запилювачів.

Гарний приклад з реалізації такого проєкту в місті Ческе-Будейовіце [171]. В основу проєкту лягло те, що ґрунтовий покрив значний час може зберігати в собі насіння дводомних рослин, які здатні проростати самовільно, а в результаті можна отримати природний газон, який може виступати осередком природного біорізноманіття не витрачаючи на це кошти. В результаті реалізації мешканці міста отримали: покращення мікроклімату, естетичні зелені зони, покращення загального самопочуття мешканців.

Тож реалізація такого простого й малозатратного природоорієнтованого рішення може покращити якість міського середовища.

Гарним об'єктом для створення в місті Чугуїв також є зелені парковки. Зелені парковки - місце для парковки автотранспорту, яке засіяно газонною травою, на якій організована конструкція з газонними ґратами, які здатні запобігати пошкодженню кореневої системи рослин [172].

Оптимальними місцями для розміщення зелених парковок в місті Чугуїв можуть стати ділянки представлені на рис. 4.6. Місця, обрані для облаштування зелених парковок - це існуючі парковочні місця, а також місця, де зазвичай паркуються автомобілі в місті (біля міського ринку).

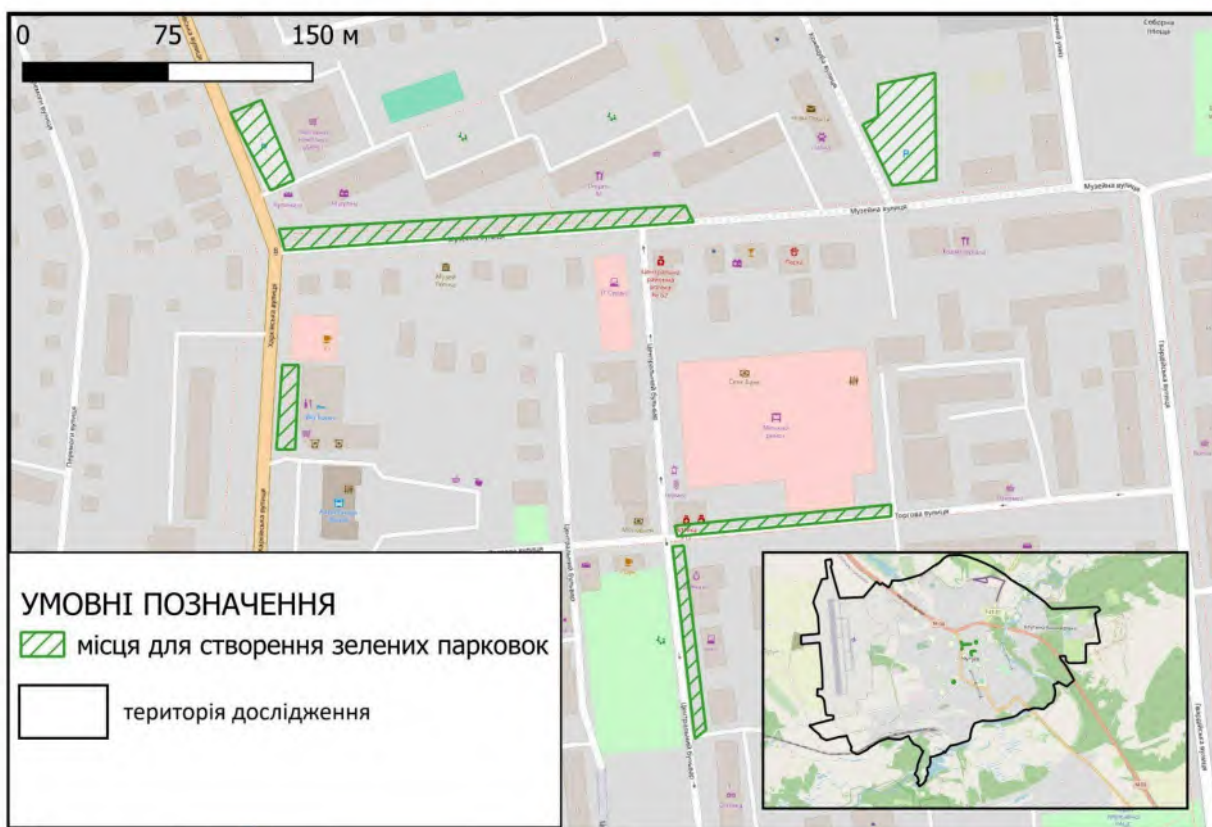


Рис. 4.6. Картографічне зображення рекомендованих місць для створення зелених парковок в місті Чугуїв

Джерело: розроблено автором

Для облаштування зелених парковок в місті Чугуїв необхідно використати такі матеріали:

1. Тротуарна плитка з дренажними отворами або ґратчасті модулі для трав'яного покриття.
2. Субстрат для вирощування.
3. Газонні трави, стійкі до механічного навантаження.
4. Геотекстильні матеріали для відведення зайвої вологи.

Схематичне зображення зеленої парковки представлено на рис. 4.7.

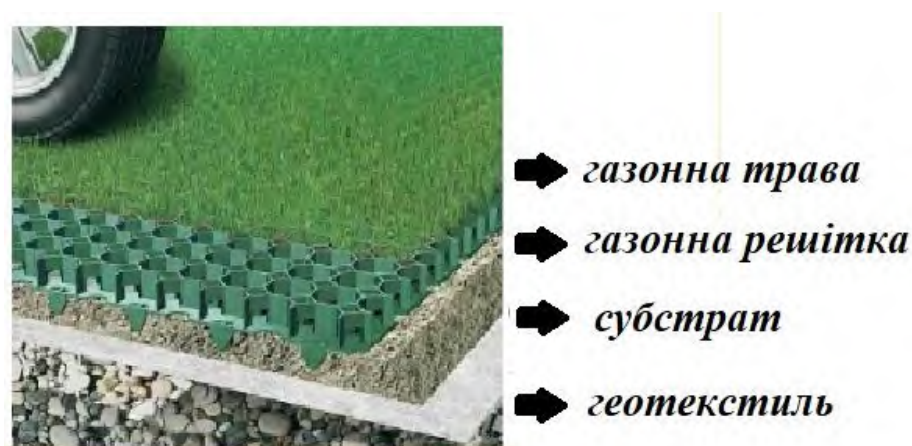


Рис. 4. 7. Схематичне зображення зеленої парковки

Джерело: розроблено автором на основі

Перевагами від застосування зелених парковок в місті буде:

- покращення якості повітря за рахунок поглинання CO₂ та інших забруднювачів рослинністю;
- зменшення ефекту МОТ через зниження температури в зоні парковки;
- поліпшення дренажу та зменшення обсягу стічних вод завдяки, природному просочуванню в ґрунтовий покрив води;
- збільшення зелених зон в місті без вилучення території.

З метою збільшення кількості об'єктів зеленої інфраструктури в місті Чугуїв запропоновано низку оптимальних та низькозатратних рішень серед яких наявні: зелені парковки, модульне озеленення, осередки природного біорізноманіття, елементи вертикального озеленення стін, так і більш витрані такі як створення зелених зупинки, створення екстенсивних дахів.

Впровадження запропонованих заходів стане основою для створення комфортного, екологічно збалансованого та привабливого міського середовища, підвищуючи якість життя мешканців та сприяючи сталому розвитку міста. Запропоновані рішення щодо використання певних рослинних угруповань можуть слугувати основою для створення не тільки

об'єктів зеленої інфраструктури в місті Чугуїв, а й в інших містах зі схожими проблемами та умовами.

4.1.2 Ревіталізація об'єктів зеленої інфраструктури в місті Чугуїв, які постраждали внаслідок військових дій

Повномасштабне вторгнення в Україну, яке почалось в лютому 2022 року призвело до знищення та руйнації українських міст. Особливо негативного впливу війни зазнає рослинність в урболандшафтах.

Внаслідок процесів бомботурбації зелено-блакитна інфраструктура пошкоджується шляхом:

- фізичного знищення або часткового ушкодження об'єктів ЗІ, а саме дерев, кущів як наслідок часткова або повна втрата ними здатності виконувати функцію з очищення повітря та продукування кисню;
- руйнації цілісності газонних покриттів, що призводить до втрати ними утримувати вологу;
- руйнації та порушення ґрунтового покриву, що призводить до втрати середовища існування рослинного та тваринного світу, порушення ланцюгів живлення рослин, які харчуються за рахунок поживних речовин в ґрунті ;
- як результат вибуху в повітря виділяються хімічні сполуки, що пригнічують ріст та розвиток рослин;
- знищення об'єктів зеленої інфраструктури для фортифікаційних споруд.

Повномасштабне вторгнення рф в Україну з перших днів війни відобразилося на місті Чугуїв. Так як місто розташоване близько до кордону з рф, воно зазнало обстрілів з різних видів зброї. Найбільша кількість обстрілів в місті Чугуїв фіксувалися протягом лютого-вересня 2022 року, коли відстань від міста до окупованої території становила 5-6 км.

Один з перших обстрілів прийшовся у підвір'я житлової забудови в об'єкт зеленої інфраструктури, а саме прибудинкову ділянку, яку часто використовують як клумбу або газон. Такі влучання в місті Чугуїв є досить частим явищем.



Рис. 4.8. Одне з перших влучань на території м. Чугуїв (24.02.2022 р.) [173]

У місті Чугуїв внаслідок процесу бомботурбації було ушкоджено різні типи об'єктів зеленої інфраструктури, типові наслідки влучань представлено на рис. 4.9:

а, г) в прибудинкову територію, що представлена газоном призводить до таких наслідків:

- пошкодження верхнього родючого шару ґрунтового покриву;
- пошкодження кореневою системи рослин, що, як наслідок, призводить до збільшення ерозійних процесів ґрунтового покриву;
- зниження здатності рослинного покриву утримувати вологу;
- забруднення ґрунтового покриву внаслідок розриву снаряду важкими металами, що погіршує його родючість;
- зниження функції з регуляції мікроклімату;
- зниження функції з затримки дрібнодисперсного пилу;

б) в садки, що призводить до таких наслідків:

- втрата дерев, що призводить до зменшення біорізноманіття;
- втрата врожаю як наслідок втрата продуктів харчування, що призводить до економічних наслідків, зокрема підвищення цін;

- знищення місць існування маленьких екосистем та втрата зв'язків в ланцюгах живлення;

- зниження здатності дерев поглинати та затримувати вологу;

- зниження здатності продукувати кисень;

- зниження здатності регуляції мікроклімату;

в) влучання в природні об'єкти зеленої інфраструктури, зокрема лісові галявини:

- знищення лісових екосистем;

- втрата біорізноманіття як рослинного, так і тваринного світу;

- збільшення парникового ефекту за рахунок втрати дерев, адже вони поглинають значну кількість вуглекислого газу, який є одним з причин парникового ефекту;

- збільшення ризику виникнення вітрової ерозії, особливо на схилах та в інших уразливих місцях;

- втрата екосистемних послуг з забезпечення, адже ліси забезпечують такими ресурсами як деревина, лікарські рослини та харчові продукти.



а) прибудинкова територія [174]



б) шкільний садок [175]



в) лісова галявина



г) прибудинкова територія [176]

Рис. 4.9. Наслідки влучання в різні об'єкти в місті Чугуїв з пошкодженням ЗІ

В місті Чугуїв у 2022 році зафіксовано навесні влучання в сквер Слави, внаслідок чого було пошкоджено природній газон; влітку того ж року - в міський парк культури та відпочинку імені І. Ю. Рєпіна - в споруду будинку культури, проте внаслідок вибуху пошкоджено всі прилягаючі до споруди дерева, які представлені акаціями та кленами (рис.4.10). Древа в міському парку культури та відпочинку імені І. Ю. Рєпіна внаслідок вибухової хвилі оголили свої крони, що призвело до неможливості виконання деревами своїх екосистемних послуг з регулювання, а саме поглинання вуглекислого газу та продукування кисню, а також регулюючу послугу, а саме регуляція мікроклімату.



а) влучання в сквер Слави [177] б) влучання в парк І. Ю. Рєпіна [178]

Рис. 4.10. Наслідки влучання в об'єкти ЗБІ в місті Чугуїв

В місті Чугуїв за рахунок невеликої площі місця дуже часто зустрічаються випадки повторних влучань в ті самі ж об'єкти. Так на вулиці Харківській протягом 2022-2024 року трічі було ушкоджено прибудинкову ділянку. Перше влучання в 2022 році призвело до значної втрати газону. Навесні 2023 року газонне покриття почало природним чином відновлюватись, проте кількість рослин значно знизилось.



Рис. 4.11. Наслідки обстрілу по вулиці Харківська в місті Чугуїв [179]

На рис. 4.11 зображено місця постраждалих газонних покриттів та дерев. Для цих місць обґрунтовано кейси з ревіталізації об'єктів зеленої інфраструктури. Червоним кольором на рис. 4.12 позначено місця, де постраждали лише газонні покриття, помаранчевим - місця з пошкодженими деревами та газонним покриттям.



Рис. 4.12. Схематичне зображення місць постраждалої зеленої інфраструктури в м. Чугуїв

Джерело: за автором

Створення нових та відновлення порушених об'єктів зелено-блакитної для міста Чугуїв є необхідним планувальним рішенням задля забезпечення екологічної стійкості міста та як один зі способів ревіталізації міста, яке страждає від постійних обстрілів.

Першим кроком у ревіталізації об'єктів зеленої інфраструктури будь-якого виду має бути повне знешкодження вибухових пристроїв, другим кроком має бути здійснення рекультивація ґрунтового покриву, адже зазвичай під час влучання в землю утворюється вирва як наслідок бомботурбації. Загальний план ревіталізації об'єктів зеленої інфраструктури представлено в Додатку Є.

Газони в місті Чугуїв є одним з перших об'єктів зеленої інфраструктури, які потребують ревіталізації, адже там фіксувалися найчастіші влучання. Найкращим рішенням у ході ревіталізації газонів є створення багаторічного різнотрав'я. Такий вид газону - це різновид газонного покриття, що складаються переважно з лучних рослин. Перевагою використання такого елементу зеленої інфраструктури є розвинена коренева система, що зменшує необхідність в поливі, а також затримує вологу під час дощів, дає змогу зменшувати поверхневий стік в місті. Також він надає більш якісну екосистемну послугу з очищення повітря, адже вони є вищими і більше поглинають забруднюючих речовин. Наступна екосистемна послуга це зниження температури повітря, також з підтримання природного біорізноманіття.

Для створення цього об'єкту зеленої інфраструктури з метою ревіталізації території необхідно здійснити вибір рослин, які будуть невибагливими до умов зростання, до таких видів можна віднести:

- конюшина біла (*Trifolium repens*) - перевагами від використання якої будуть: невибагливість до умов зростання, протистояння ерозії ґрунту за рахунок розвиненої кореневої системи, низькі витрати в догляді за рахунок відсутності необхідності в постійному поливі та відсутності необхідності в підстриганні. Рослина є багаторічною, що означає, що посів можна здійснити раз [180];
- волошка синя (*Centaurea cyanus L.*), попри те, що рослина є однорічником вона має значні переваги. Рослина є поширеним природним

видом, висота 20-40 сантиметрів, коренева система здатна затримувати ерозійні процеси, довгий період цвітіння з червня по вересень, медонос;

- мак дикий польовий (*Papaver rhoeas*) - перевагами використання цієї рослини - досить поширена рослина, має довгий період цвітіння з травня по серпень, висота рослини від 30 до 80 сантиметрів, невибагливі в догляді;

- гвоздики польові (*Dianthus campestris*)- цей вид є багаторічною рослиною, яка є невибагливою до умов зростання, має значну естетичну привабливість за рахунок яскравих квітів [181], цей вид має розвинену кореневу систему, що сприятиме затриманню вологи та утримуватиме ерозійні процеси;

- шавлія дібровна (*Salvia nemorosa*) - перевагами застосування цього виду буде: багаторічна рослина, висота рослини від 40 до 50 сантиметрів, рослина має розвинену кореневу систему, що сприятиме затримці ерозійних процесів, рослина є медоносом та буде приваблювати опилювачів.

Ревіталізація деревних рослин в місті Чугуїв внаслідок обстрілів повинна включати в себе:

- заходи з видалення аварійних дерев;
- викорчування вигорівших дерев;
- створення опор для дерев;
- висадка нових дерев.

При виборі нових дерев для посадки треба віддавати перевагу швидко зростаючим сортам, які вже за рік зможуть виконувати функції з очищення повітря, продукування кисню та затримки вологи. До таких видів можна віднести:

- катальпа (*Catalpa*)- є культурою, яка не вибаглива до умов зростання, вона є морозостійкою, потребує мінімального догляду, швидко

зростає, період цвітіння з червня по липень, має естетично привабливий вигляд, є чудовим медоносом [182];

- павловнія повстяна (*Paulownia tomentosa*)- є культурою, яка полюбляє сонячні місця для зростання, є морозостійкою, рослина здатна проростати в вільних екосистемах, тобто є рослиною піонером, коренева мережа забезпечує протидію ерозії ґрунтового покриву, через значний розмір листя рослина здатна гарно очищати повітря від забруднювачів, та забезпечує гарний процес фотосинтезу [183];

- клен гостролистий (*Acer platanoides L.*) - є культурою, яка є типовою для даної місцевості, швидко зростає, період цвітіння в першій половині травня, є чудовим медоносом [184];

- акація біла (робінія звичайна) (*Robinia pseudoacacia L.*) - швидкозростаюче алейне дерево, має корисні властивості для ґрунтового покриву, адже рослина відноситься до сімейства бобових, які насичують ґрунтовий покрив азотом, період цвітіння травень-червень, перевагами є невибагливість до ґрунтового покриву, рослина є світлолюбною та морозостійкою, є чудовим медоносом [185].

Такі рослинні угруповання в місті Чугуїв можуть стати найкращою заміною зруйнованим рослинним покриттям. Такі об'єкти мають низку екосистемних послуг: утримання вологи, протидія ерозійним процесам, краще очищення повітря за рахунок висоти рослин, зменшення витрат на утримання за рахунок відсутності потреби у додатковому поливі, відсутність потреби у косінні газона, та підвищення естетичної привабливості міста.

Ревіталізація зеленої інфраструктури міста Чугуїв є важливим елементом забезпечення його екологічної стійкості та частиною стратегії відновлення міста після руйнувань внаслідок військових дій. Основним завданням є відновлення пошкоджених ділянок зелених насаджень через створення стійких та екологічно корисних об'єктів, таких як газони з багаторічним різнотрав'ям та формування нових деревних угруповань. Ці

рослинні угруповання, завдяки своїм екосистемним послугам, сприяють зниженню ерозії, утриманню вологи, очищенню повітря та підтримці біорізноманіття в місті. Важливим етапом є також вибір невибагливих до умов зростання рослин, які потребують мінімального догляду та швидко відновлюються. Серед них — багаторічні трави, польові квіти, а також дерева, які ефективно виконують свої екологічні функції та сприяють відновленню міського ландшафту. Таким чином, відновлення зеленої інфраструктури в Чугуєві не тільки поліпшить екологічний стан міста, але й зробить його більш привабливим та комфортним для життя.

4.1.3 Шляхи оптимізації блакитної інфраструктури

Облаштування елементів блакитної інфраструктури може допомогти в вирішенні міських проблем, зокрема в рішенні проблеми з відведенням поверхневого стоку. До елементів, які можуть підійти для вирішення таких проблем можна віднести: дощові сади та міські водно-болотні угіддя.

Першим об'єктом для оптимізації став об'єкт блакитної інфраструктури, а саме річка Чугівка. Річка є невеликим водним об'єктом, яка протікає вздовж автошляху та наданий час річка є такою, що пересихає (рис. 4.13).

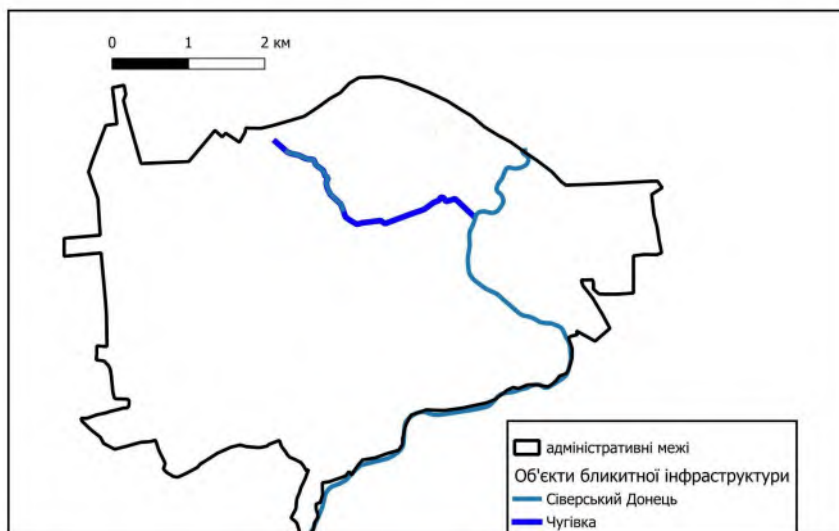


Рис. 4.13. Об'єкти блакитної інфраструктури м. Чугуїв

Тож пропонуємо створити водно-болотне угіддя, яке дозволить не тільки допомогти з вирішенням проблеми поверхневого стоку, а й дозволить підвищити біорізноманіття та підтримати вже існуюче за рахунок створення осередків для їх життя.

Для облаштування водно-болотних угідь необхідні такі матеріали, як субстрат, рослини та мікроорганізми, які забезпечують виконання основних функцій, зокрема очищення та утримання поверхневих вод.

При виборі субстрату краще зупинитись на використанні природних матеріалів: матеріали з біомаси, природні мінеральні матеріали, або використати вже існуючий алювій в місцях пересихання.

Для налаштування водно-болотних угідь доцільно місцевим рослинам, які відповідають таким вимогам: стійкість до високого вмісту органічних і поживних речовин, розвинених підземних органів для створення субстрату для прикріплених бактерій і забезпечення оксигенації ділянок біля коренів та кореневищ, а також висока надземна біомаса для забезпечення зимівлі. До таких рослин належать *Typha angustifolia*, *Phragmites australis* і *Typha latifolia*, які добре адаптовані до кліматичних умов і водно-болотних екосистем. Їх здатність до фітореMediaції також підтверджена [186].

За даними моделювання поверхневого стоку в місті здійснено оцінку місць потенційного підтоплення. Гарним рішенням для таких місць буде утворення дощових садів або канавок (рис.4.14). Дощові сади поглинають та затримують дощову воду, запобігаючи її накопиченню на поверхні. Це особливо важливо у районах без ливневої каналізації, де вода може застоюватися та спричиняти локальні підтоплення. Рослини та ґрунт у дощових садах працюють як природний фільтр, очищуючи воду від забруднювачів. Це покращує якість ґрунтових вод і зменшує забруднення місцевих водойм. Дощові сади є відносно недорогим рішенням порівняно з будівництвом повноцінної ливневої каналізації. Дощові сади допомагають місту адаптуватися до зміни клімату, зменшуючи негативний вплив інтенсивних опадів та сприяючи раціональному використанню водних ресурсів. Місця для потенційного облаштування дощових садів в м. Чугуїв за визначенням переважаючого напрямку поверхневого стоку та в місцях потенційного накопичення представлені в Додатку Ж.

Для створення такого об'єкту зелено-блакитної інфраструктури необхідною умовою є залягання ґрунтових вод не вище 90 см (рис. 4.15) [187]. Для облаштування необхідно:

- зробити заглиблення у 85 см;
- низ викласти ізоляційною плівкою, яка необхідна для не просочування води;
- прокласти дренажну трубу, яка необхідна для накопичення води в резервуарі (але це опція пропозиція, для використання води для поливу);
- засипати шаром 20 см щебені, це допоможе просочуванню води до дренажної труби;
- шар піску 10 см для дренажу;
- викласти шар товщиною 40 см суміші піску з ґрунтом, що слугуватиме субстратом для зростання;

- шаром в 5 см засипати галькою та камінням для недопускання вимиття субстрату;
- верхнім шаром садити рослини.

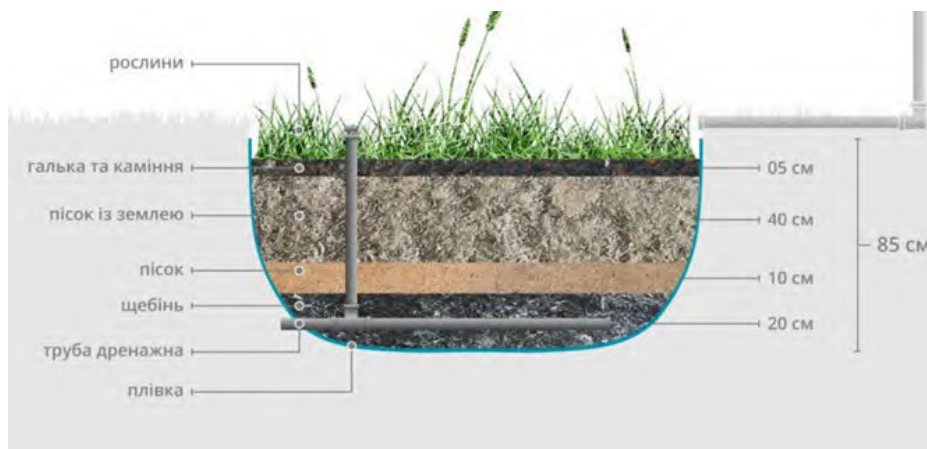


Рис. 4.14. Схема облаштування дощового саду

Джерело: на основі [187]

Для дощового саду в Чугуєві варто обирати місцеві рослини, адаптовані до кліматичних умов запропоновані види рослинних угруповань представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4. 3

Варіанти рослин угруповань для облаштування дощових садів

Назва рослини	Латинська назва	Особливості вирощування	Переваги
Лілійник жовтий	<i>Heimerocallis flava</i>	Тіньовитривалий, росте на вологих і слабокислих ґрунтах, стійкий до засух.	Добре утримує ґрунт, декоративний вигляд, тривале цвітіння.
Ірис болотний	<i>Iris pseudacorus</i>	Полюбляє постійну вологу, може рости навіть у воді на глибині до 30 см.	Ефективно затримує воду, очищує її від токсинів, декоративний вигляд.

Продовження табл. 4.3

Очерет звичайний	<i>Phragmites australis</i>	Росте на вологих ділянках, добре переносить підтоплення, стійкий до забруднення.	Допомагає в очищенні води, запобігає ерозії грунту.
Осока звичайна	<i>Carex vulpina</i>	Невибаглива до умов, росте на вологих, слабокислих ґрунтах, стійка до підтоплень.	Укріплює ґрунт, ефективно утримує воду, підтримує біорізноманіття.
Гірчак земноводний	<i>Persicaria amphibia (L.)</i>	Росте у водоймах і на вологих місцях, потребує регулярного зволоження.	Ефективний для очищення води, допомагає утримувати вологу в дощових садах.

Висновки до четвертого розділу

1. Для збільшення забезпеченості міського населення зеленою інфраструктурою запропоновано облаштування: екстенсивних дахів в житловому кварталі вздовж вулиці Кожедуба, облаштування зелених зупинок на автовокзалі міста, облаштуванні зелених стін з в'юнких рослин, встановлення об'єктів мобільного озеленення по вулиці Торговій, на центральній площі, облаштування зелених парковок по вулицям Музейна, Харківська, Торгова. Для кожного з запропонованих об'єктів представлено місця та схеми для облаштування, а також рослинні угруповання.

2. Внаслідок війни на території м. Чугуїв найчастіше з об'єктів ЗБІ страждають газонні покриття, особливо прибудинкових територій. Серед об'єктів загального використання в місті зафіксовано влучання на території двох об'єктів. Пошкоджені газони запропоновано ревіталізувати шляхом висадки на їх місці багаторічного різнотрав'я, з використанням аборигенних видів, зокрема, конюшина біла (*Trifolium repens*), волошка синя (*Centaurea cyanus* L.), мак дикий польовий (*Papaver rhoeas*) тощо. Ревіталізація деревостанів, які було пошкоджено має включати: заходи з видалення аварійних дерев; спилювання вигорілих дерев; створення опор для дерев; висадка нових дерев. При виборі нових дерев для посадки треба віддавати перевагу швидко зростаючим сортам, а саме: катальпа (*Catalpa*), павловнія повстяна (*Paulownia tomentosa*), клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.).

3. Для об'єктів блакитної інфраструктури у м. Чугуїв запропоновано облаштування водно-болотного угіддя на місці пересохлих частин р. Чугівка. З метою перерозподілу поверхневого стоку запропоновано облаштування дощових садів, що допоможе місту адаптуватися до зміни клімату, зменшуючи негативний вплив інтенсивних опадів.

Результати проведених наукових досліджень, викладених у розділі 4, опубліковані у наукових працях автора [186, 188, 189]

ВИСНОВКИ

1. Концепція зелено-блакитної інфраструктури є новим підходом до збалансованого та сталого розвитку міської території, багато різних науковців давали своє власне визначення ЗБІ, спільними рисами цих визначень є те, що це міські зелені та блакитні простори, які розглядають як стратегічно сплановану мережу природних і напівприродних ділянок, розроблених і керованих для надання широкого спектру екосистемних послуг в межах міста. Використання ЗБІ надає значну кількість переваг як місту так і його мешканцям, зокрема рослинність здатна поглинати CO₂, утримувати вологу, зменшувати міський острів тепла, знизити рівень шуму тощо. Попри незначну історію втілення концепції зелено-блакитної інфраструктури вона набуває значну популярність в різних куточках світу: країнах Європи, країнах Латинської Америки, США та країнах Сходу. В останні роки в Україні набуває популярності використання ЗБІ, проте це зазвичай є ініціативні проєкти, а законодавче підґрунтя чітко не регламентоване. Так в Україні вже почали з'являтися парклети, дощові сади, зелені фасади, зелені дахи та зелені зупинки. Важливим в таких проєктах створення ЗБІ є те, що вони створені за ініціативою, тобто вже з'являється попит та поінформованість населення про необхідність створення таких об'єктів.

2. Методика дослідження територіальної організації зелено-блакитної інфраструктури міста Чугуїв базувалась на використанні сучасних картографічних методів, даних дистанційного зондування Землі, методик розрахунку вуглецевої ємності та польових спостережень. Такий підхід дозволяє комбінувати якісні та кількісні методи для всебічного аналізу стану зелено-блакитної інфраструктури.

3. Для оцінки екологічного стану території міста використано комбінацію методів, що ґрунтуються на матеріалах ДЗЗ, а саме: проведено розрахунок спектральних індексів, які відображають ключові параметри

екологічного стану міста: нормалізований вегетаційний індекс (NDVI), індекс нормалізованої різниці вологості (NDMI), нормалізований індекс різниці забудови (NDBI), індекс рослинності з поправкою на ґрунт (SAVI), нормалізований індекс різниці ґрунту (NDSI) та інших похідних показників. Отримані результати надали наукове підґрунтя щодо необхідності створення нових об'єктів та оптимізації вже існуючих.

4. Природна ландшафтна диференціація у місті представлена такими типами: заплашний (27,55% території міста), борово-терасовий (9%), лесово-терасовий (48,3%), яружно-балковий (8,98%) та прирічковий (6,17%). Основні типи антропогенних ландшафтів: селітебні (33,66%), рекреаційні (22,99%), белігеративні (17,37%), промислові (10,55%), лінійно-дорожні (12,08%), агроландшафти (2,54%), аквально-антропогенні (0,8%).

5. Забезпеченість населення зеленою інфраструктурою становить 27,6 м² на одну особу. В порівнянні з нормами запропонованими ВООЗ місто потребує розширення об'єктів ЗІ.

6. Геоботанічне обстеження міста Чугуїв дозволило визначити домінуючі види деревних рослин: липи американські (*Tilia americana* L.), клени (*Acer* L.), ялина блакитна (*Picea pungens*), акація (*Robinia pseudoacacia*), каштан звичайний (*Aesculus hippocastanum*). Ярус кущів у місті представлено: бірючиною звичайною (*Ligustrum vulgare*), ялівцем козацькими (*Juniperus sabina*). Газони в місті представлені дикорослими рослинами, зокрема: кульбаба звичайна (*Taraxacum officinale*), конюшина (*Trifolium spp.*), ковила (*Stipa spp.*) та подорожники (*Plantago spp.*). Отримані результати дослідження стали науковим підґрунтям до вибору рослин для збільшення об'єктів ЗІ в місті.

7. Блакитна інфраструктура в місті Чугуїв представлена двома постійними водотоками - річками Сіверський Донець, його права притока - річка Чугівка та тимчасовими водотоками, що виникають на тальвегах балок.

8. Аналіз умов розподілу стоку в м. Чугуїв показав, що більша частина міста (94,86%) має непроникну поверхню, що сприяє інтенсивному поверхневому змив та підтоплення понижених ділянок рельєфу. Це зумовлює потребу в створенні об'єктів ЗБІ, які здатні відводити поверхневий стік.

9. Визначено об'єм і розподіл поверхневого стоку в урболандшафтах: селітебний малоповерховий тип збирає в собі 33,62% , белігеративний - 22,77 %, лінійно-дорожній - 16,81%, промисловий - 13,83%, селітебний багатоповерховий - 4,48%, громадська забудова - 3,36%, рекреаційний спеціального користування - 1,78%, рекреаційний загального користування - 1,29%, захисно-рекреаційний - 1,23%, агроландшафти - 0,84%. Дослідження показало важливість включення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури для коригування та затримки поверхневого стоку.

10. На основі побудови цифрової моделі напрямку поверхневого стоку визначено ділянки його потенційної акумуляції, де доцільно створення дощових садків, де природним чином буде відбуватись накопичення води в разі дощової погоди або інтенсивного сніготанення. До таких ділянок віднесені узбіччя доріг на вулицях 92-ої ОМБр, Перемоги, Музейній, Стадіонній, Давній вал, Нагірній, Івана Нечуй-Левицького, Підгірній, у провулку Відомчий та на площі Захисників Чугуєва. Також виділено осередки у парку імені І. Рєпіна, де попри значну кількість дерев, відсутнє газонне покриття і відбувається накопичення поверхневого стоку.

11. Результати значення індексу нормалізованої різниці вологості дозволили визначити достатність або недостатність зволоженості (водного стресу) для функціонування об'єктів зеленої інфраструктури в місті. Дослідження проведено за трирічний період показали, що більша частина території міста відповідає значенню низького рівню водного стресу (0-0,32 ум. од.), що є свідченням здатності нормально функціонувати наявним об'єктам зеленої інфраструктури та можливості подальшого розширення об'єктів.

12. Для оцінки забезпеченості ЗІ та її стану в м. Чугуїв, використано показник NDVI, який показав, що найбільшу площу займають ділянки з трав'янистою рослинністю - 56,96% території міста Чугуїв, найменшу площу займають ділянки вкриті щільною деревною рослинністю - 0,11%.

13. Оцінка екологічного стану міста Чугуїв на основі комплексу розрахованих спектральних індексів показали, що зони з екологічно несприятливими умовами в місті Чугуїв збігаються з селітебним ландшафтом та промисловим ландшафтом. Такі території піддалися найбільшому антропогенному впливу урбанізації. Найбільш екологічно сприятливі умови спостерігаються в зелених зонах міста та відповідають рекреаційним, зеленим зонам спеціального та загального користування. Ці зони мають менше антропогенне втручання та є більш екологічно цілісними.

14. Тепловізійна зйомка центральної частини міста Чугуїв показала, що наявність елементів зеленої інфраструктури, таких як газонне покриття, дерева та зелені стіни, сприяє зниженню температури поверхні на 13,5 °C порівняно з ділянками з асфальтованим покриттям. На ділянках з інтенсивним рухом транспорту та відсутністю зелених насаджень температура поверхні є значно вищою (9°C), що створює дискомфортні умови для пішоходів. Проведене дослідження довело важливість об'єктів ЗБІ для регуляції мікроклімату в місті, а також показало місця в яких необхідно створення об'єктів ЗБІ для покращення умов існування.

15. За розрахунком вуглецевої ємності модельних об'єктів зеленої інфраструктури встановлено, що найбільший запас вуглецю на одиниці площі зафіксовано на території Алеї Пам'яті (223,97 т/га), що свідчить про високу ефективність цієї ділянки при депонуванні вуглецю. Друге місце посідає сквер Чугуївський (160,55 т/га). Найнижчий показник зафіксовано у сквері Слави (62,72 т/га), тобто це місце потребує збільшення площі дерев, що дозволить зменшити кількість вуглекислого газу в атмосфері.

16. Внаслідок повномасштабного вторгнення РФ відбувається значне пошкодження зелено-блакитної інфраструктури, що супроводжується втратою її екологічних функцій, зокрема: руйнацією деревних і чагарникових насаджень, що знижує їхню здатність до очищення повітря та продукування кисню; порушенням цілісності газонних покриттів, яке призводить до втрати вологоутримувальних властивостей; деградацією ґрунтового покриву, що спричиняє втрату біотопів для рослин і тварин, а також дисбаланс трофічних ланцюгів; викидами вибухових хімічних сполук, які інгібують ріст і розвиток рослинності; та знищенням елементів зеленої інфраструктури для облаштування фортифікаційних споруд, що посилює екологічні ризики в міському середовищі. В місті Чугуїв найбільшому впливу піддалися газонні покриття в місті та деревні насадження. Для ревіталізації пошкоджених об'єктів запропоновано створення багаторічного різнотрав'я з використанням аборигенних видів - конюшини білої (*Trifolium repens*), волошки синьої (*Centaurea cyanus L.*), маку дикого польового (*Papaver rhoeas*).

17. На основі проведеного комплексу досліджень стану зеленої та блакитної інфраструктури в місті Чугуїв було запропоновано адресні рішення, які дозволять оптимізувати їх стан. Пропонується створення зелених зупинок на основі існуючих, вертикального озеленення (екстенсивних дахів в житловому кварталі багатоповерхової забудови по вулиці Кожедуба, та зелених стін з в'юнких рослин), модульного озеленення, зелених парковок.

18. З метою оптимізації блакитної інфраструктури в місті Чугуїв запропоновано створення водно-болотного угіддя в місцях пересихання річки Чугівка, що дозволить зберегти природний ландшафт в місті та забезпечити осередки біорізноманіття в місті. Створення дощових садів в місті є оптимальним рішенням для підтримки як зелено-блакитної інфраструктури так і дозволить частково вирішити проблему поверхневого стоку міста, яка пов'язана з відсутністю сірої інфраструктури у вигляді зливової каналізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Максименко Н. В., Бурченко С. В. Теоретичні основи стратегії зеленої інфраструктури: міжнародний досвід. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. № 31. С. 16-25. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31>
2. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Green Infrastructure (GI) –Enhancing Europe’s Natural Capital. European Commission: Brussels, Belgium. 2013. p. 11. URL: https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infra-structures/1_EN_ACT_part1_v5.pdf5 (дата звернення 01.02.2022 року).
3. Biodiversity by design. A guide for sustainable communities. Town and Country Planning Association, London, 2004. URL : https://tcpa.org.uk/data/files/bd_biodiversity.pdf (дата звернення 01.02.2022).
4. Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemela, J., James, P. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 81. P. 167–178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lan-durbplan.2007.02.0017>
5. John W. Dover. Green infrastructure. Incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments. Routledge, New York, 2015. P. 350.
6. Managing Wet Weather with Green Infrastructure. Action Strategy 2008 EPA, p. 38. URL: https://www.researchgate.net/publication/316216209_Managing_Wet_Weather_with_Green_Infra-structure (дата звернення 01.02.2022 року).
7. Green Infrastructure Guidance. Natural England, Sheffield, 2009. URL: https://water.rut-gers.edu/Green_Infrastructure_Guidance_Manual/2016-08-10_REV1_Manual.compressed.pdf (дата звернення 05.02.2022 року).

8. Василюк О., Ільмінська Л. Екосистемні послуги. Огляд, 2020. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPoslугy_web_new.pdf (дата звернення 05.02.2022).
9. A review of studies assessing ecosystem services provided by urban green and blue infrastructure / C. J. Veerkamp et al. *Ecosystem Services*. 2021. Vol. 52. P. 101367. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101367>
10. Enabling Green and Blue Infrastructure to Improve Contributions to Human Well-Being and Equity in Urban Systems / E. Andersson та ін. *BioScience*. 2019. Т. 69, № 7. С. 566–574. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biz058>
11. Pinto L. V., Inácio M., Pereira P. Green and Blue Infrastructure (GBI) and Urban Nature-based Solutions (NbS) contribution to human and ecological wellbeing and health. *Oxford Open Infrastructure and Health*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1093/ooih/ouad004>
12. Цілі сталого розвитку. UNDP. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku> (дата звернення: 29.07.2024).
13. Frantzeskaki N., McPhearson T. Mainstream Nature-Based Solutions for Urban Climate Resilience. *BioScience*. 2021. Т. 72, № 2. С. 113–115. URL: <https://doi.org/10.1093/biosci/biab105>
14. Green infrastructure planning. The Mersey Forest. Green Infrastructure to combat climate веб-сайт. URL: <http://www.greeninfrastructurenw.co.uk/climatechange/> (дата звернення: 25.10.2022)
15. Green City Clean Waters – Philadelphia Water Department. Philadelphia Water Department: веб-сайт. URL: <https://water.phila.gov/green-city/> (дата звернення: 25.10.2022)
16. Ghofrani Z., Sposito V., Faggian R. A comprehensive review of blue-green infrastructure concepts. *International Journal of Environment and Sustainability*. 2017. Vol. 6 No. 1, pp. 15-36.

17. Скриган А., Шкаруба А. Зелена інфраструктура та міське лісове господарство: стратегічне управління для пом'якшення та адаптації до зміни клімату в містах. *Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4* : колективна монографія / За ред. Н. В. Максименко, А. Д. Шкаруба. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. 62-105 с. URI: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18778>

18. Health&Greenspace thematic report: Urban heat stress and cooling with green structure. *URBACT*. URL: <https://urbact.eu/articles/healthgreenspace-thematic-report-urban-heat-stress-and-cooling-green-structure> (дата звернення: 29.07.2024).

19. Norton B. et al. Planning for a Cooler Future: Green Infrastructure to Reduce Urban Heat. October 2013, DOI: 10.13140/2.1.2430.1764.

20. Максименко Н., Бурченко С., Уткіна К., Бугакова М. Вплив зеленої інфраструктури на якість поверхневого стоку (на прикладі зелених дахів у м. Харків). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. № 55. С. 274-284. DOI: 10.26565/2410-7360-2021-55-20

21. Austin G. Green Infrastructure for Landscape Planning. *Integrating human and natural systems*. 2014. New York, Routledge. 273 p.

22. Некос А. Н., Белкіна О.В. Відеоекологічна оцінка територій адміністративних районів урбо-геосистем. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. Вип. 31. С. 75-83. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-074> .

23. Peng Z., Garner B. Two green roof detention models applied in two green roof systems. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2022. 27 (2). DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.000215513](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.000215513).

24. Köhler M., Clements M. Green Roofs, Ecological Functions. Springer Reference. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2013. P.26. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_207

25. Гололобова О. О., Дорогань В. В., Сирова А. В. Сучасні підходи до екологізації міського середовища (на прикладі Шевченківського району м. Харкова). *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 2019. Вип. 32, С. 42-57. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-32-04>
26. Максименко Н. В., Гололобова О. О., Щербань В. І., Погоріла М. В. Впровадження стійких рослинних компонентів в зелену інфраструктуру в контексті природоорієнтованих рішень. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 2021. Вип. 35, С. 58-71. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-06>
27. Колєнкіна М. С. Озеленення населених місць. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 125 с.
28. Кузнецова О. В. Фітоценотичні особливості газонів та травостоїв газонного типу урбанізованих екосистем (на прикладі м. Дніпропетровськ) : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. Дніпроп. нац. ун-т ім. О. Гончара. Дніпропетровськ, 2016. 263 с.
29. Кулич В. В., Мацюк О. Б. Роль рослин з алелопатичними властивостями в озелененні міст. Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience –2020 : матеріали Всеукр. наук.-практ.конф., 22-23 трав. 2020 р. Тернопіль : Вектор, 2020. С. 35-39.
30. McKinney M., L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 2006. Vol. 127.N 3. P.247–260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
31. Крупа Н. М. Газони як елементи садово-паркового ландшафту в системі міського озеленення. *Актуальні проблеми, шляхи та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 16-17 вересня 2021 р.). Біла Церква: БНАУ, 2021, С. 74-76.

32. Семанчикова Є. Газони з польовими квітами в місті Ческе-Будейовіце, Чехія. *Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4* : колективна монографія/ За ред. Н. В. Максименко, А.Д. Шкаруба. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. с.105-109. URI: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18778>

33. Лукаш О., Гутник Є., Морський В. Сукцесії рослинності придорожніх газонів міста Чернігова у зв'язку антропогенним тиском та змінами погодно-кліматичних умов. *Biota. Human. Technology*. 2023. No 3. С. 69–82. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.23.5>

34. Марутяк С. Б., Скробала В. М. Екологічні закономірності розподілу рослинності газонів в умовах міста Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.9. С. 243-246

35. Кравцова А. В. Спонтанна флора газонних насаджень міста Сміла. *Актуальні проблеми природничих та гуманітарних наук у дослідженнях молодих учених «Родзинка –2018»*: матеріали XX Всеукраїнської наукової конференції молодих учених. Черкаси : ЧНУ ім.Б. Хмельницького, 2018. С. 410-411.

36. Shkaruba A., Skryhan H., Likhacheva O., Katona A., Maryskevych O., Kireyev V., Sepp K., Shpakivska I. Development of sustainable urban drainage systems in Eastern Europe: an analytical overview of the con-straints and enabling conditions. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2021, Vol. 64 No 13.P. 2435–2458. DOI: <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1874893>

37. Різотрав'я - Природоорієнтовані рішення - Платформа WWF Україна. Природоорієнтовані рішення - Платформа WWF Україна. URL: <https://nbs.wwf.ua/solutions/riznotrav-ia/> (дата звернення: 29.07.2024).

38. A City Wildflower Meadow. *National Museums Liverpool*. URL: <https://www.liverpoolmuseums.org.uk/world-museum/city-wildflower-meadow> (дата звернення: 29.07.2024).

39. Benvenuti S. Wildflower green roofs for urban landscaping, ecological sustainability and biodiversity. *Landscape and Urban Planning*. 2014. T. 124. C. 151–161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.004>
40. Rubaszek J., Szymanowski M., Michalski A., Tatko R., Weber-Siwirska M. Procedure for the selection and evaluation of prefabricated housing buildings for the implementation of green roofs in the context of Urban Heat Island mitigation. The example of Wrocław, Poland. *PLoS ONE* Vol. 16(10). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258641>
41. Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. H. Liu et. al. *Building and Environmental*. 2021. Vol. 196. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107794>
42. Peng Z., Stovin V. Independent Validation of the SWMM Green Roof Module. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2017. Vol. 22, no. 9. P. 04017037. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001558](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001558)
43. A review of energy aspects of green roofs O. Saadatian et. al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013 Vol. 23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.022>
44. Shishegar N. Green roofs: enhancing energy and environmental performance of buildings. International Conference on Clean Energy, September 10-12, 2012, Quebec, Canada. URL: https://www.researchgate.net/publication/279852236_GREEN_ROOFS_ENHANCING_ENERGY_AND_ENVIRONMENTAL_PERFORMANCE_OF_BUILDINGS-Nastaran-Shishegar
45. Drozd W. Problems and benefits of using green roofs in Poland. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 214 (2019). URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/214/1/012076>
46. Xinyan Yang A., Wei J. Green Roof. Handbook of Energy Systems in Green Buildings. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-662-49120-1_51

47. Ruksana A., Khandoker I., Khandoker S. Exactitude of Green Roof in Planned Residential Areas with Significant Vegetation at Ground Level (Tropical Climate). *PLEA2016 Los Angeles - Cities, Buildings, People: Towards Regenerative Environments*, 11-13 July, 2016. URL : https://www.researchgate.net/publication/303402690_IMPACT_OF_GREEN_ROOF_OF_ON_URBAN_CANOPY_LAYER_MICROCLIMATES_IN_A_PLANNED_RESIDENTIAL_AREA_OF_DHAKA_BANGLADESH

48. Rapisarda R., Nocera F.; Costanzo V. Sciuto, G., Caponetto R. Hydroponic Green Roof Systems as an Alternative to Traditional Pond and Green Roofs: A Literature Review. *Energies* 2022, 15, 2190. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15062190>

49. Pyrgou A., Yang J., Santamouris M. Green roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climates for institutional buildings under free floating conditions. *14th Asia Pacific Conference on the Built Environment (APCBE)*, Bali, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.08.006>

50. Briz J., Köhler M., I. de Felipe. Green cities in the world. Cimapress, 2015. P. 364. URL: http://worldgreeninfrastructurenetwork.org/wp-content/uploads/2021/05/1.Green-cities-book1_BookcompleteMarch2014_compressed_compressed.pdf

51. **Гречко А. А.** Досвід та переваги застосування зелених дахів як елементу зеленої інфраструктури. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Серія «Екологія»*, 2022, Випуск 26. с. 32-42. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-03>

52. Green space networks as natural infrastructures in PERI-URBAN areas. A. Verdú-Vázquez et. Al. *Urban Ecosystems*. 2020. Vol. 24. Springer Link p. 187-204. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11252-020-01019-w>

53. Vera S., et al.: Influence of vegetation, substrate, and thermal insulation of an extensive vegetated roof on the thermal performance of retail stores in semiarid and marine climates. *Energy Build.* 2017. Vol. 146, p. 312–321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.037>

54. П'ять найкращих сучасних локацій Києва. Зелений дах, театр і ревіталізована промзона. Тексти.org.ua. URL: <https://texty.org.ua/fragments/101887/pyat-najkrashyh-suchasnyh-lokacij-kyyeva-zelenyj-dah-teatr-i-revitalizovana-promzona-foto/> (дата звернення: 22.06.2024).

55. Sustainable energy performances of green buildings: A review of current theories, implementations and challenges / A. GhaffarianHoseini et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 25. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.010>

56. Cuce E. Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation. *Applied Energy*. 2017. Vol. 194. P. 247–254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.079>

57. Manso M., Castro-Gomes J. Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 41. P. 863–871. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>

58. Green Walls - Green Roof Technology. *Green Roof Technology*. URL: <https://greenrooftechology.com/living-architecture/green-walls/> (дата звернення: 29.07.2024).

59. Experimental Comparative Study between Conventional and Green Parking Lots: Analysis of Subsurface Thermal Behavior under Warm and Dry Summer Conditions. *MDPI*. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/8/994> (дата звернення: 29.07.2024).

60. The influence of Korea's green parking project on the thermal environment of a residential street / J.-H. Park et al. *Habitat International*. 2016. Vol. 56. P. 181–190. URL: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.05.005>

61. Зелені зупинки - Природоорієнтовані рішення - Платформа WWF Україна. Природоорієнтовані рішення - Платформа WWF Україна. URL: <https://nbs.wwf.ua/solutions/zeleni-zupynky/> (дата звернення: 22.06.2024).

62. У Львові презентували першу в Україні еко-зупинку. Твоє Місто - твоє телебачення. URL: https://tvoemisto.tv/news/u_lvovi_oblashtuvaly_pershu_v_uk (дата звернення: 22.06.2024).

63. Облаштування "зелених" зупинок. Асоціація міст України. URL: <https://www.auc.org.ua/ideya/oblashtuvannya-zelenyh-zupynok> (дата звернення: 22.06.2024).

64. 8 років тому землю Росії на Подолі перетворили на «Самосад». Історія сквот-саду від засновниці. The Village Україна. URL: <https://www.village.com.ua/village/city/cityplace/338141-8-rokiv-tomu-zemlyu-ro-siyi-na-podoli-peretvorili-na-samosad-istoriya-skvot-sadu-vid-zasnovnitsi> (дата звернення: 22.07.2024).

65. День дій у «Самосаду»: сонячні панелі та міське садівництво. The Village Україна. URL: <https://www.village.com.ua/village/city/city-report/258923-samosad-podil?from=readmore> (дата звернення: 22.07.2024).

66. "Володарі температур": у Львові активісти створили унікальний дощовий сад. Рубрика. URL: <https://rubryka.com/article/doshhovyj-sad/> (дата звернення: 22.06.2024).

67. У Києві з'явилися перші дощові садки. Хмарочос. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2024/05/28/u-kyievi-zyavylsya-pershi-doshhovi-sadky-u-yakuh-rajonah/amp/> (дата звернення: 22.06.2024).

68. Ще в одному районі Києва з'явився дощовий садок. Суспільне Київ. URL: <https://suspilne.media/kyiv/772915-se-v-odnomu-rajoni-kieva-zavivsa-dosovij-sadok/> (дата звернення: 22.06.2024).

69. Бурченко С. В. Конструктивно-географічні основи оптимізації зеленої інфраструктури міста Харків : дис. ... д-ра філософії в галузі природничі науки : 103 Науки про Землю. м. Харків, 2023. 208 с.

70. Максименко Н. В., Бурченко С. В. Оцінка можливості реалізації концепції зеленої інфраструктури для Харківської області. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доп. 9-ї міжнар. наук.-тех. конф.: Баку, Харків, Жиліна: ВА ЗС АР, НТУ «ХП», ДП «ХНДІ ТМ», УМЖ, 2019. С. 82.

71. Бурченко С. В. Аналіз існуючої законодавчої бази для реалізації концепції зеленої інфраструктури для Харківської області. V-й всеукраїнський студентський форум студентів, аспірантів і молодих учених: тези доп.: Дніпро: ДНУ, 2019. С. 63-64.

72. Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI. Інформаційний бюлетень. 2019. 185 с. 56. Про благоустрій населених пунктів: Закон України від 06.09.2005 № 2807-IV. Відомості Верховної Ради України. 2005. № 49. ст. 517 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15#Text> (дата звернення: 06.09.2022).

73. Про затвердження ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій: наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 26.04.2019 № 104 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0104858-19#Text> (дата звернення: 07.09.2022).

74. Кузик І. Р. Комплексна зелена зона міста Тернопіль: геоекологічні засади сталого функціонування : дис. ... д-ра філософії в галузі природничі науки : 103 Науки про Землю. м. Тернопіль, 2021. 219 с.

75. Про затвердження Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України. Наказ Міністерства будівництва, архітектури та житловокомунального господарства України від 10.04.2006 року №105. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0880-06> (дата звернення: 07.09.2022).

76. Gao B.-c. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 1996. Vol. 58, no. 3. P. 257–266. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(96)00067-3).

77. Sentinel-Hub by Sinergise. Normalized Difference Moisture Index (NDMI). *Sentinel Hub custom scripts*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ndmi/> (дата звернення: 29.07.2024).

78. Indrawati L., Sigit Heru Murti B. S., Rachmawati R. Integrated ecological index (IEI) for urban ecological status based on remote sensing data: a study at Semarang – Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 500. P. 012074. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012074>
79. Zha Y., J. Gao, and S. Ni, Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International journal of remote sensing*, 2003. 24(3): p. 583-594.
80. Пастернак В. П., Букша І. Ф. Інвентаризація парникових газів у лісовому господарстві України та шляхи її покращення. Вісник Харківського національного університету ім. В. В. Докучаєва. 2006. №6. С. 203-207
81. Лакида П. І. Фітомаса лісів України : монографія. Тернопіль : Збруч, 2002. 256 с.
82. Li, X., Zhou, Y., Asrar, G. R., Imhoff, M., & Li, X. (2017). The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Science of The Total Environment*, 605-606, 426-435.
83. Bowler D. E., Buyung-Ali L. M., Knight T. M., Pullin, A. S. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 2010. Vol. 97(3), p. 147-155.
84. Tan J., Zheng Y., Tang X., Guo C., Li L., Song, G., Chen H. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*, 2010. Vol. 54(1), p. 75-84.
85. Santamouris M. On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and Buildings*, 2014. Vol. 82, p. 100-113.
86. Nagendra H., Gopal D. Street trees in Bangalore: Density, diversity, composition and distribution. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010. Vol. 9(2), p. 129-137.
87. McPhearson T., Kremer P., Hamstead Z. A. Mapping ecosystem services in New York City: Applying a social–ecological approach in urban vacant land. *Ecosystem Services*, 2013. Vol. 5, p. 11-26.

88. Промисловий тепловізор Uni-T Pro UTi260A (Червоний). "Твій онлайн-гіпермаркет" - контакти, товари, послуги, ціни. URL: <https://ranchotehnika.com.ua/ua/p2101325080-promyshlennyj-teplovizor-uni.html> (дата звернення: 30.07.2024).

89. Цифрова модель місцевості. Culver Aerospace. URL: <https://culver.aero/uk/products/cifrova-model-miscevosti> (дата звернення: 11.01.2025)

90. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. U.S. Geological Survey. USGS.gov. Science for a changing world. URL: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1> (дата звернення: 12.01.2025).

91. Як заради однієї змінної для ML ми використали дані космічного проєкту SRTM. DOU. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/ml-from-space> (дата звернення: 11.01.2025).

92. USGS.gov | Science for a changing world. USGS.gov | Science for a changing world. URL: <https://www.usgs.gov/> (дата звернення: 12.01.2025).

93. How Flow Direction works–ArcMap. Documentation. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-direction-works.htm> (дата звернення: 12.01.2025).

94. Кочанов Е., Коваль І., Бурченко С., Уткіна К., Гречко А. Проблеми функціонування зеленої інфраструктури сучасних міст (на прикладі м. Харків). Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія / За ред. Н. В. Максименко, А. Д. Шкаруба. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. с. 30-44. 2022 р. URI <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18778>

95. Гречко А. А. Використання елементів зеленої інфраструктури для вирішення міських проблем (на прикладі облаштування водно-болотних угідь). Охорона довкілля: зб. наук. статей XIX Всеукраїнських наукових Таліївських читань. С.47-49.

96. Гречко А. А. Використання елементів зеленої інфраструктури для збереження біорізноманіття у містах. Наукові основи збереження біотичної різноманітності: матеріали V (XVI) міжнар. конф. молодих учених (Львів, 18-19 жовтня 2023 р.). Львів, 2023. С. 23-24.
97. Ландшафтне планування в Україні / Л. Г. Руденко, Є. О. Маруняк, О. Г. Голубцов та ін.; під ред. Л. Г. Руденка. — К. : Реферат, 2014. — 144 с.
98. Планування і благоустрій міст : навч. посібник. для студентів усіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 0921 (6.060101) – «Будівництво» / О. С. Безлюбченко, О. В. Завальний, Т. О. Черноносова; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2011. 191 с.
99. Геоурбаністика : навч. посіб. / О. Л. Дронова. – К. : Видавничо Поліграфічний центр "Київський університет", 2014. – 419 с.
100. Ландшафтно-екологічне планування: теорія і практика: монографія / Н. В. Максименко. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. – 216 с.
101. Чисельність населення та середня чисельність за періоди року. Державна служба статистики України. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2022/ds/kn/arh_kn2022_u.html (дата звернення: 22.07.2024).
102. Фізико-географічне районування України. Карти України. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-1.html> (дата звернення: 15.01.2025).
103. Геоморфологічна будова. World Data Center | WORLD DATA CENTER. URL: <http://wdc.org.ua/atlas/4070200.html> (дата звернення: 15.01.2025).
104. Chuhuyiv Climate, Weather By Month, Average Temperature (Ukraine) - Weather Spark. *The Weather Year Round Anywhere on Earth - Weather Spark*. URL: <https://weatherspark.com/y/99984/Average-Weather-in-Chuhuyiv-Ukraine-Year-Round#Sections-Temperature> (дата звернення: 15.01.2025).
105. Атлас Харківської області/ за ред. І. С. Руденко. Харків, Укргеодезкартограф, 1993 р. 48 с.

106. Максименко Н. Ландшафтне планування як засіб екологічного впорядкування території. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 1. № 16. С. 65-68.
107. Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство: Початок ХХІ століття. *Український географічний журнал*. 2008. № 1. С. 28–30.
108. Гродзинський М. Д. Пізнання ландшафту місце і простір [Монографія у 2-х т.]. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2005. Т.1. 431 с., Т.2. 503 с.
109. Клещ А. А. Оптимізація територіальної структури землекористування м. Харків засобами ландшафтно-екологічного планування: автореф. дис. ... к. геогр. н. : 11.00.11 - Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів. 2021 р.
110. Особливості функціонування та геоекологічна роль міських ґрунтів (на прикладі м.Харкова) : Автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.11 / Г.В. Тітенко ; Харк. нац. ун-т ім. В.Н.Каразіна. — Х., 2002. — 19 с.: рис. — укр.
111. Царик Л.П., Кузик І. Р. Геоекологічна оцінка структури землекористування Тернопільської міської об'єднаної територіальної громади. *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія «Екологія»*, 2020. Вип. 23, с. 30-40. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-03>
112. Ричак Н.Л. Просторово-часові особливості поведінки важких металів у ґрунтових покриттях міських ландшафтів (на прикладі м.Харкова) : Автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.11. — Х., 2006. — 20 с. — укр.
113. Денисик Г.І., Шмагельська М.О., Стефанков Л.І. Мікроосередкові процеси в антропогенних ландшафтах: монографія. Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2010. 210 с.
114. Кравцова І. В., Стефанков Л. Л. Антропогенні ландшафти як чинники регіональних мікрокліматичних змін. *Ландшафтознавство*. 2023. Вип. (2(2)), с. 112–124. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-112-124>

115. Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство: навчальний посібник. Частина І. Глобальне антропогенне ландшафтознавство / Г.І.Денисик. – Вінниця: ПП «ТД Видавництво Едельвейс і К», 2012. - с.

116. Кізюн А. Г Денисик Г. І. Селитебні ландшафти і селитебне ландшафтознавство. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського*. 2015. Т. 1-2, № 27. С. 46–51.

117. Булава Л. М., Дмитренко Ю. М. Досвід аналізу історії формування міських ландшафтів Полтави. *Освітні й наукові виміри географії та туризму*: матер. II Всеукраїнської науково-практ. О-72 інтернет-конф. з міжнар. участю (м. Полтава, 26 квітня 2019 р.) / відп. ред. О. А. Федій. Полтава : ПНПУ імені В. Г. Короленка, 2019. 49–55 с.

118. Война І. М., Лебедовський А. В. Висотна диференціація антропогенних ландшафтів: сутність, прояви, значимість. *Landscape Science*. 2023. Т. 93, № 4(2). URL: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-17-24>

119. Роль белігеративних ландшафтів у формуванні туристично-рекреаційного комплексу Рівненської області. *Суспільно-географічні чинники розвитку регіонів*: міжнародна науково-практична Інтернет-конференція. URL: <https://konfgeolutsk.wordpress.com/2018/04/19/роль-белігеративних-ландшафтів-у-фор/> (дата звернення: 22.07.2024).

120. Denysyk H. I., Kiziun A. H., Kanskyi V. S. The Beligerative Landscapes of Ukraine. *Ukrainian geographical journal*. 2023. Т. 2023, № 3. С. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2023.03.023>

121. Історія Чугуєва - Чугуївська міська рада Харківської області. *Чугуївська міська рада Харківської області*. URL: <https://chuguiv-gromada.gov.ua/istoriia-chuhuieva/> (дата звернення: 17.08.2024).

122. Стратегія розвитку міста Чугуєва на 2018- 2028 роки. URL: <https://misto-em.org.ua/wp-content/uploads/2020/02/Strategiya.pdf> (дата звернення: 17.08.2024).

123. Міський парк культури та відпочинку імені І. Ю. Рєпіна. *DISCOVER.UA*. URL: <https://discover.ua/locations/park-kulturi-i-vidposinku-im-illi-gerina> (дата звернення: 17.08.2024).

124. **Гречко А. А.**, Максименко Н. В., Шкаруба А. Д., Кутузов Є. О. Біорізноманіття рослин приміських луків для створення міських газонів з польовими квітами. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. с. 98-110. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-07>

125. Виноград дикий п'ятилистий (*Parthenocissus quinquefolia*). *MEGAPLANT*. URL: <https://catalog.megaplant.ua/products/details/vinograd-dikiy--pyatilistiy-parthenocissus-quinquefolia-enhWtd1> (дата звернення: 06.10.2024).

126. Клименко В.Г. Гідрологія України: Навчальний посібник для студентів географів. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2010. – 124 с.

127. Коробкова Г. В. Екологічне нормування якості поверхневих вод на прикладі басейну річки Сіверський Донець (в межах Харківської області) : дис. ... к. геогр. н. : 11.00.11 - Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів. 2018 р.

128. ДСТУ 8691:2016. Настанови щодо встановлення технологічних нормативів відведення дощових стічних вод у водні об'єкти. Чинний від 2016-10-31. Вид. офіц. Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2016. 32 с.

129. Леневи́ч О. І., **Гречко А. А.**, Мартинюк М. О. Зелено-голуба інфраструктура малих міст (на прикладі м. Яремче, Українські Карпати). *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. С. 107-111.

130. Гречко А. А. Можливості впровадження стратегії зелено-блакитної інфраструктури для вирішення проблеми водовідведення в малих містах. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. С. 29-30.

131. Максименко Н. В., **Гречко А. А.**, Клещ А. А. Аналіз територіальної структури урболандшафту м. Чугуїв для потреб впровадження

концепції зелено-блакитної інфраструктури. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. с. 86-97.

132. Sharma R., Malaviya P. Management of stormwater pollution using green infrastructure: The role of rain gardens. *WIREs Water*. 2021. Т. 8, № 2. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1507>

133. EarthExplorer. *EarthExplorer*. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата звернення: 29.07.2024).

134. Copernicus Browser. *Copernicus Browser*. URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> (дата звернення: 31.07.2024)

135. Effect of Urban Expansion Intensity on Urban Ecological Status Utilizing Remote Sensing and GIS: A Study of Semarang-Indonesia / L. Indrawati et al. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 451. P. 012018. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/451/1/012018>

136. Indrawati L., Sigit Heru Murti B. S., Rachmawati R. Integrated ecological index (IEI) for urban ecological status based on remote sensing data: a study at Semarang – Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 500. P. 012074. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012074>

137. Huete A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 1988. Vol. 25, no. 3. P. 295–309. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-x](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-x)

138. Xu H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27, p. 3025 - 3033.

139. Howard L. The Climate of London, Deduced From Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis; Phillips, W., Ed.; George Yard: London, UK, 1818.

140. *Learn About Heat Islands*. URL : <https://www.epa.gov/heat-islands/learnabout-heat-islands> (дата звернення: 05.11.2020).

141. *Urban Heat Islands*. URL : <https://scied.ucar.edu/longcontent/urban-heat-islands> (дата звернення: 05.11.2020).
142. Mohajerani A., Bakaric J., Jeffrey-Bailey T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 197. P. 522–538. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
143. Quantifying the contribution of diminishing green spaces and urban sprawl to urban heat island effect in a rapidly urbanizing metropolitan city of Pakistan / S. Arshad et al. *Land Use Policy*. 2022. Vol. 113. P. 105874. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105874>
144. Assessing urban heat island intensity and emissions with compressed natural gas in non-commercial vehicles / S. H. A. Rizvi et al. *Urban Climate*. 2023. Vol. 48. P. 101421. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101421>
145. Погода на 31 липня у Чугуєві, прогноз погоди на середу. Метеопрогноз Чугуїв та Україна на 31/07/2024 | *SINOPTIK.PL. Sinoptik*. URL: <https://sinoptik.pl/uk/pogoda/czuhujiw/2024-07-31> (дата звернення: 11.08.2024).
146. NDVI and NDMI vegetation indices: instructions for use. *Agricolus*. *Agricolus*. URL: <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/> (дата звернення: 02.08.2024).
147. Belokon K., Pirogova I. Analysis and assessment of the level of atmospheric air pollution in Zaporizhzhya. *Collection of scholarly papers of Dniprovsk State Technical University (Technical Sciences)*. 2021. Т. 1, № 38. С. 149–158. URL: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.38.2021.18>
148. Lytvynenko Y., Maslov D. Lichen indication of air quality in Putyvl' town. *Sloboda Scientific Journal. Natural Sciences*. 2023. № 1. С. 31–35. URL: <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2023.1.6>
149. Шпаківська І. М. Вуглецева ємність природних екосистем як можливість пом'якшення кліматичних змін (можливості оцінки та управління). URL: <https://jm.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/shpakivska-zimova-akademija-2020.pdf>.

150. Canadell J. G., Quere C. L., Raupach M. R., et al. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *The Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007. Vol. 104. № 47. P. 18866-18870. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0702737104>
151. Шпаківська І. М., Марискевич О. Г. Оцінка запасів вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів. *Науковий вісник УкрНДІЛГА: Лісівництво і агролісомеліорація*. 2009. Вип, 115, с. 176-180.
152. Leleka D. Yu, Shpakivska I. M., Pyzhyk I. S. Accumulation of organic carbon in ancient forests of the vododilno-verkhovyna range (ukrainian carpathians). *Publishing House "Baltija Publishing"*. 2023.
153. Pyzhyk I. S., Shpakivska I. M. Актуальні запаси органічного карбону у лісових екосистемах регіонального ландшафтного парку «надсянський»(мрб «східні карпати»)." *Publishing House "Baltija Publishing"* (2021).
154. Chernyavska K. I., Shpakivska I. M. Carbon stock in the litter on the Skolivski Beskydy territory (Ukrainian Carpathians). *Man and Environment. Issues of Neoecology*. 2022. № 37. С. 82–90. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-37-08>
155. Evaluation of the carbon capacity of single breed wood stands – elements of the green infrastructure of Kharkiv / N. V. Maksymenko et al. *Man and Environment. Issues of Neoecology*. 2022. No. 38. P. 73–84. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-38-07>
156. Maksymenko N., Burchenko S., **Hrechko A.**, Sonko S. Carbon sequestration and provision of green infrastructure in the Ukrainian cities of Kharkiv and Chuguiv in the context of post-war reconstruction. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, Slovakia, vol.26, no.2, 2023, pp.90-98. <https://doi.org/10.2478/ahr-2023-0013>

157. Maksymenko N., Burchenko S., **Hrechko A.**, Zvyagintseva K., Cherkashyna N. Spatial assessment of green infrastructure in large and small cities of Ukraine (case of Kharkiv and Chuguiiv cities). *5th International Conference on sustainable Futures: Environmental, Technological, Social And economic Matters*. Kryvyi Rih. 2024. Подано до друку Scopus

158. Гречко А. А. ГІС-моделювання зеленої інфраструктури малих міст для ревіталізації постмілітарних урболандаштів. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. VIII Міжнародний молодіжний конгрес, 02-03 березня 2023, Україна, Львів : Збірник матеріалів —Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2023. С. 139

159. Клещ А. А., Гречко А. А., Куракса Д. А. Зелена інфраструктура м.Чугуїв в умовах війни: основні зміни та загальна характеристика поточного стану. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. С. 91-95.

160. Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. H. Liu et. al. *Building and Environmental*. 2021. Vol. 196.DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.10779412>.

161. Peng Z., Smith C., Stovin V. The importance of unsaturated hydraulic conductivity measurements for green roof detention modelling. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 590. P. 125273. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125273> (date of access: 23.01.2025).

162. Köhler M., Clements M. Green Roofs, Ecological Functions. Springer Reference. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2013. P.26. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_207

163. Drozd W. Problems and benefits of using green roofs in Poland. IOP Conf. Series: *Earth and Envi-ronmental Science*, 2019. Vol. 214. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/214/1/01207619>.

164. Xinyan Yang A., Wei J.Green Roof. Handbook of Energy Systems in Green Buildings. *Springer, Berlin, Heidelberg*. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-49120-1_51

165. Extensive Green Roof. *Sika UK | Sika Limited | Sika Group*. URL: <https://gbr.sika.com/en/construction/roofing/flat-roof-productsandsystems/green-roof-systems/extensive-green-roof.html> (дата звернення: 07.01.2025).

166. The Method of Planning Green Infrastructure System with the Use of Landscape-Functional Units (Method LaFU) and its Implementation in the Wrocław Functional Area (Poland) / I. Niedźwiecka-Filipiak et al. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, no. 2. P. 394. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11020394>

167. Extensive Green Roof. *Sika UK | Sika Limited | Sika Group*. URL: <https://gbr.sika.com/en/construction/roofing/flat-roof-productsandsystems/green-roof-systems/extensive-green-roof.html> (дата звернення: 07.01.2025).

168. Extensive Green Roofs | *ZinCo Green Roof Systems. Home | ZinCo Green Roof Systems*. URL: <https://zinco-greenroof.com/systems/extensive> (дата звернення: 07.01.2025).

169. 7 найбільш підходящих витких рослин для ландшафтного дизайну ділянки. *Довідник з благоустрою та будівництва садово-паркового ділянки своїми руками*. URL: <http://samdizajner.com.ua/7-naibolee-podxodyashhix-vyushhixsya-rastenij-dlya-landshaftnogo-dizajna-uchastka.html> (дата звернення: 08.01.2025).

170. Максименко Н. В. Мобільне озеленення як шлях до збільшення площі зеленої інфраструктури в містах. *Охорона довкілля: XX Всеукраїнські наукові Таліївські читання*, 25 жовт. 2024 р., м. Харків. До 220-ї річниці заснування Каразінського університету : зб. наук. статей. Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. С.167-168. URI <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19452>

171. Green & Blue infrastructure in post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience : collective monograph = Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія / Ed. by N.V. Maksymenko, A.D. Shkaruba. – Kharkiv : V. N. Karazin Kharkiv National University, 2022. – 400 p. URI <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18778>

172. Косик О. І., Летік К. В. Формування комфортного міського середовища засобами озеленення. *Theory and practice of design*. 2021. № 23. С. 134–140. DOI: <https://doi.org/10.18372/2415-8151.23.16279> (дата звернення: 10.01.2025).

173. Обстріли окупантів під Харковом: загинула дитина. *TCH.ua*. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/obstrili-okupantiv-pid-harkovom-zaginula-ditina-1986295.html> (дата звернення: 25.08.2024).

174. У Чугуєві – декілька влучань у кількох районах міста: зруйновані житлові будинки. 24 Канал. URL: https://24tv.ua/chuguyevi-dekilka-vluchan-kilkoh-rayonah-mista-zruynovani-zhitlovi_n2107490 (дата звернення: 25.08.2024).

175. "Обстрілюють місто, бо їх не зустріли з квітами". Як живе Чугуїв під російським вогнем - BBC News Україна. *BBC News Україна*. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-62520980> (дата звернення: 25.08.2024).

176. Армія РФ вдарила по центральній частині Чугуєва, є поранені (доповнено). *LB.ua*. URL: https://lb.ua/society/2024/05/22/614573_armiya_rf_vdarila_tsentralniy.html (дата звернення: 25.08.2024).

177. Окупанти обстріляли Чугуїв Харківської області – військова адміністрація. *Гордон | Gordon*. URL: <https://gordonua.com/ukr/news/war/okupanti-obstriljali-chugujiv-harkivskoj-oblasti-ndash-vijskova-administratsija-1667027.html> (дата звернення: 25.08.2024).

178. У Чугуєві росіяни розбомбили школу та будинок культури: поранено жінку, під завалами є люди (фото обстрілу). *TCH.ua*. URL: <https://tsn.ua/ato/u-chuguyevi-rosiyani-rozbombili-shkolu-ta-budinok-kulturi-porano-zhinku-pid-zavalami-ye-lyudi-foto-obstrilu-2118397.html> (дата звернення: 25.08.2024).

179. Цинічний обстріл Чугуєва: зросла кількість потерпілих. *TCH.ua*. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/obstril-chuguyeva-zrosla-kilkist-poterpilih-2624103.html> (дата звернення: 25.08.2024).

180. Газон із конюшини: плюси та мінуси. *Благоустрій території*. URL: <https://ecomir.in.ua/uk/hazon-ukr/ukladannia-rulonnoho-hazonu/hazon-z-koniushyny-pliusy-i-minusy> (дата звернення 14.09.2024).

181. Польова гвоздика: назва, фото, корисні властивості, відео. *Корисні ідеї для дачі*. URL: <https://dachnaideya.cx.ua/polova-gvozdika-nazva-foto-korisni-vlastivosti.html> (дата звернення: 15.09.2024).

182. Особливості декоративного дерева катальпа. *Садовий центр Greensad*. URL: <https://greensad.ua/ua/articles/dekorativnye-rastenija/osobennosti-dekorativnogo-dereva-katalpa/> (дата звернення: 16.09.2024).

183. Адамове дерево . Садовий центр «КРОНА» *Розплідник рослин*. URL: <https://krona.co.ua/derevya-parkovye-i-allejnye/pavlovniya-paulownia/pavlovniya-vojlochnaya-paulownia-tomentosa-ili-adamovo-derev-1> (дата звернення: 16.09.2024).

184. Клен звичайний. *Інформаційно-аналітична система "Аграрії разом"*. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/culture/klen-zvichayniy> (дата звернення: 16.09.2024).

185. *Robinia pseudoacasia* - Робінія звичайна. *Розсадник декоративних рослин Флорекс Україна*. URL: <https://florex.ua/robinia-pseudoacasia-robiniiya-zvichayna/> (дата звернення: 17.09.2024).

186. Гречко А. А. Використання елементів зеленої інфраструктури для вирішення міських проблем (на прикладі облаштування водно-болотних угідь). *Охорона довкілля: зб. наук. статей XIX Всеукраїнських наукових Таліївських читань*, 2023. С.47-49.

187. Каталог природоорієнтованих рішень / авт. кол.: М. Рябика, О. Гусакова, А. Зозуля, А. Бушовська та ін. – Львів: УКМ, 2021. – 116 с.

188. Гречко А. А. Використання дощових садів для вирішення екологічних проблем міст. *Євроінтеграція екологічної політики України: матеріали П'ятої Всеукраїнська науково-практична конференція (м. Одеса (Україна) 25 - 26 жовтня 2023 р.)*

189. Гречко А. Вплив військових дій на елементи зеленої інфраструктури у містах Харківської області. *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи* : зб. тез доповідей III Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 26 квітня 2024 року). Харків:ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024.с. 42-44.

ДОДАТКИ

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті, що входять до наукометричної бази Web of Science:

32. Kucher A., **Hrechko A.** Assessment and analysis of regional features of resource-saving land use for sustainable management. Scientific Papers: Series «Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development». 2021. Vol. 21. Is. 1. 431–441. PRINT ISSN 2284-7995, 431-442.

URL:

<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000629699800049>

(Особистий внесок здобувача: здійснено комплексну оцінку та картографування ресурсозберігаючого землекористування, визначено роль антропогенних ландшафтів).

Публікації у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

33. Гречко А. А. Досвід та переваги застосування зелених дахів як елементу зеленої інфраструктури. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Серія «Екологія»*, 2022, Випуск 26. С. 32-42. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-03>

34. **Гречко А. А.**, Максименко Н. В., Шкаруба А. Д., Кутузов Є. О. Біорізноманіття рослин приміських луків для створення міських газонів з польовими квітами. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 98-110. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-07>

(Особистий внесок здобувача: визначено роль газонів серед об'єктів зеленої інфраструктури, описано методологічне підґрунтя здійснення геоботанічних досліджень, запропоновано види аборигенного різноманіття для створення природного газону та визначено переваги кожного з видів).

35. Максименко Н. В., Бурченко С. В., **Гречко А. А.**, Пономаренко П. Р. Круглий стіл «Стійкість до війни та післявоєнне відновлення в Україні:

виклики та потреби у розбудові потенціалу досліджень та вищої освіти». *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2023. Вип. 40. С. 102-110. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-09>

(*Особистий внесок здобувача*: означено ключові проблеми малих міст на території України, проведено польове дослідження зелено-блакитної інфраструктури м. Яремче, визначено коло проблем, які можна вирішити за допомогою зелено-блакитної інфраструктури, проведено польові та лабораторні дослідження в малих містах Великобританії, розроблено проєктну пропозицію щодо поліпшення якості води елементами зеленої інфраструктури).

36. Максименко Н. В., **Гречко А. А.** Про проведення III міжнародної інтернет-конференції «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи». *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 131-135. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-11>

(*Особистий внесок здобувача*: огляд доповідей та публікацій за тематикою післявоєнного відновлення біорізноманіття).

37. **Гречко А. А.**, Пономаренко П. Р., Тертицький Є. П., Гололобов В. В. Стажування молодих вчених в освітніх установах Швеції. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 161-167. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-11>

(*Особистий внесок здобувача*: Аналіз проведеної роботи за тематикою дисертації під час стажування в Швеції, а саме: способи досягнення цілей сталого розвитку за допомогою зелено-блакитної інфраструктури, ознайомлення з проєктом ревіталізації території засобами зелено-блакитної інфраструктури).

38. Максименко Н. В., **Гречко А. А.**, Клещ А. А. Аналіз територіальної структури урболандшафту м. Чугуїв для потреб впровадження концепції зелено-блакитної інфраструктури. *Проблеми безперервної*

географічної освіти і картографії. 2024. Вип. 40. С. 25-31.
<https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-03>

(Особистий внесок здобувача: здійснено оцінку урболандшафтів м. Чугуїв, визначено переважаючі типи ландшафтів в структурі урбосередовища, проведено характеристику кожного з них, визначено необхідність впровадження концепції зелено-блакитної інфраструктури для оптимізації структури урболандшафту).

Публікації у наукових виданнях інших держав:

39. Maksymenko N., Burchenko S., **Hrechko A.**, Sonko S. Carbon sequestration and provision of green infrastructure in the Ukrainian cities of Kharkiv and Chuguiv in the context of post-war reconstruction. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, Slovakia, vol.26, no.2, 2023. 90-98.
<https://doi.org/10.2478/ahr-2023-0013>

(Особистий внесок здобувача: проведено польові дослідження зеленої інфраструктури міста Чугуїв, проведено розрахунок забезпеченості об'єктами зеленої інфраструктури в місті Чугуїв, розраховано вуглецеву ємність модельних ділянок, здійснено картографічне забезпечення об'єктів зеленої інфраструктури в місті Чугуїв).

40. **Hrechko A.**, Gololobova O. Monitoring of indicative soil indicators for organic farming in the context of sustainable development. Book of Proceedings 2nd International Conference “Global Challenges through the Prism of Rural Development in the Sector of Agriculture and Tourism“(GIRR 2024), 10th May, 2024. - Šabac, Serbia. Publisher: Academy of Applied Studies, Novi Sad (Serbia). 2024. P. 171-178. ISBN 978-86-80417-96-7

(Особистий внесок здобувача: проведено польові та лабораторні дослідження ґрунтового покриву щодо можливостей вирощування органічної продукції, охарактеризовано застосування зеленої інфраструктури як

“їстівної” інфраструктури, що дозволить здійснити екосистемну послугу з постачання).

41. Maksymenko N., Burchenko S., **Hrechko A.**, Zvyagintseva K., Cherkashyna N. Spatial assessment of green infrastructure in large and small cities of Ukraine (case of Kharkiv and Chuguiiv cities). *VI International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence - 2023*. Kryvyi Rih. 2023. Подано до друку Springer

(Особистий внесок здобувача: здійснено картографічне забезпечення об'єктів зеленої інфраструктури в місті Чугуїв, проведено дослідження нормалізованого вегетаційного індексу в місті Чугуїв, визначено роль біорізноманіття в містах).

42. Maksymenko N., Koval I., Voron V., **Hrechko A.** Ecological condition of tree stands damaged by fire as a result of military operations in urban landscapes of Kharkiv. *VII International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence - 2024*. Kryvyi Rih. 2024. Подано до друку Springer

(Особистий внесок здобувача: здійснено огляд наукових публікацій щодо пошкодження об'єктів зеленої інфраструктури внаслідок війни, визначено критичні зміни в екосистемах внаслідок мілітарного чиннику).

**Наукові публікації, які додатково відображають наукові результати
дисертаційного дослідження:**

43. Кочанов Е., Коваль І., Бурченко С., Уткіна К., **Гречко А.** Проблеми функціонування зеленої інфраструктури сучасних міст (на прикладі м. Харків). *Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія* / За ред. Н. В. Максименко, А. Д. Шкаруба. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. С. 30 - 44.

(*Особистий внесок здобувача:* охарактеризовано ключові проблеми функціонування зеленої інфраструктури в містах, визначено переваги застосування об'єктів зеленої інфраструктури в місті)

44. Зелено-блакитна інфраструктура: навчально-методичний комплекс для організації роботи студентів у закладах вищої освіти за спеціальністю Е2 «Екологія» / уклад. Н. В. Максименко, С. В. Бурченко, **А. А. Гречко**. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. – 26 с.

(*Особистий внесок здобувача:* підготовлено комплексні практичні роботи з організації та створення об'єктів ЗБІ різного рівня)

45. Планування експериментальних досліджень : навчально-методичний комплекс для організації роботи студентів у закладах вищої освіти за спеціальністю 101 «Екологія» [Електронний ресурс] / укладач А. А. Гречко. – Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2024. – 30 с. (PDF) URI <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19328>

46. Організація польових маршрутних досліджень : навчально-методичний комплекс для організації роботи студентів у закладах вищої освіти за спеціальністю Е2 «Екологія» / уклад. А. А. Гречко. – Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2024. – 28 с. URI <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18844>

Наукові публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційного дослідження:

47. Kalynovskyi O., **Hrechko A.** Inventory of green areas ensuring functioning of green infrastructure. Congress proceedings - V International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence – 2022 (student sections), Praha, OKTAN PRINT, 2022, P. 23–25.

(*Особистий внесок здобувача:* проаналізовано функції зеленої інфраструктури, проаналізовано роль гіркокаштану як об'єкту зеленої інфраструктури, визначено стан насаджень на дослідних ділянках).

48. Клещ А. А., **Гречко А. А.**, Куракса Д. А. Зелена інфраструктура м.Чугуїв в умовах війни: основні зміни та загальна характеристика поточного стану. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2022. С. 91-95.

(*Особистий внесок здобувача:* проведено розрахунок індексу NDVI, здійснено градацію рослинних угруповань відповідно до значення індексу).

49. Martyniuk M., **Hrechko A.**, Lenevych O. Sewage treatment plants in small towns of Ukraine. *Socio-ecological resilience across Eurasia – Innovation for sustainability transition* (Tartu/online, October 5-6, 2021). P. 19-21.

(*Особистий внесок здобувача:* оцінено можливості зелено-блакитної інфраструктури для часткового заміщення сірої інфраструктури та проблеми водовідведення на території малих міст).

50. Гречко А. А. Можливості впровадження стратегії зелено-блакитної інфраструктури для вирішення проблеми водовідведення в малих містах. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2021. С. 29-30.

51. Леневич О. І., **Гречко А. А.**, Мартинюк М. О. Зелено-голуба інфраструктура малих міст (на прикладі м. Яремче, Українські Карпати). *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2021. С. 107-111.

(*Особистий внесок здобувача:* проведено польове дослідження щодо об'єктів зелено-блакитної інфраструктури в місті Яремче, запропоновано рішення щодо створення об'єктів зелено-блакитної інфраструктури, які допоможуть вирішити виявлені проблеми в місті).

52. Гречко А. А. ГІС-моделювання зеленої інфраструктури малих міст для ревіталізації постмілітарних урболандаштів. *Сталий розвиток:*

захист навколишнього середовища. *Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. VIII Міжнародний молодіжний конгрес, 02-03 березня 2023, Україна, Львів : Збірник матеріалів —Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2023. С. 139.

53. Гречко А. А. Використання елементів зеленої інфраструктури для вирішення міських проблем (на прикладі облаштування водно-болотних угідь). *Охорона довкілля: зб. наук. статей XIX Всеукраїнських наукових Таліївських читань*, 2023. С. 47-49.

54. Гречко А. А. Використання елементів зеленої інфраструктури для збереження біорізноманіття у містах. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності: матеріали V (XVI) міжнар. конф. молодих учених* (Львів, 18-19 жовтня 2023 р.). Львів, 2023. С. 23-24.

55. Гречко А. А. Використання дощових садів для вирішення екологічних проблем міст. *Євроінтеграція екологічної політики України: матеріали П'ятої Всеукраїнська науково-практична конференція* (м. Одеса (Україна) 25 - 26 жовтня 2023 р.)

56. Taranska S., **Hrechko A.**, Cherkashyna N. Military operations' impact on components of the environment. *Ecology is a priority: coll. theses of the All-Ukrainian English-speaking student conference* (Kharkiv, March 15, 2024). Kharkiv: V. N. Karazin KhNU, 2024. 71-73 P.

(*Особистий внесок здобувача: визначено вплив військових дій на компоненти довкілля, в тому числі на об'єкти зелено-блакитної інфраструктури від початку війни*).

57. Гречко А. Вплив військових дій на елементи зеленої інфраструктури у містах Харківської області. *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи* : зб. тез доповідей III Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 26 квітня 2024 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 42-44.

58. Гречко А. А. Вплив війни на землі сільськогосподарського призначення Харківської області як фактор пригнічення комплексної зеленої зони міст. *Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування*: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців. Одеса: ОДЕКУ, 2024. С. 95-98

59. **Hrechko A.**, Gololobova O. Monitoring of indicative soil indicators for organic farming in the context of sustainable development. *Second International Conference “Global challenges through the prism of rural development in the sector of agriculture and tourism”* Šabac, Serbia 10th May, 2024. P. 34.

(*Особистий внесок здобувача*: проаналізовано можливості застосування їстівної інфраструктури у містах).

60. **Гречко А. А.**, Коробкіна Н. Ю., Бурченко С. В. Зелені зупинки як елемент міської зелено-блакитної інфраструктури. *Охорона довкілля*: зб. наук. статей XX Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. 108-112 С.

(*Особистий внесок здобувача*: здійснено літературний огляд щодо важливості впровадження зелених зупинок, визначено переваги від використання таких об'єктів в містах).

61. Бурченко С. В., **Гречко А. А.**, Коробкіна Н. Ю. Розробка чат-боту про інформування населення про зелену інфраструктуру. *Охорона довкілля*: зб. наук. статей XX Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. 226-229 С.

(*Особистий внесок здобувача*: визначено можливості застосування чат-боту щодо інформування населення про зелену інфраструктури в містах).

62. Коробкіна Н. Ю., **Гречко А. А.** Облаштування об'єктів зеленої інфраструктури в малих містах для адаптації до глобальних змін клімату. *Екологічна безпека та раціональне природокористування*: тези Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих

учених, 14 листопада 2024 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2024. 210 С.

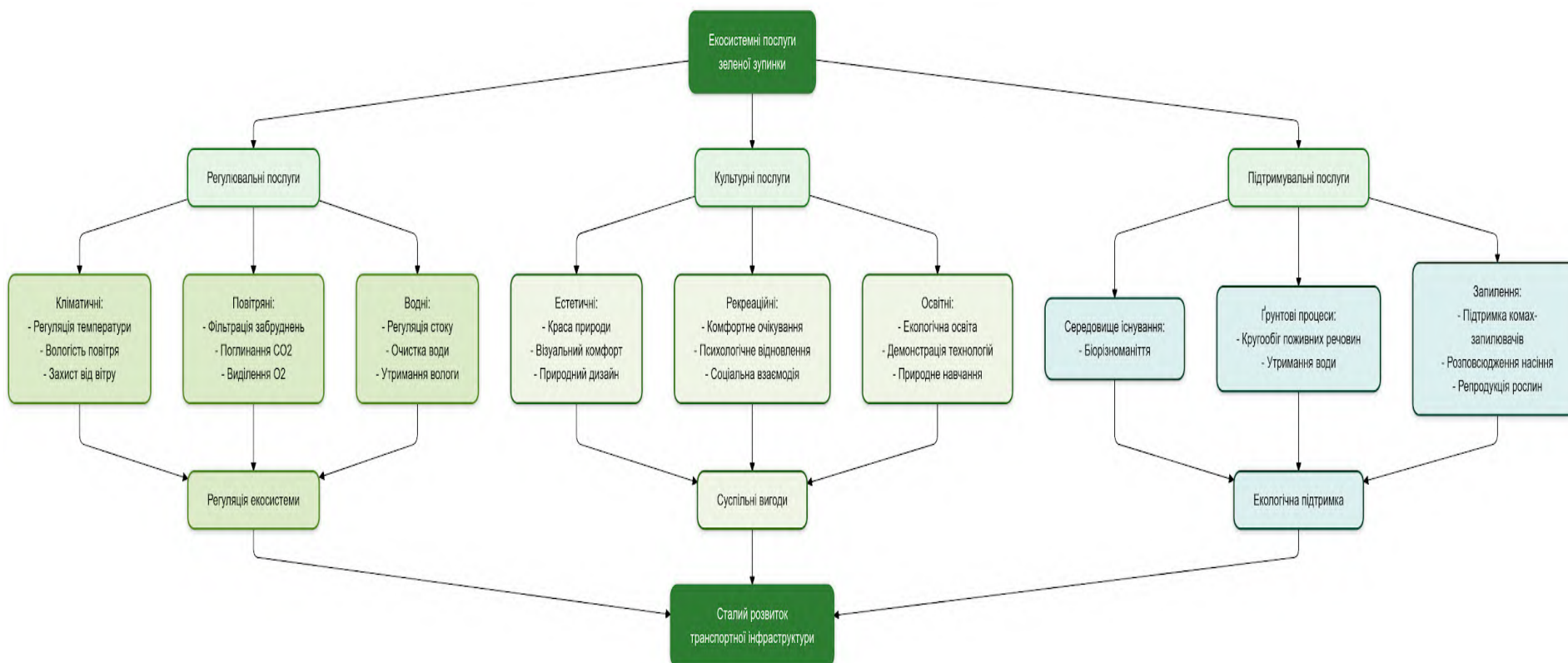
(Особистий внесок здобувача: визначено роль зеленої інфраструктури для вирішення проблем пов'язаних з адаптацією до глобальних кліматичних змін, запропоновано кращі об'єкти зеленої інфраструктури, які допоможуть краще адаптуватись).

SWOT-аналіз щодо можливостей використання зелених зупинок в місті Чугуїв

<i>Сильні сторони</i>	<i>Слабкі сторони</i>
Екологічний аспект: 1. Покращення якості повітря за рахунок поглинання CO₂ і пилу рослинами. 2. Покращення мікроклімату, який зменшує ефект теплового острова в місті. 3. Зниження шумового забруднення за рахунок рослинного покриву. 4. Підвищення біорізноманіття через створення умов для життя комах та дрібних тварин. Економічний аспект: 1. Використання наявної інфраструктури зупинок, що знижує початкові витрати. 2. Зменшення витрат на догляд за рахунок використання невибагливих рослин (сукуленти). 3. Потенційне залучення інвестицій через екологічні гранти або підтримку від міжнародних організацій. Соціальний аспект: 1. Покращення якості життя мешканців через створення комфортного громадського простору. 2. Підвищення обізнаності громадян щодо важливості екологічних ініціатив. 3. Створення привабливих зон для очікування транспорту.	Екологічний аспект: 1. Ризик деградації рослин через забруднене повітря, пил або неправильний догляд. 2. Обмежена екологічна ефективність через локальний рівень об'єкту. Економічний аспект: 1. Високі початкові витрати на реалізацію проєкту (конструкції, матеріали, рослини). 2. Додаткові витрати на підготовку персоналу для догляду за рослинами. 3. Можливі витрати на ремонт конструкції у випадку пошкодження. Соціальний аспект: 1. Низька обізнаність громадян щодо правильного використання та збереження зупинок. 2. Потенційна недовіра до нових ініціатив через відсутність такого досвіду. 3. Складність залучення мешканців до інфраструктури підтримки в довгостроковій перспективі.

<i>Можливості</i>	<i>Загрози</i>
Екологічний аспект: 1. Стимулювання розвитку зеленої інфраструктури в місті. 2. Формування позитивного іміджу міста як екологічно відповідального населеного пункту. 3. Змінення локального впливу парникових газів через поглинання CO₂ рослинами. Економічний аспект: 1. Залучення місцевого бізнесу до фінансування або обслуговування зупинок. 2. Розвиток екотуризму, збільшення кількості відвідувачів міста. 3. Створення нових робочих місць, пов'язаних із обслуговуванням зеленої інфраструктури. 4. Залучення мешканців до волонтерських програм догляду за зупинками. Соціальний аспект: 1. Організація освітніх заходів для населення про важливість зелених зон у міському середовищі. 4. Залучення школярів та студентів до участі в озелененні як частини екоосвіти. 5. Зміцнення почуття спільності та відповідальності серед мешканців. 6. Підвищення соціальної згуртованості через екологічні ініціативи.	Екологічний аспект: 1. Погіршення стану рослин через підвищену забрудненість міського середовища. 2. Ризик механічних пошкоджень або вандалізму. 3. Вплив екстремальних погодних умов (посухи, сильні морози). Економічний аспект: 1. Недостатнє фінансування для забезпечення довгострокового догляду за об'єктом. 2. Невиправдані економічні витрати у разі невдалого проєкту. 3. Залежність від ціни на матеріали та компоненти для організації зупинок. 4. Відсутність зацікавленості бізнесу у фінансуванні екологічних ініціатив. Соціальний аспект: 1. Недостатня підтримка проєкту з боку громади через низький рівень екологічної свідомості. 2. Можливі акти вандалізму та пошкодження зупинок.

Екосистемні послуги, які можна отримати при використанні зелених зупинок



SWOT-аналіз щодо можливостей використання екстенсивних дахів в місті Чугуїв

<i>Сильні сторони</i>	<i>Слабкі сторони</i>
Екологічний аспект: 1. Поліпшення мікроклімату, включаючи затримку опадів і охолодження поверхні улітку. 2. Поглинання CO₂ та пилу, зниження рівня забруднення повітря. 3. Мінімальний вплив на будівлю за рахунок легкості конструкції (0,5 кН/м²). 4. Збільшення біорізноманіття за рахунок висадження рослин, які приваблюють запилювачів. Економічний аспект: 1. Зменшення витрат на кондиціонування повітря та опалення взимку за рахунок теплоізоляційних властивостей зелених дахів. 2. Екстенсивні дахи вимагають менше обслуговування порівняно з іншими типами зелених дахів. Соціальний аспект: 1. Екстенсивні зелені дахи надають привабливості будівлям, що покращує загальний вигляд міста. 2. Зменшення шуму та підвищення якості повітря позитивно впливають на мешканців прилеглих районів.	Екологічний аспект: 1. Обмеженість асортименту рослин через специфіку екстенсивного типу дахів. 2. Необхідність регулярного контролю стану дренажної системи для уникнення затоплення. 3. Обмежена екологічна ефективність у масштабах міста через неможливість організації на всіх будівлях. Економічний аспект: 1. Значне залучення коштів на стадії реалізації. Соціальний аспект: 1. Недостатнє розуміння жителями міста переваг зелених дахів може гальмувати їх підтримку. 2. У частини населення можуть виникати сумніви щодо надійності та доцільності проєкту. 3. Мешканці багатоповерхових будинків можуть не мати прямого доступу до екстенсивних дахів, що зменшує їх взаємодію з об'єктом.

Можливості	Загрози
Екологічний аспект: 1. Стимулювання розвитку зеленої інфраструктури в місті. 2. Можливість інтеграції екстенсивних дахів у загальну систему зеленої інфраструктури міста. 3. Встановлення додаткової системи збору дощової води. Економічний аспект: 1. Зменшення навантаження на міські дренажні системи через затримку дощових вод. 2. Будівлі із зеленими дахами можуть бути більш привабливими для покупців та орендарів, що позитивно впливає на ринок нерухомості. Соціальний аспект: 1. Організація інформаційних питань щодо використання зелених дахів може змінити ставлення до екологічних ініціатив. 2. Мешканці можуть брати участь у створенні й догляді за зеленими дахами, що сприятиме розвитку спільної відповідальності. 3. Впровадження екологічних проєктів компоненту позиціонування міста як прогресивного та екологічного міста. 4. Зелена інфраструктура може бути частиною загального плану сталого розвитку міста.	Екологічний аспект: 1. Вплив екстремальних погодних умов, таких як посухи, сильні зливи чи морози, може негативно позначатися на стані рослинності. 2. Можливість пошкодження даху через неправильну експлуатацію або технічні несправності, наприклад, засмічення дренажної системи. 3. Обмежені ресурси на довгострокове обслуговування та моніторинг дахів. 4. Можливість умисного пошкодження конструкції або рослинності. Економічний аспект: 1. Можливий брак коштів для реалізації проєкту через інші бюджетні пріоритети міста. 2. Зростання вартості матеріалів чи робіт. 3. Економічні вигоди, такі як енергоефективність і довговічність покриття, проявляються через роки, що можуть порушити мотивацію для впровадження. Соціальний аспект: 1. Відсутність інтересів або підтримки мешканців може знизити ефективність проєкту. 2. Несанкціонований доступ можуть призвести до зниження ефективності конструкції. 3. Зелені дахи можуть бути доступними тільки в певних районах, що створює нерівномірність вигод



Алгоритм поновлення об'єктів зеленої інфраструктури, яка постраждала внаслідок військової агресії

Назва етапу	Назва під етапу	Зміст робіт
1. Оцінка стану пошкоджень	1.1. Інвентаризація об'єктів	- Створення реєстру пошкоджених елементів зеленої інфраструктури (парки, сквери, зелені зони, насадження вздовж доріг, природні резервати). Визначення рівня знищення та масштабів екологічного збитку.
	1.2. Технічна та екологічна експертиза	Аналіз стану ґрунтів, залишків рослинності та екосистем. Визначення об'єктів, які потребують першочергового втручання.
2. Розробка проєктів відновлення	2.1. Пріоритезація об'єктів	Виділення ключових територій для екологічного балансу та рекреаційних потреб. Визначення об'єктів стратегічного значення (зони біорізноманіття, протиерозійні насадження).
	2.2. Проєктування нових рішень	Розробка планів відновлення з урахуванням екосистемних послуг і кліматичних викликів. Інтеграція елементів зеленої інфраструктури з іншими видами інфраструктури (водоочисні системи, велоінфраструктура).

3. Залучення ресурсів	3.1. Фінансування	Залучення державних коштів, міжнародних грантів і програм відновлення. Активізація співпраці з екологічними організаціями та приватними спонсорами.
	3.2. Матеріально-технічна база	Забезпечення садивним матеріалом, технікою та необхідними засобами для робіт. Створення розсадників для місцевих видів рослин.
4. Виконання відновлювальних робіт	4.1. Першочергові заходи	Очищення територій від сміття, боєприпасів та інших наслідків бойових дій. Рекультивация пошкоджених ґрунтів.
	4.2. Посадка рослин	Відновлення деревних і чагарникових насаджень з використанням місцевих видів. Створення газонів, квітників і рекреаційних зон.
5. Моніторинг і обслуговування	5.1. Контроль якості відновлення	Регулярний моніторинг стану відновлених об'єктів. Оцінка ефективності виконаних заходів через 1, 3 і 5 років.
	5.2. Довгострокове обслуговування	Розробка планів догляду за об'єктами (полив, обрізка, захист від шкідників). Залучення громад до підтримки та догляду за зеленою інфраструктурою.



**Місця для потенційного облаштування дощових садів в м. Чугуїв
(масштаб змінено)**

Джерело: за автором



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та
агрохімії імені О.Н. Соколовського»

вул. Михайля Семенка, 4, м. Харків, 61024 тел.: (057) 704-16-69, 704-16-64,
факс: 704-16-69, код згідно з ЄДРПОУ 00497058
E-mail: nsc.issar@gmail.com, сайт: www.issar.com.ua

14.03.2025 р. № 03-09/167

Д О В І Д К А

про використання результатів наукових досліджень
дисертаційної роботи на здобуття ступеня доктор філософії
Гречко Аліни Андріївни за темою «**Ландшафтно-екологічні основи
територіальної організації зелено-блакитної інфраструктури малих міст
(на прикладі м. Чугуїв)**» за виконання науково-дослідних робіт
Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського»

Результати дисертаційного дослідження Гречко Аліни Андріївни за темою «Ландшафтно-екологічні основи територіальної організації зелено-блакитної інфраструктури малих міст (на прикладі м. Чугуїв)» використано при виконанні науково-дослідних робіт за завданням 01.01.03.02.Ф. Розробити наукові основи управління родючістю гідродefіцитних ґрунтів в умовах змін клімату та земельних відносин ПНД НААН 1 «Ґрунтові ресурси України: інформаційне забезпечення, раціональне використання, менеджмент, технології» на 2021-2025 рр., темами наукових досліджень Навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна:

«Інноваційні підходи до експлуатації ґрунтів в умовах урболандшафту», етапом 2021 року «Оптимізація водного та поживного режиму ґрунтів в умовах урбогеосистем»;

«Діагностичні показники родючості зрошуваних ґрунтів зеленої інфраструктури сельбищних ландшафтів для сталого управління в умовах змін клімату», етапами робіт:

2022 р. «Управління родючістю гідродefіцитних ґрунтів зеленої інфраструктури сельбищних ландшафтів: світовий досвід та перспективи його втілення в Україні»;

2023 р. «Моніторинг екологічних функцій ґрунтів сельбищних ландшафтів в умовах різних режимів зрошення»;

2024 р. «Екологічні прийоми оптимізації живлення рослин на гідродefіцитних ґрунтах урболандшафтів в умовах змін клімату».

В.о. директора



Святослав БАЛЮК



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, тел. +38 057 341-27-12
E-mail: univer@karazin.ua, сайт: <https://karazin.ua/>, код згідно з ЄДРПОУ 02071205

13.03.25 № 4301/437
на № _____

Д О В І Д К А

про впровадження результатів наукових досліджень
за темою дисертації на здобуття наукового ступеня доктор філософії
Гречко Аліни Андріївни

Результати дисертаційного дослідження Гречко Аліни Андріївни за темою: «Ландшафтно-екологічні основи територіальної організації зелено-блакитної інфраструктури малих міст (на прикладі м. Чугуїв)» використовуються у навчальному процесі навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна при розробці навчальних програм, навчально-методичних комплексів та викладанні дисциплін вибіркового циклу освітніх компонент: «Організація польових маршрутних досліджень», «Планування експериментальних досліджень», «ГІС» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти та «Зелено-блакитна інфраструктура», «Екологічний та зелений туризм» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти.

Проректор

з науково-педагогічної роботи

Олександр ГОЛОВКО





МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, тел. +38 057 341-27-12
E-mail: univer@karazin.ua, сайт: <https://karazin.ua/>, код згідно з ЄДРПОУ 02071205

13.03.25 № 4301/436
на № _____

Д О В І Д К А

про впровадження результатів наукових досліджень
за темою дисертації на здобуття наукового ступеня доктор філософії
Гречко Аліни Андріївни

Дисертаційне дослідження за темою: «Ландшафтно-екологічні основи територіальної організації зелено-блакитної інфраструктури малих міст (на прикладі м. Чугуїв)» виконувалось в рамках реалізації проєктів:

- Еразмус + «Іntenс – Комплексна докторська школа з екологічної політики, менеджменту та техноекології» 586471-ERP-1-2017-1-EE-ERPKA2-SVNE-JP, а саме

- дослідження під керівництвом одного із партнерів проєкту проф. Антоном Шакаруба (Естонія).;

- Міжнародного Вишеградського фонду «Зелено-голуба інфраструктура у містах країн колишнього СРСР – вивчаючи спадщину та досвід країн Вишеградської четвірки», а саме:

- участь у літній школі «Зелено-голуба інфраструктура у містах країн колишнього СРСР – вивчаючи спадщину та досвід країн Вишеградської четвірки» на базі Карпатського національного природного парку, м. Яремче, Україна);

- В рамках міжнародного співробітництва з Університетом Йорку в межах ініціативи Twinning «Kharkiv-York Partnership Towards a Zero Pollution Environment in Post-War Ukraine», а саме:

- було здійснено академічну мобільність, з перебування в Університеті Йорку, м. Йорк (Велика Британія) терміном з 03 червня по 31 серпня 2023 року;

- В рамках проєкту «Компетентнісна допомога для України — Competence Aid For Ukraine (CAFU)» прослухано курс лекцій та отримано сертифікат з підвищення кваліфікації та здійснено академічну мобільність з перебуванням в університеті Упсала, м. Упсала (Швеція) терміном з 28 жовтня по 01 листопада 2024 року;

- В рамках реалізації Програми Erasmus+ «DOMANI – Розвиток екосистем мікрокваліфікацій в Україні та Монголії для конкурентоспроможної та стійкої зеленої економіки» здійснюється розробка курсу «Biodiversity of urban landscapes»

Проректор
з науково-педагогічної роботи



Антон ПАНТЕЛЕЙМОНОВ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, тел. +38 057 341-27-12
E-mail: univ@karazin.ua, сайт: <https://karazin.ua/>, код згідно з ЄДРПОУ 02071205

13.03.25 № 4301/438
на № _____

Д О В І Д К А

про впровадження результатів наукових досліджень
за темою дисертації на здобуття наукового ступеня доктор філософії
Гречко Аліни Андріївни

Результати дисертаційного дослідження Гречко Аліни Андріївни за темою: «Ландшафтно-екологічні основи територіальної організації зелено-блакитної інфраструктури малих міст (на прикладі м. Чугуїв)» були використані при виконанні Навчально-науковим інститутом екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна науково-дослідних робіт:

- НДР «Розробка рекомендацій використання щодо зеленої інфраструктури для повоєнного відновлення міст» (№ держреєстрації 0123U100115);
- НДР «Ревіталізація регулярних ландшафтних композицій об'єктів зеленої інфраструктури» (№ держреєстрації 0122U000878);
- НДР «Конструктивно-географічне та картографічне обґрунтування визначення меж територій природно-заповідного фонду в умовах земельної реформи України» (№ держреєстрації 0220 U10114444);
- НДР «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Математичні науки та природничі науки» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна» (№ держреєстрації БФ/32-2021).

Проректор
з науково-педагогічної роботи

Антон ПАНТЕЛЕЙМОНОВ



14.03.25

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 11:18:43 21.03.2025

Назва файлу з підписом: Hrechko_diss_.pdf.p7s
Розмір файлу з підписом: 5.5 МБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Hrechko_diss_.pdf
Розмір файлу без підпису: 5.5 МБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ГРЕЧКО АЛІНА АНДРІЇВНА
П.І.Б.: ГРЕЧКО АЛІНА АНДРІЇВНА
Країна: Україна
РНОКПП: 3572502242
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 11:18:41 21.03.2025
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000232F4E0178CA1E06
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в одному файлі (CAdES enveloped)
Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAdES-X Long)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00