

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-69-144>

УДК 630\*477:630\*091

# ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ПРИРОДООРІЄНТОВАНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ СТАЛОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

## GEOINFORMATION ANALYSIS AS A TOOL FOR STRATEGIC PLANNING OF NATURE-BASED SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE LAND USE

**Соловій Ігор Павлович**

доктор економічних наук, професор,  
Національний лісотехнічний університет України  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>

**Жмурко Назарій Ігорович**

аспірант,  
Національний лісотехнічний університет України  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6609-9439>

**Бурда Юрій Анатолійович**

аспірант,  
Національний лісотехнічний університет України  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3823-0226>

**Soloviy Ihor, Zhmurko Nazarii, Burda Yuriy**  
Ukrainian National Forestry University

У статті розглянуто вплив зміни клімату на урбанізовані території та зосереджено увагу на застосуванні природоорієнтованих рішень. Синьо-зелена інфраструктура (BGI), зокрема біосмуги, інфільтраційні траншеї й «зелені» автобусні зупинки, сприяє зменшенню поверхневого стоку й підвищенню водопроникності ґрунту. Виокремлено роль нахилу, типу ґрунту й землекористування як головних чинників ефективності BGI. Наголошено на важливості геоінформаційних систем і даних дистанційного зондування, що дають змогу комплексно аналізувати просторові показники, планувати NbS і відстежувати їхній вплив. Запропонований підхід який інтегрує концепції природоорієнтованих рішень та циркулярної економіки стимулює сталий розвиток землекористування, знижує ризики повеней і перегріву, а також сприяє збереженню міського біорізноманіття та покращення добробуту мешканців міста.

**Ключові слова:** зміна клімату, синьо-зелена інфраструктура, природоорієнтовані рішення, сталий розвиток, геоінформаційні системи.

This article addresses the escalating influence of climate change on urban areas and underscores the importance of Nature-based Solutions (NbS) for mitigating environmental stressors. In particular, Blue-Green Infrastructure (BGI) elements—such as bioswales, infiltration trenches, and “green” bus stops—are considered as practical measures to reduce surface runoff, enhance groundwater recharge, and improve thermal conditions. Central to the effectiveness of these interventions are factors including land slope, soil type, and patterns of land use, all of which can significantly influence infiltration capacity and overall ecosystem resilience. By incorporating geographic information systems (GIS) and remote sensing data, urban planners gain a robust platform for analyzing relevant parameters and for pinpointing optimal sites for BGI deployment. Such an integrated approach not only yields a granular view of existing surface impermeability but also facilitates real-time monitoring and modeling of NbS performance as part of sustainable land use planning. Therefore adaptive management strategies become more adequate and responsive to emerging climate challenges, particularly with regard to communities’ resilience, flood prevention, heat island mitigation, and biodiversity conservation. The article further highlights targeted soil restoration methods that enhance hydraulic conductivity. By promoting a vision that merges NbS with circular economy principles, cities can accelerate the

adoption of sustainable practices and foster a more balanced land use structure which includes interplay between built and natural environments. The proposed methodology approach contributes to reduced greenhouse gas emissions, landscape ecological health, and strengthened social well-being, exemplifying how spatial analytics and governance can reshape urban landscapes design. Through these measures, municipalities are better equipped to protect human well-being, nurture environmental integrity, and uphold long-term urban resilience and sustainable land use in the face of climate change uncertainties.

**Keywords:** Climate change, nature-based solutions, Blue-Green Infrastructure, Sustainable Development, Geographic information systems.

**Постановка проблеми.** Природоорієнтовані рішення (Nature-Based Solutions, NBS) останніми роками здобули значну популярність у сфері сталого розвитку, екологічного управління та адаптації до змін клімату. Їх впровадження спрямоване на досягнення екологічних, соціальних та економічних цілей. Зокрема такі рішення сприяють зменшенню впливу негативних антропогенних факторів, відновленню біорізноманіття та розвитку сталих громад. Водночас, застосування NBS у гетерогенних екосистемах, які характеризуються складною структурою та варіативністю природних умов, вимагає комплексного аналізу й адаптивного підходу.

Одним із ключових викликів є недостатнє врахування просторових і часових змін у процесі планування та реалізації NBS. Відсутність детальних геоінформаційних даних і моделей може призвести до низької ефективності таких заходів або їх негативного впливу на екосистеми. Також існує обмежена інтеграція між екологічними, соціальними й економічними аспектами впровадження рішень. Для подолання цих проблем необхідно розробляти підходи, які базуються на геоінформаційному аналізі, здатному враховувати просторову неоднорідність та динаміку екосистем.

Таким чином, виникає нагальна потреба в оптимізації процесів впровадження NBS з використанням сучасних ГІС-технологій для покращення якості прийняття рішень і забезпечення сталого управління природними ресурсами в умовах гетерогенності екосистем.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на значний прогрес у розумінні та застосуванні NBS, існують певні прогалини, які стримують їх ефективне впровадження. Зокрема, бракує інтеграції просторових і часових даних із соціально-економічними показниками, що ускладнює адаптацію рішень до локальних умов. Крім того, недостатньо вивчено довгострокові ефекти застосування NBS на динаміку екосистем. Відсутність єдиних стандартів і методологій оцінювання впливу NBS на різні

екосистеми та їхні компоненти також є важливою перешкодою. Ці прогалини обмежують можливості масштабного впровадження NBS і знижують їхню ефективність у вирішенні екологічних і соціальних викликів. Отримані результати надають теоретико-методологічну основу для впровадження геоінформаційних технологій для використання природоорієнтованих рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато міських територій, які є елементами синьо-зеленої інфраструктури, знаходяться на стадії розвитку, таким чином зберігаючи мінімальну кількість зелених насаджень, для яких тип і площа в основному є результатом чинних правил містобудування, а не необхідністю, що виникає внаслідок мінімізації майбутніх проблем [8; 9; 10; 11; 12]. На даний момент геопросторові дані є найбільш значущим типом даних і, отже, ключовим елементом для збільшення обсягу інформації про стан космосу. Поточні дослідження синьо-зеленої інфраструктури надають приклади використання геоінформаційних систем (ГІС) у просторовому аналізі [13; 14; 15]. Згадані дослідження демонструють, що інструменти ГІС мають вирішальне значення для визначення територій, які потребують подальшого розвитку для забезпечення стійкості та для ефективного вибору компонентів синьо-зеленої інфраструктури. Крім того, значні дослідження зосереджені на використанні даних дистанційного зондування для аналізу динаміки зміни земного покриву, особливо в сценаріях, що характеризуються швидкою та значною урбанізацією [16; 17]. Тим не менш, у цих дослідженнях виникає об'єднуюча тема – автоматизація проведених аналізів і здатність виконувати їх у великих географічних районах – цілі, які також підтримує це дослідження. Слід також зазначити, що просторовий аналіз, розроблений за допомогою ГІС, дозволяє точно ідентифікувати явища та процеси, що відбуваються в контексті динамічного розвитку передмістя [18; 19].

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Метою статті є розроблення мето-

дологічного пілходу до інтегрованого використання геоінформаційних систем (ГІС) для планування та впровадження синьо-зеленої інфраструктури (BGI) в умовах змін клімату, з урахуванням просторових, гідрологічних і соціально-економічних чинників. Для досягнення цієї мети визначено такі завдання:

1. Оцінити сучасні підходи до використання ГІС при розробленні та впровадженні природоорієнтованих рішень (NbS) у міських і приміських територіях.

2. Виокремити ключові фактори, що впливають на ефективність BGI і визначити їхній вплив на зменшення поверхневого стоку та покращення міського мікроклімату.

3. Розробити рекомендації щодо адаптації різних компонентів BGI до локальних умов з огляду на потенціал інфільтрації, тип землекористування та специфіку міських екосистем.

Запропонований підхід сприятиме підвищенню ефективності природоорієнтованих рішень, зменшенню негативних наслідків зміни клімату в урбанізованому середовищі та забезпеченню сталого управління природними ресурсами на місцевому та регіональному рівнях.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Наслідки глобальної зміни клімату, безсумнівно, є однією з найбільш серйозних проблем, з якими сьогодні стикається людство. Нинішня модель економічного розвитку, заснована на викопному паливі та невідновлюваній експлуатації природних ресурсів, призвела до ситуації, коли негативні наслідки переходять у критичну фазу. Згідно доповіді IPCC (Міжурядова група експертів зі зміни клімату) глобальне потепління досягне 1,5 °C між 2030 і 2052 роками, якщо воно продовжуватиме збільшуватися поточними темпами. Відображаючи цю тенденцію, прогнозується, що відбудуться численні регіональні зміни клімату з глобальним потеплінням на планеті, включаючи все більш екстремальні температури в містах, а також збільшення частоти, інтенсивності та кількості сильних дощів і посух [1].

Міста, поряд з індустріальними тваринництвом, належать до основних причин зміни клімату. Сьогодні більше половини населення світу проживає в міських поселеннях. У 2022 році глобальні викиди парникових газів досягли нового рекорду – 57,4 гігатонни CO<sub>2</sub>-еквіваленту [2], згідно зі Звітом про розрив у викидах за 2023 рік Програми ООН з навколишнього середовища. Близько двох

третин викидів становив CO<sub>2</sub> від спалювання викопного палива та промислових процесів. За винятком транспорту, викиди з усіх основних секторів відновилися після пандемії і зараз перевищують рівень 2019 року. Енергетичний сектор, відповідальний за 86% світових викидів CO<sub>2</sub>, залишається найбільшим джерелом викидів, що зумовлено розширенням виробництва електроенергії на вугіллі та газі. До 2030 року уряди планують видобувати приблизно на 110% більше викопного палива, ніж це було б можливо за умови обмеження потепління на рівні 1,5°C. Утримання потепління на рівні 1,5°C передбачає скорочення викидів парникових газів на 42% до 2030 року, що вимагатиме щорічного зниження на 8,7%. Слідуючи цій тенденції, ймовірним сценарієм на найближчі десятиліття є низка глобальних проблем, пов'язаних із виснаженням ресурсів у результаті зміни клімату, пов'язаної зі збільшенням забруднення. Через негативний вплив глобального розвитку та споживання на сучасне суспільство останніми роками були прийняті нові глобальні рамки сталого розвитку, такі як Порядок денний сталого розвитку ООН до 2030 року та відповідні йому Цілі сталого розвитку (ЦСР) [3]. Ці та інші міжнародні угоди мають на меті встановити цілі, керівні принципи та моделі дій для забезпечення придатної для життя планети та більш справедливого та сталого суспільства.

Україна прагне після завершення війни з росією, яка зумовила масштабний багатогранний негативний вплив на довкілля, досягти виконання зобов'язань за Рамковою конвенцією Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, ратифікованої Законом України від 29 жовтня 1996 р. № 435/96-ВР та Паризькою угодою, ратифікованої Законом України від 14 липня 2016 р. № 1469-VIII, іншими міжнародними угодами у сфері зміни клімату, досягнення скорочення антропогенних викидів та збільшення поглинання парникових газів відповідно до Оновленого національно визначеного внеску України, схваленого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 липня 2021 р. № 868. Дотримання стратегічного курсу держави на набуття повноправного членства в ЄС вимагає впровадження вимог Європейського зеленого курсу. У цьому контексті стратегічне міське планування у поєднанні з вимогами сталості є основним інструментом для пом'якшення наслідків та адаптації міст до нових викликів, що виникають.

Згідно з визначенням Міжнародного союзу охорони природи (IUCN), природоорієнтовані

рішення (NbS) - це дії, які захищають, стійко керують і відновлюють природні або змінені екосистеми, одночасно вирішуючи соціальні проблеми та забезпечуючи переваги як для добробуту людини, так і для біорізноманіття [4]. Цей механізм, який переносить природу в міста [5], має великий потенціал для реагування та мінімізації наслідків зміни клімату в міських просторах, створюючи альтернативи, які повертають у міське середовище природні елементи, які раніше зникали з ростом і розвиток міст.

Щоб сприяти збереженню та відновленню екосистем і перетворювати міста на розумне, регенеративне та стійке середовище, де застосовуються концепції циркулярної економіки (CE) і природоорієнтованих рішень (NbS). NbS і CE є взаємопов'язаними, пліч-о-пліч концепціями розвитку ренатуралізованих і кругових міст [6; 7].

Геоінформаційні системи є чи не головним інструментом у процесі просторового планування NbS та планування сталого землекористування в цілому. Завдяки їм можна здійснювати комплексний аналіз ландшафтів, урахування рельєфу, види ґрунтів, гідрографію та інфраструктуру, і таким чином знаходити зони з підвищеним ризиком ерозії, підтоплення чи інших небажаних явищ. Окрім цього, ГІС слугують основою для систематичного моніторингу та оцінки результатів уже впроваджених рішень. Сучасні засоби дистанційного зондування (наприклад, супутникові знімки високої роздільної здатності) дозволяють відслідковувати динаміку рослинного покриву, зміни вологозабезпеченості ґрунту чи показників біорізноманіття. Усе це дає змогу оперативно коригувати ініціативи, якщо виявлено невідповідність очікуваним результатам. Важливим аспектом ГІС-аналізу є інтеграція різних типів даних – від кадастрових та соціально-економічних до геофізичних і кліматичних. Така мультидисциплінарність відкриває шлях до глибшого розуміння просторових закономірностей і дає змогу виділяти «гарячі точки», де NbS матимуть максимальний позитивний ефект. Крім суто аналітичної функції, ГІС-інструменти сприяють комунікації з громадськістю та інвесторами: інтерактивні карти та 3D-візуалізації наочно демонструють результати та перспективи природоорієнтованих рішень, стимулюючи прозорість процесу й підтримку на різних рівнях.

Поєднання моделювання з ГІС-аналізом забезпечує комплексний підхід до оцінки та

впровадження NbS. Якщо моделі ґрунтуються на верифікованих просторових даних – супутникових знімках, метеорологічних показниках, результатах наземних досліджень, – прогнозні сценарії стають більш точними та ближчими до реальності. Окрім того, результати моделювання можна напряму інтегрувати в геопросторові платформи, що дає змогу візуалізувати передбачувані ефекти в конкретних місцях. Такий підхід не тільки полегшує процес ухвалення рішень, а й дає змогу оптимізувати просторові параметри втілення – знайти райони, де очікувані вигоди перевищують витрати, або ж скоригувати масштаби заходів у відповідь на локальні ризики й умови.

Завдяки сучасним технологіям дистанційного зондування та безперервному збору даних, моделювання може відбуватися на регулярній основі, а його результати відразу відображатися на тематичних картах. Це закладає підґрунтя для динамічного й адаптивного управління, оскільки інформація оновлюється безперервно, дозволяючи оперативно підлаштовувати NbS під зміни клімату чи соціально-економічної ситуації.

Аналіз впровадження т. зв. синьо-зеленої інфраструктури (BGI), тобто мережі яка поєднує рослинний покрив та водні об'єкти, має на меті допомогти в інтеграції природних рішень у міське планування, слугуючи або альтернативою, або доповненням до традиційної інфраструктури. Ця діяльність, заснована на принципах сталого розвитку, спрямована на покращення якості життя та захист природного довкілля. Важливо також проводити дослідження щодо ефективного землеустрою, що має вирішальне значення для сталого міського розвитку та розвитку сільських територій [20].

Ці екосистеми пропонують важливі послуги, необхідні для боротьби зі зміною клімату шляхом пом'якшення та адаптації, зокрема [21; 22] охолодження та ізоляція; поглинання CO<sub>2</sub>; використання низьковуглецевих матеріалів; просування та впровадження цілей сталого розвитку [23]. Він також спрямований на збільшення безперервності природних територій у межах міст, підтримку їх екологічної ролі та суттєве збільшення міського біорізноманіття.

Використання елементів BGI дозволяє підвищити екологічний та тепловий комфорт, тоді як розгортання кількох елементів матиме більш синергетичний вплив на міське середовище [24]. Інтеграція елементів разом чи окремо залежить від конкретних цілей місь-



кого середовища, наявності простору та конкретних кліматичних умов місцевості. Комбіноване використання проаналізованих елементів BGI забезпечує адекватне зрощення рослинності та, одночасно, зменшує надмірне випаровування через відповідне затінення [25]. Водночас кожен із цих елементів сприяє покращенню якості води шляхом фільтрації, що позитивно впливає на якість ґрунту. Крім того, поглинання води безпосередньо в землю сприяє зменшенню навантаження на міські дренажні системи, запобігаючи затопленню міських територій. Водночас впровадження відповідної рослинності та функції затінення значно підвищують естетику міста, роблять його більш гостинним та привабливим для мешканців (табл. 1).

З огляду методологій, основними факторами для вибору та проєктування елементів

синьо-зеленої інфраструктури, які розглядаються, є нахил, тип ґрунту та використання землі [26; 27]

Що стосується типу ґрунту, найважливішим його параметром, є потенціал інфільтрації, виражений як значення насиченої гідравлічної провідності (м/с) [28]. Ці дані можуть бути отримані з педолого-літологічних карт, якщо вони доступні, з хорошим рівнем деталізації, або шляхом прямого огляду та перевірки інфільтрації.

У міських районах характеристики водопроникності ґрунтів можуть значно відрізнятися через ущільнення, спричинене забудовами та іншими видами використання. З цих причин, як правило, необхідні прямі дослідження для визначення характеристик потенціалу інфільтрації на конкретному місці. Автори Tredway і Havlick [29] також підкреслили корисність про-

Таблиця 1

## Компоненти синьо-зеленої інфраструктури (BGI)

Компоненти BGI	Біосмуга	Інфільтраційна траншея	Зелена автобусна зупинка
Визначення	Вкрите рослинністю неглибоке заглиблення, призначене для стоку дощової води, з багат шаровою будовою дна; біологічна вода збирає дощову воду, фільтрує її та поступово проникає в землю, таким чином сповільнюючи поверхневий стік	Неглибока виїмка, заповнена щебенем або камінням; структура підвищує природну здатність ґрунту поглинати воду	Складова міських ландшафтних споруд, що складається з навісу та місця для сидіння пасажирів, що очікують; він призначений для утримання дощової води та забезпечення додаткового зеленого простору для людей і дикої природи
Просторові особливості, що сприяють розташуванню	– площа з ухилом не більше 5% для зменшення ризику ерозії (або встановлення протиерозійних матів) – площа: мінімум 1% загальної площі водозбору – рівень ґрунтових вод – менше 1,5 м – нахил схилів – до 1:3 для полегшення косіння – біологічна плита зазвичай має ширину від 1,5 до 5 м	– глибина повинна бути близько 1–2 м і шириною 1,0–2,5 м – поздовжній ухил траншеї не повинен перевищувати 2% – максимальна площа водозбірного басейну: 5 га – траншеї не можна будувати поблизу будівель і при забрудненні ґрунтових вод	– приблизні розміри (які можуть відрізнятися в залежності від конкретного дизайну): довжина прибіл. 5,5 м і шириною 2 м – максимальна площа прилеглих тротуарів, з яких може бути забрана вода стандартною автобусною зупинкою, становить 60 м <sup>2</sup>
Місце застосування	автостоянки, дороги, тротуари, велосипедні доріжки та громадські місця	поблизу ігрових полів, спортивних споруд, зон відпочинку або відкритих громадських місць, а також автостоянок	центри міст і урбанізовані території в межах доступності громадського транспорту – автобусних зупинок

Джерело: сформовано на основі джерела [34] з доповненнями

ведення, де це необхідно, будь-яких робіт для покращення швидкості інфільтрації ґрунту.

Землекористування та його сталість є фундаментальною темою, оскільки можливість природного проникнення залежить від наявності непроникних поверхонь. Землекористування та частка зелених насаджень, наявних у певній місцевості, визначають поведінку поверхневих вод і впливають на ризик поведінки [30; 31]. Карти землекористування надають інформацію про зелені зони, які сумісні з можливістю інфільтрації, і, в той же час, дозволяють ідентифікувати різні водонепроникні поверхні та оцінити можливий поверхневий стік [30; 31; 32]. Етапи методології для визначення зеленої інфраструктури висвітлено на рисунку 1.

**Висновки.** Зміна клімату ставить перед містами нагальні виклики, зокрема через зростання викидів парникових газів і погіршення стану довкілля. Природоорієнтовані рішення (NbS) та синьо-зелена інфраструктура (BGI) пропонують ефективні шляхи пом'якшення цих негативних наслідків і адаптації міського простору.

Використання біосмуг, інфільтраційних траншей та зелених елементів (наприклад, т.зв. «зелених» автобусних зупинок) допомагає зменшити поверхневий стік, підвищити водопроникність ґрунтів та збагатити міські ландшафти. Ключовими факторами для успішного впровадження таких рішень є правильна оцінка схилу, типу ґрунту та способу землекористування.

Геоінформаційні системи та інструменти дистанційного зондування слугують основою для детального аналізу територій, визначення потенційних зон розміщення BGI та сталого управління міськими екосистемами. Вони забезпечують комплексну інтеграцію просторових, гідрологічних і кліматичних даних, що дозволяє будувати точні прогнози та оперативно коригувати заходи за потреби.

У підсумку, стратегічне планування з акцентом на NbS і BGI, підкріплене даними ГІС, здатне покращити якість життя в містах, адаптуватися до впливів зміни клімату та сприяти створенню більш стійкого до змін клімату та сталого міського довкілля.

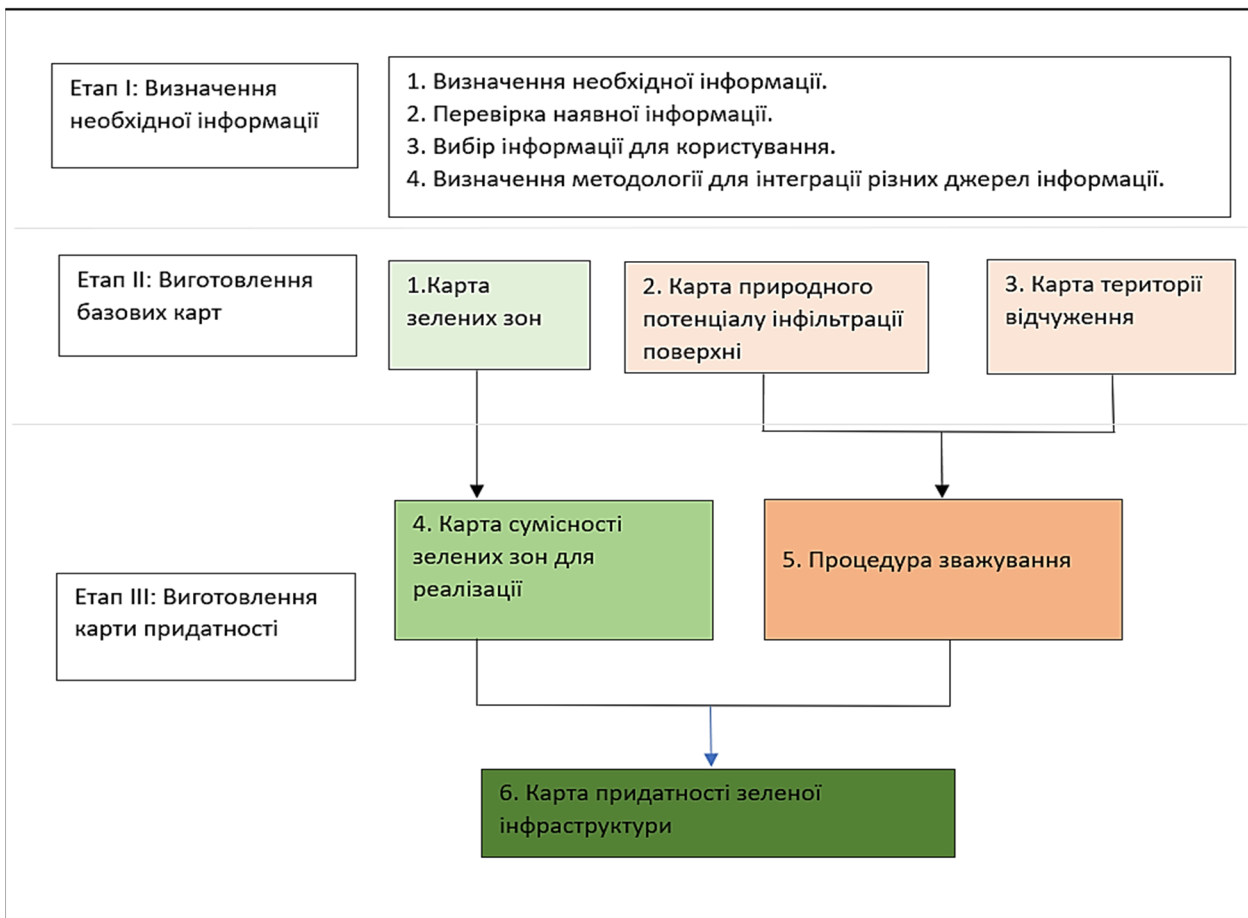


Рис. 1. Етапи методології визначення зеленої зони [33]

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5 °C. In An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA. Available at: <http://surf.li/ziifam> (accessed December 21, 2024)
2. United Nations. (2022). *The Sustainable Development Goals Report 2022*. Available at: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/> (accessed December 21, 2024)
3. United Nations. (2024). *The Sustainable Development Goals Report 2024*. Available at: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/> (accessed December 21, 2024)
4. IUCN. (2020). *Global Standard for Nature-Based Solutions: A User-Friendly Framework for the Verification, Design and Scaling Up of NbS, 1st ed.*; IUCN: Gland, Switzerland.
5. Langergraber, G.; Pucher, B.; Simperler, L.; Kissler, J.; Katsou, E.; Buehler, D.; Mateo, M.C.G.; Atanasova, N. (2020). *Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city*. *Blue-Green Systems*, 2, 173–185.
6. Pineda-Martos, R.; Calheiros, C.S.C. (2021). *Nature-based solutions in cities – Contribution of the Portuguese National Association of Green Roofs to urban circularity*. *Circular Economy and Sustainability*, 1, 1019–1035.
7. Pearlmutter, D.; Theochari, D.; Nehls, T.; Pinho, P.; Piro, P.; Korolova, A.; Papaefthimiou, S.; Mateo, M.C.G.; Calheiros, C.; Zluwa, I. et al. (2020). *Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: Green building materials, systems and sites*. *Blue-Green Systems*, 2, 46–72.
8. Grimmond, C.S.B.; Roth, M.; Oke, T.R.; Au, Y.C.; Best, M.; Betts, R.; Carmichael, G.; Cleugh, H.; Dabberdt, W.; Emmanuel, R. et al. (2010). *Climate and more sustainable cities: Climate information for improved planning and management of cities (Producers/Capabilities Perspective)*. *Procedia Environmental Sciences*, 1, 247–274.
9. Wagner, I.; Krauze, K.; Zalewski, M. (2013). *Blue aspects of green infrastructure*. *Sustainable Development Applications*, 4, 145–155.
10. Drosou, N.; Soetanto, R.; Hermawan, F.; Chmutina, K.; Boshier, L.; Hatmoko, J.U.D. (2019). *Key factors influencing wider adoption of blue-green infrastructure in developing cities*. *Water*, 11, 1234.
11. Pluto-Kossakowska, J.; Władyska, M.; Tulkowska, W. (2020). *Wykorzystanie technologii GIS w analizie zielonej i błękitnej infrastruktury [Use of GIS technology in the analysis of green and blue infrastructure]*. *Roczniki Geomatyki [Annals of Geomatics]*, 18(1), 33–50. (in Polish)
12. O'Donnell, E.; Netusil, N.; Chan, F.; Dolman, N.; Gosling, S. (2021). *International perceptions of urban blue-green infrastructure: A comparison across four cities*. *Water*, 13, 544.
13. Zhou, C.; Wu, Y. (2020). *A planning support tool for layout integral optimization of urban blue-green infrastructure*. *Sustainability*, 12, 1613.
14. Sörensen, J.; Persson, A.S.; Olsson, J.A. (2021). *A data management framework for strategic urban planning using blue-green infrastructure*. *Journal of Environmental Management*, 299, 113658.
15. Kaur, R.; Gupta, K. (2022). *Blue-green infrastructure (BGI) network in urban areas for sustainable storm water management: A geospatial approach*. *City and Environment Interactions*, 16, 100087.
16. Thekkan, A.F.; George, A.; Prasad, P.R.C.; Joseph, S. (2022). *Understanding blue-green infrastructure through spatial maps: Contribution of remote sensing and GIS technology*. In *Blue-Green Infrastructure across Asian Countries*; Dhyani, S., Basu, M., Santhanam, H., Dasgupta, R., Eds.; Springer: Singapore.
17. Gobatti, L.; Bach, P.M.; Scheidegger, A.; Leitão, J.P. (2023). *Using satellite imagery to investigate Blue-Green Infrastructure establishment time for urban cooling*. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104768.
18. Biłozor, A.; Cieślak, I.; Czyża, S.; Szuniewicz, K.; Bajerowski, T. (2024). *Land-use change dynamics in areas subjected to direct urbanization pressure: A case study of the city of Olsztyn*. *Sustainability*, 16, 2923.
19. Cebrián Abellán, F.; Andrés López, G.; Bellet Sanfeliu, C. (2023). *The use of GIS and multicriteria techniques for the socio-spatial analysis of urban areas in medium-sized Spanish cities*. *Land*, 12, 1115.
20. Ul Din, S.; Mak, H.W.L. (2021). *Retrieval of land-use/land cover change (LUCC) maps and urban expansion dynamics of Hyderabad, Pakistan via Landsat datasets and support vector machine framework*. *Remote Sensing*, 13, 3337.
21. Iwaszuk, E.; Rudik, G.; Duin, L.; Mederake, L.; Davis, M.; Naumann, S.; Wagner, I. (2019). *Elementy błękitno-zielonej infrastruktury [Elements of blue-green infrastructure]*. *Błękitno-Zielona Infrastruktura dla Łagodzenia Zmian Klimatu – Katalog Techniczny [Blue-Green Infrastructure for Climate Change Mitigation – Technical Catalog]*; Bergier, T., Kowalewska, A., Eds.; Ecologic Institute & Fundacja Sendzimira: Warsaw, Poland, pp. 5–44. (in Polish)
22. Morello, E.; Mahmoud, I.; Colaninno, N. (2019). *Catalogue of nature-based solutions for urban regeneration*. *Energy & Urban Planning Workshop*; Morello, E., Mahmoud, I., Eds.; School of Architecture Urban Planning Construction Engineering, Politecnico di Milano: Milan, Italy, pp. 33–89.

23. Our World in Data. (n.d.). Available at: <https://sdg-tracker.org/> (accessed December 25, 2024)
24. Antoszewski, P.; Świerk, D.; Krzyżaniak, M. (2020). *Statistical review of quality parameters of blue-green infrastructure elements important in mitigating the effect of the urban heat island in the temperate climate (C) zone*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17, 7093.
25. Müller, N.; Kuttler, W.; Barlag, A.B. (2014). *Counteracting urban climate change: Adaptation measures and their effect on thermal comfort*. Theoretical and Applied Climatology, 115, 243–257.
26. Muthanna, T.M.; Sivertsen, E.; Kliewer, D.; Jotta, L. (2018). *Coupling field observations and Geographical Information System (GIS)-based analysis for improved Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) performance*. Sustainability, 10, 4683.
27. Gallagher, K.V.; Alsharif, K.; Tsegaye, S.; Van Beynen, P. (2018). *A new approach for using GIS to link infiltration BMPs to groundwater pollution risk*. Urban Water Journal, 15, 847–857.
28. Martin-Mikle, C.J.; de Beurs, K.M.; Julian, J.P.; Mayer, P.M. (2015). *Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed*. Landscape and Urban Planning, 140, 29–41.
29. Tredway, J.C.; Havlick, D.G. (2017). *Assessing the potential of low-impact development techniques on runoff and streamflow in the Templeton Gap Watershed, Colorado*. The Professional Geographer, 69, 372–382.
30. Charlesworth, S.M.; Warwick, F. (2020). *Sustainable drainage, green and blue infrastructure in urban areas*. Sustainable Water Engineering; Charlesworth, S.M., Booth, C., Adeyeye, K., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 185–206. ISBN 9780128161203.
31. Wang, X.; Shuster, W.; Pal, C.; Buchberger, S.; Bonta, J.; Avadhanula, K. (2010). *Low impact development design – Integrating suitability analysis and site planning for reduction of post-development stormwater quantity*. Sustainability, 2, 2467–2482.
32. Li, L.; Uyttenhove, P.; Vaneetvelde, V. (2020). *Planning green infrastructure to mitigate urban surface water flooding risk – A methodology to identify priority areas applied in the city of Ghent*. Landscape and Urban Planning, 194, 103703.
33. Senes, G.; Ferrario, P.S.; Cirone, G.; Fumagalli, N.; Frattini, P.; Sacchi, G.; Valè, G. (2021). *Nature-based solutions for storm water management—Creation of a green infrastructure suitability map as a tool for land-use planning at the municipal level in the province of Monza-Brianza (Italy)*. Sustainability, 13(11), 6124.
34. Czyża, S.; Kowalczyk, A.M. (2024). *Applying GIS in blue-green infrastructure design in urban areas for better life quality and climate resilience*. Sustainability, 16(12), 5187.

## REFERENCES:

1. IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5 °C. In An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA. Available at: <http://surl.li/ziifam> (accessed December 21, 2024)
2. United Nations. (2022). *The Sustainable Development Goals Report 2022*. Available at: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/> (accessed December 21, 2024)
3. United Nations. (2024). *The Sustainable Development Goals Report 2024*. Available at: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/> (accessed December 21, 2024)
4. IUCN. (2020). *Global Standard for Nature-Based Solutions: A User-Friendly Framework for the Verification, Design and Scaling Up of NbS, 1st ed.*; IUCN: Gland, Switzerland.
5. Langergraber, G.; Pucher, B.; Simperler, L.; Kisser, J.; Katsou, E.; Buehler, D.; Mateo, M.C.G.; Atanasova, N. (2020). *Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city*. Blue-Green Systems, 2, 173–185.
6. Pineda-Martos, R.; Calheiros, C.S.C. (2021). *Nature-based solutions in cities – Contribution of the Portuguese National Association of Green Roofs to urban circularity*. Circular Economy and Sustainability, 1, 1019–1035.
7. Pearlmutter, D.; Theochari, D.; Nehls, T.; Pinho, P.; Piro, P.; Korolova, A.; Papaefthimiou, S.; Mateo, M.C.G.; Calheiros, C.; Zluwa, I. et al. (2020). *Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: Green building materials, systems and sites*. Blue-Green Systems, 2, 46–72.
8. Grimmond, C.S.B.; Roth, M.; Oke, T.R.; Au, Y.C.; Best, M.; Betts, R.; Carmichael, G.; Cleugh, H.; Dabberdt, W.; Emmanuel, R. et al. (2010). *Climate and more sustainable cities: Climate information for improved planning and management of cities (Producers/Capabilities Perspective)*. Procedia Environmental Sciences, 1, 247–274.
9. Wagner, I.; Krauze, K.; Zalewski, M. (2013). *Blue aspects of green infrastructure*. Sustainable Development Applications, 4, 145–155.



10. Drosou, N.; Soetanto, R.; Hermawan, F.; Chmutina, K.; Boshier, L.; Hatmoko, J.U.D. (2019). *Key factors influencing wider adoption of blue-green infrastructure in developing cities*. *Water*, 11, 1234.
11. Pluto-Kossakowska, J.; Władyka, M.; Tulkowska, W. (2020). *Wykorzystanie technologii GIS w analizie zielonej i błękitnej infrastruktury* [Use of GIS technology in the analysis of green and blue infrastructure]. *Roczniki Geomatyki* [Annals of Geomatics], 18(1), 33–50. (in Polish)
12. O'Donnell, E.; Netusil, N.; Chan, F.; Dolman, N.; Gosling, S. (2021). *International perceptions of urban blue-green infrastructure: A comparison across four cities*. *Water*, 13, 544.
13. Zhou, C.; Wu, Y. (2020). *A planning support tool for layout integral optimization of urban blue-green infrastructure*. *Sustainability*, 12, 1613.
14. Sörensen, J.; Persson, A.S.; Olsson, J.A. (2021). *A data management framework for strategic urban planning using blue-green infrastructure*. *Journal of Environmental Management*, 299, 113658.
15. Kaur, R.; Gupta, K. (2022). *Blue-green infrastructure (BGI) network in urban areas for sustainable storm water management: A geospatial approach*. *City and Environment Interactions*, 16, 100087.
16. Thekkan, A.F.; George, A.; Prasad, P.R.C.; Joseph, S. (2022). *Understanding blue-green infrastructure through spatial maps: Contribution of remote sensing and GIS technology*. In *Blue-Green Infrastructure across Asian Countries*; Dhyani, S., Basu, M., Santhanam, H., Dasgupta, R., Eds.; Springer: Singapore.
17. Gobatti, L.; Bach, P.M.; Scheidegger, A.; Leitão, J.P. (2023). *Using satellite imagery to investigate Blue-Green Infrastructure establishment time for urban cooling*. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104768.
18. Biłozor, A.; Cieślak, I.; Czyża, S.; Szuniewicz, K.; Bajerowski, T. (2024). *Land-use change dynamics in areas subjected to direct urbanization pressure: A case study of the city of Olsztyn*. *Sustainability*, 16, 2923.
19. Cebrián Abellán, F.; Andrés López, G.; Bellet Sanfeliu, C. (2023). *The use of GIS and multicriteria techniques for the socio-spatial analysis of urban areas in medium-sized Spanish cities*. *Land*, 12, 1115.
20. Ul Din, S.; Mak, H.W.L. (2021). *Retrieval of land-use/land cover change (LUCC) maps and urban expansion dynamics of Hyderabad, Pakistan via Landsat datasets and support vector machine framework*. *Remote Sensing*, 13, 3337.
21. Iwaszuk, E.; Rudik, G.; Duin, L.; Mederake, L.; Davis, M.; Naumann, S.; Wagner, I. (2019). *Elementy błękitno-zielonej infrastruktury* [Elements of blue-green infrastructure]. *Błękitno-Zielona Infrastruktura dla Łagodzenia Zmian Klimatu—Katalog Techniczny* [Blue-Green Infrastructure for Climate Change Mitigation – Technical Catalog]; Bergier, T., Kowalewska, A., Eds.; Ecologic Institute & Fundacja Sendzimira: Warsaw, Poland, pp. 5–44. (in Polish)
22. Morello, E.; Mahmoud, I.; Colaninno, N. (2019). *Catalogue of nature-based solutions for urban regeneration*. *Energy & Urban Planning Workshop*; Morello, E., Mahmoud, I., Eds.; School of Architecture Urban Planning Construction Engineering, Politecnico di Milano: Milan, Italy, pp. 33–89.
23. Our World in Data. (n.d.). Available at: <https://sdg-tracker.org/> (accessed December 25, 2024)
24. Antoszewski, P.; Świerk, D.; Krzyżaniak, M. (2020). *Statistical review of quality parameters of blue-green infrastructure elements important in mitigating the effect of the urban heat island in the temperate climate (C) zone*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 7093.
25. Müller, N.; Kuttler, W.; Barlag, A.B. (2014). *Counteracting urban climate change: Adaptation measures and their effect on thermal comfort*. *Theoretical and Applied Climatology*, 115, 243–257.
26. Muthanna, T.M.; Sivertsen, E.; Kliever, D.; Jotta, L. (2018). *Coupling field observations and Geographical Information System (GIS)-based analysis for improved Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) performance*. *Sustainability*, 10, 4683.
27. Gallagher, K.V.; Alsharif, K.; Tsegaye, S.; Van Beynen, P. (2018). *A new approach for using GIS to link infiltration BMPs to groundwater pollution risk*. *Urban Water Journal*, 15, 847–857.
28. Martin-Mikle, C.J.; de Beurs, K.M.; Julian, J.P.; Mayer, P.M. (2015). *Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed*. *Landscape and Urban Planning*, 140, 29–41.
29. Tredway, J.C.; Havlick, D.G. (2017). *Assessing the potential of low-impact development techniques on runoff and streamflow in the Templeton Gap Watershed, Colorado*. *The Professional Geographer*, 69, 372–382.
30. Charlesworth, S.M.; Warwick, F. (2020). *Sustainable drainage, green and blue infrastructure in urban areas*. *Sustainable Water Engineering*; Charlesworth, S.M., Booth, C., Adeyeye, K., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 185–206. ISBN 9780128161203.
31. Wang, X.; Shuster, W.; Pal, C.; Buchberger, S.; Bonta, J.; Avadhanula, K. (2010). *Low impact development design – Integrating suitability analysis and site planning for reduction of post-development stormwater quantity*. *Sustainability*, 2, 2467–2482.
32. Li, L.; Uyttenhove, P.; Vaneetvelde, V. (2020). *Planning green infrastructure to mitigate urban surface water flooding risk – A methodology to identify priority areas applied in the city of Ghent*. *Landscape and Urban Planning*, 194, 103703.

33. Senes, G.; Ferrario, P.S.; Cirone, G.; Fumagalli, N.; Frattini, P.; Sacchi, G.; Valè, G. (2021). *Nature-based solutions for storm water management – Creation of a green infrastructure suitability map as a tool for land-use planning at the municipal level in the province of Monza-Brianza (Italy)*. Sustainability, 13(11), 6124.
34. Czyża, S.; Kowalczyk, A.M. (2024). *Applying GIS in blue-green infrastructure design in urban areas for better life quality and climate resilience*. Sustainability, 16(12), 5187.