

УДК 550.4:711.4(477.41)

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2025-3-3>

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХІМІЧНА ДЕСТРУКЦІЯ ТЕРИТОРІЙ ІНТЕНСИВНОГО БУДІВНИЦТВА

Зеленчук Іван Дмитрович

аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності,

Уманський національний університет, м. Умань, Україна

ORCID ID: 0009-0008-8517-6617

Актуальність дослідження: зумовлена інтенсивним техногенним впливом будівельної діяльності на ландшафтно-геохімічні процеси, що спричиняє порушення функціональної цілісності природних компонентів ландшафту. Осмислення характеру та масштабів ландшафтно-геохімічних трансформацій у зонах інтенсивного будівництва є необхідним для розроблення науково обґрунтованих методик екологічного моніторингу та заходів із відновлення порушених природних екосистем. **Предметом дослідження** є ландшафтно-геохімічні зміни інертних і живих компонентів територій інтенсивного будівництва, зокрема трансформації хімічного складу ґрунтів, кислотно-лужного балансу та просторової структури екосистем. Особлива увага приділяється аналізу взаємодії між геологічними, ґрунтовими та біотичними елементами ландшафту в умовах техногенного навантаження. **Мета дослідження:** визначення характеру й масштабів ландшафтно-геохімічних трансформацій у зонах інтенсивного будівництва м. Києва, а також оцінювання порушень взаємодії між інертними та живими компонентами ландшафту. Об'єктом дослідження є ділянки інтенсивного будівництва міста Києва, які піддаються трансформаціям унаслідок впливу будівельної діяльності. **Методологія дослідження:** біоіндикація, хімічний аналіз ґрунтів і просторове моделювання в ГІС із застосуванням статистичних методів просторової автокореляції (Moran's I), кластерного аналізу та багатовимірного регресійного моделювання. **Результати дослідження:** концентрації свинцю (Pb), міді (Cu) та цинку (Zn) у ґрунтах будівельних майданчиків перевищують безпечні нормативи, індекс забруднення (Zc) у зоні радіусом до 300 метрів від джерела становить понад 12, що свідчить про високий рівень техногенного впливу. Просторовий аналіз із застосуванням методів автокореляції та кластерного аналізу виявив закономірності розподілу зон антропогенного тиску. **Практичне значення:** отримані результати необхідні для врахування ландшафтно-геохімічних трансформацій під час планування просторового розвитку, імплементації екологічного зонування, рекультивациі та створення буферних зон з метою забезпечення функціональної цілісності екосистем в умовах інтенсивного будівництва. Це підтверджує суттєві трансформації природних компонентів у зонах інтенсивного будівництва, що проявляються в підвищеному рівні техногенного забруднення та деградації рослинного покриву. **Висновки:** ландшафтно-геохімічні дослідження зафіксували перевищення гранично допустимих концентрацій важких металів у ґрунтах зон інтенсивного будівництва. Просторовий аналіз виявив статистично значущі кластери техногенного впливу в межах 300 метрів від будівельних майданчиків. За досліджуваний період індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) знизився на 31%, що свідчить про деградацію живих компонентів ландшафту. Результати автокореляції і кластерного аналізу підтвердили просторову неоднорідність розподілу забруднень і зон екологічного ризику. **Перспектива подальших досліджень:** актуальним є проведення комплексного ландшафтно-геохімічного моніторингу на рівні всієї Київської агломерації з метою виявлення просторових закономірностей порушення структурно-функціональної цілісності ландшафту під впливом будівництва, з використанням NDVI, індексу забруднення ґрунтів (Zc), показників просторової автокореляції та методів багатовимірного аналізу.

Ключові слова: ландшафт, геохімія, антропогенний вплив, інертні компоненти, живі компоненти, рекультивациа, OSM, NDVI.

LANDSCAPE-GEOCHEMICAL DEGRADATION IN AREAS OF INTENSIVE CONSTRUCTION

Zelenchuk Ivan Dmytrovych

Postgraduate Student at the Department of Ecology and Life Safety,

Uman National University, Uman, Ukraine

ORCID ID: 0009-0008-8517-6617

Research relevance: The study is driven by the intensive technogenic impact of construction activities on landscape-geochemical processes, leading to the disruption of the functional integrity of natural landscape components. Understanding the nature and scale of landscape-geochemical transformations in intensive construction zones is essential for developing scientifically grounded methodologies for environmental monitoring and restoration of disturbed natural ecosystems. **The subject of the research:** landscape-geochemical changes in the inert and biotic components of intensive construction areas, particularly transformations in soil chemical composition, acid-base balance, and the spatial structure of ecosystems. Special attention is paid to the interaction between geological, soil, and biotic elements of the landscape under technogenic pressure. **Research objective:** to determine the nature and extent of landscape-geochemical transformations in intensive construction zones of Kyiv and to assess disruptions in the interaction between inert and biotic components of the landscape. **Object of the research:** areas of intensive construction within the city of Kyiv, undergoing transformations due to construction-related impacts. **Research methodology:** bioindication, soil chemical analysis, and spatial modeling in GIS, applying statistical methods such as spatial autocorrelation (Moran's I), cluster analysis, and multivariate regression modeling. **Research results:** Concentrations of lead (Pb), copper (Cu), and zinc (Zn) in the soils of construction sites exceed permissible safety limits. The pollution index (Zc) within a 300-meter radius from the sources exceeds 12, indicating a high level of technogenic impact. Spatial analysis using autocorrelation and cluster analysis revealed patterns in the distribution of anthropogenic pressure zones. **Practical significance:** The obtained results are essential for considering landscape-geochemical transformations in spatial development planning, implementing ecological zoning, land reclamation, and the creation of buffer zones to ensure the functional integrity of ecosystems under intensive construction conditions. This confirms significant transformations of natural components in construction zones, manifested in elevated levels of technogenic pollution and degradation of vegetative cover. **Conclusions:** Landscape-geochemical studies recorded concentrations of heavy metals in construction zone soils that exceed maximum permissible levels. Spatial analysis revealed statistically significant clusters of technogenic impact within 300 meters of construction sites. During the study period, the NDVI index decreased by 31%, indicating degradation of the living components of the landscape. Results of autocorrelation and cluster analysis confirmed the spatial heterogeneity of pollution distribution and ecological risk zones. **Prospects for further research:** It is relevant to conduct a comprehensive landscape-geochemical monitoring study across the entire Kyiv agglomeration to identify spatial patterns of structural and functional landscape integrity disruption caused by construction activities, using NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), soil pollution index (Zc), spatial autocorrelation metrics, and multivariate analytical methods.

Keywords: landscape, geochemistry, anthropogenic impact, inert components, biotic components, reclamation, OSM, NDVI.

Постановка проблеми. Будівельна діяльність є одним із провідних антропогенних чинників, що спричиняє порушення просторової та функціональної цілісності ландшафтних систем [1]. Втручання в природні взаємозв'язки між інертними та живими компонентами призводить до деформації ландшафтно-геохімічної структури, зміни геохімічних параметрів ґрунтового покриву та зниження якості екосистемних послуг [2]. Особливо це стосується територій з активним будівельним навантаженням, де спостерігається накопичення важких металів і супутніх забруднювальних речовин, що спричиняють

деградацію рослинності й скорочення біорізноманіття [3].

Актуальність цієї проблеми посилюється в умовах стрімкого зростання площ промислових і логістичних кластерів в Україні. Така динаміка пов'язана, зокрема, з переміщенням виробництва із регіонів, охоплених воєнними діями. З огляду на це зростає потреба у впровадженні науково обґрунтованих підходів до моніторингу та управління ландшафтно-геохімічними трансформаціями [4].

Науковий аналіз змін у ландшафтах потребує вдосконаленої методології дослідження порушення взаємодії порушення

взаємозв'язків між живими й інертними компонентами. У працях українських дослідників сформовано теоретичні засади вивчення антропогенно змінених ландшафтів, де розкрито закономірності їх структурно-функціональної трансформації [5]. В умовах повноенної повномасштабної відбудови країни необхідно зосередити увагу на кількісному вимірюванні змін, що відбуваються впродовж усього будівельного циклу – від етапу підготовчих робіт до завершення будівельного освоєння територій. У цьому аспекті актуальним є пошук інтегрованих підходів, які би поєднували методи фізичної географії, ландшафтно-екології, геоекології та прикладної геоморфології для виявлення, оцінювання та моделювання ризиків трансформацій ландшафтів у процесі будівельної діяльності.

З огляду на неминучу індустріалізацію нових регіонів особливої актуальності набуває проблема деструкції інертних компонентів ландшафту, зокрема рельєфу та ґрунтового покриву цілих територій, що виступають опорним каркасом геосистем. Геохімічні зміни, спричинені антропогенними, або техногенними факторами, активізованими в результаті будівельної діяльності, впливають на структурну організацію ландшафтів, знижують їх екологічну стійкість та провокують фрагментацію природних комплексів, що призводить до втрати ландшафтних екосистемних послуг (ЛЕП), які включають не лише ресурсні, але й регуляторні, культурні та підтримувальні функції. Порушення цих екологічних сервісів знижує якість життя місцевого населення, змінює умови проживання та формує нові осередки екологічного або техногенного ризику [6]. Проблема ускладнюється тим, що наявна нормативно-правова база, як і державні програми розвитку промислового будівництва, здебільшого не враховують екосистемний підхід і рідко спирається на геоекологічні оцінки. Низька увага до відновлювальних робіт із рекультивації та природоохоронного супроводу будівництва призводить до незворотної деградації ландшафтів.

Таким чином, пропоноване дослідження спрямоване на виявлення, аналіз та оцінювання геохімічної деструкції ландшафту в умовах активної будівельної діяльності, з урахуванням впливу на компоненти ландшафту та просторову організацію природно-територіальних комплексів (ПТК). Розгляд зазначеної проблематики є необхідним для розроблення ефективних стратегій адаптивного управління трансформованими територіями та збереження екологічної рівноваги в умовах зростання тиску промислово-будівельних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання аналізу антропогенних ландшафтів та їх класифікації і групування за видами впливу діяльності людини висвітлені в колективній праці [5]. В умовах повномасштабного вторгнення в Україну, яке супроводжується зростанням техногенного навантаження, посилюється інтерес наукової спільноти до досліджень трансформацій природного середовища, спричинених екстремальними формами антропогенного впливу. Дослідження ландшафтно-геохімічних умов території та визначення динаміки накопичення нікелю (Ni), цинку (Zn), міді (Cu), свинцю (Pb) та інших важких металів у ґрунтовому покриві здійснено в роботі [7]. Сьогоднішні реалії змушують українських географів активно досліджувати феномен «белігеративних ландшафтів» – територій, де природна стабільність зазнала значних змін унаслідок активного техногенного чи військового втручання [8].

Вплив будівництва на компоненти ландшафту та порушення їх взаємодії наразі досліджується вузьким колом українських і європейських географів та ландшафтознавців [4]. До науковців, які вивчають вплив будівельної діяльності на ландшафтні компоненти, належать і ті, що спеціалізуються на дослідженні антропогенних та урбанізованих ландшафтів. Серед найбільш значущих праць у цій галузі варто відзначити науковий доробок відомого українського географа і ландшафтознавця Г. І. Денисика, присвячений прогнозуванню розвитку антропо-

генних ландшафтів в Україні, формуванню нових центрів їх трансформації, визначенню напрямів розвитку та ролі антропогенного ландшафтознавства в проєктуванні ландшафтів майбутнього [1]. У цьому контексті будівельна діяльність постає як один із ключових чинників трансформації ландшафтно-структури, особливо явно вираженої в змінах рельєфу, водного балансу та геохімічних процесів.

Цінну основу для практичного аналізу складників ландшафту закладено в методології [9], де відображено структурно-функціональну модель компонентів ландшафту. Базою для аналітичних порівнянь слугували праці [2; 4], в яких висвітлено низку досліджень, що детально ілюструють наслідки впливу будівництва на природні ландшафти Лісостепу України та зон мішаних і широколистяних лісів. Науковці довели, що будівельні роботи негативно впливають не тільки на ґрунт і рослинність, але й на всю систему взаємозв'язків між компонентами ПТК. Автори акцентують увагу не тільки на окремих природних компонентах, а й на тому, яких змін зазнає екосистема загалом, зокрема, як урбанізація впливає на взаємодію ґрунту, води, рослинності та мікроклімату.

У публікаціях [10; 11] підкреслено важливість упровадження інноваційних технологій, зокрема технології швидкокомтованих промислових будівель та 3D-будівництва, з метою зниження негативного впливу на природні комплекси. У цих дослідженнях зазначено, що відновлення екологічних зв'язків в екосистемі можливе лише за умови попереднього ретельного аналізу стану навколишнього середовища та вибору найбільш екологічно-безпечної моделі будівництва.

Методологічною основою дослідження є поєднання статистичного та порівняльно-географічного аналізу, синтезу результатів лабораторних досліджень та математичних розрахунків деструкційних змін, методів зіставлення та порівняння. Джерельну базу для дослідних розрахунків становили

звіти спеціалізованих лабораторій та служб, результати досліджень інженерно-геодезичних, інженерно-геологічних і гідрологічних умов будівельних майданчиків, а також лабораторні аналізи проб ґрунтів, відібраних до та після виконання будівельно-монтажних робіт [12].

Для коректного аналізу результатів цього дослідження необхідною є конкретизація визначення: ландшафтно-геохімічна деструкція – це процес порушення природної геохімічної рівноваги компонентів ландшафту, що проявляється в зміні хімічного складу ґрунтів, вод, біоти та атмосфери внаслідок природних або антропогенних впливів. Ці зміни можуть бути незворотними або тривалими за часом і супроводжуються деградацією екосистем, ерозійними процесами, втратою ґрунтової родючості, забрудненням водоносних горизонтів та зниженням екосистемних послуг ландшафту.

Теоретичною основою для дослідження слугували роботи, присвячені трансформації ландшафтів та визначенню рівня впливу антропогенної діяльності на порушення взаємозв'язків між інертними й живими компонентами [13–15].

Крім того, відповідно до основної мети статті, вагоме значення мають сучасні публікації зарубіжних авторів, присвячені дослідженням ландшафтно-геохімічних змін екосистем, зумовлених антропогенним впливом, та необхідності впровадження стратегічного планування для запобігання деструкції ландшафтів під впливом будівельної діяльності [16–21].

Таким чином, представлене дослідження ґрунтується на висновках попередніх робіт і власних еколого-геохімічних спостереженнях із застосуванням відкритих програм геоінформаційного аналізу [22], біоіндикації, оцінювання геохімічних показників ґрунтів і просторової візуалізації для відстеження порушень в антропогенно зміненому середовищі.

Мета дослідження. Метою роботи є виявлення характеру ландшафтно-геохімічних змін, спричинених будівельною діяльністю,

та аналіз їх впливу на взаємодію між інертними (грунт, рельєф, вода) та живими (рослинність, мікроорганізми) компонентами ландшафту.

Завдання дослідження полягають у виявленні типових техногенних змін у ґрунтах урбанізованих територій, оцінюванні впливу на рослинність і водні системи, а також у моделюванні деструкційних порушень взаємодії між інертними та живими компонентами ландшафту із застосуванням методів біоіндикації, хімічного аналізу ґрунту та геоінформаційних технологій.

Об'єктом дослідження виступають урбанізовані, антропогенно модифіковані та напівприродні ландшафти м. Києва з різними рівнями техногенного навантаження. Оцінювання трансформацій ландшафтних компонентів здійснювалося на основі комплексного методологічного підходу, що поєднував польовий відбір та лабораторний аналіз зразків ґрунту і рослинності, а також оброблення геопросторових даних, отриманих із супутникових знімків і відкритих геоінформаційних платформ, зокрема, було використано дані тематичного сервісу програми «Коперник» Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) [23] та сервіс інтерактивних карт GISFile [24].

Основний матеріал. Для проведення дослідження *геохімічних показників* було здійснено відбір зразків ґрунту в південно-західному секторі міста Києва на чотирьох локалізованих ділянках активного будівельного майданчика. Відбір зразків здійснювався на відстані 40–110 м від зони безпосереднього техногенного впливу, у буферній зоні (приблизно 180 м) та в умовно природній зоні (близько 300 м) від епіцентру будівельних робіт. Зразки ґрунту відбирали на глибинах 0–20 см (для оцінювання поверхневих змін, зумовлених прямим антропогенним впливом) та 20–40 см (для фіксації змін у нижчих горизонтах профілю). Польові дослідження проводилися у весняно-літній період 2024 року. У відібраних зразках визначали: показник кислотності (pH), концентрації мобільних форм важких металів

(свинцю – Pb, міді – Cu, цинку – Zn), електропровідність ґрунтового розчину, а також вміст органічної речовини. Під час відбору проб урахувували ступінь зволоження ґрунту, експозицію схилів і тип землекористування. Методика відбору зразків і подальших аналітичних процедур відповідала чинним нормативно-методичним документам і загальноприйнятим стандартам.

Рівень техногенного навантаження на досліджувану територію оцінювався із застосуванням індексу загального забруднення ґрунту (Z_c), розрахованого на основі методики інтегрального перевищення фонових концентрацій, відповідно до формули:

$$Z_c = \sum \left(\frac{C_{\text{факт}}}{C_{\text{ГДК}}} - 1 \right),$$

де:

$C_{\text{факт}}$ – фактична концентрація елементу, мг/кг;
 $C_{\text{ГДК}}$ – гранично допустима концентрація відповідного елементу.

У розрахунках використано такі нормативні значення ГДК: для свинцю (Pb) – 32 мг/кг, міді (Cu) – 23 мг/кг, цинку (Zn) – 85 мг/кг. Значення індексу Z_c були просторово інтерпольовано з використанням методу оцінювання значення в невідомій точці на основі зваженого середнього значень у сусідніх відомих точках Inverse Distance Weighting (IDW).

З метою оцінювання зміни структури рослинного покриву під впливом різних рівнів антропогенного тиску було застосовано синусоїдальний аналіз (аналіз сезонної динаміки). Оцінювання індикаторних характеристик рослинного покриву виконували на ділянках, де проводився відбір зразків ґрунту. Збір фітоматеріалу здійснювали протягом вегетаційного періоду в червні та липні 2024 року за сприятливих погодних умов. На кожній із чотирьох ділянок було закладено пробні площі розміром 1,5×1,5 м для визначення видового складу, життєвих форм та щільності рослинного покриву. Відбір матеріалу проводили окремо для двох ярусів – трав'яного покриву і підліску (за його наявності). Окрему увагу приділено

індикаторним видам, чутливим до забруднення важкими металами, зокрема *Trifolium repens* (конюшина повзуча), *Dactylis glomerata* (гусятниця збірна), також інвазивним і рудеральним видам, як-от *Ambrosia artemisiifolia* (амброзія полинолиста), *Setaria viridis* (мишій зелений), *Chenopodium album* (лобода біла).

Картографування досліджуваних територій здійснювали в середовищі відкритого геоінформаційного програмного забезпечення із використанням баз даних CORINE Land Cover, цифрової моделі рельєфу (Digital Elevation Model) та власних результатів польових досліджень.

Візуалізацію змін ландшафтної структури та ідентифікацію територій із найбільш вираженими трансформаціями виконано за допомогою побудови теплових карт і класифікації за ступенем порушення природних зв'язків. Просторові зміни взаємодії між ландшафтними елементами визначено на основі порівняльного аналізу профілів різних компонентів ландшафту.

Статистичне оброблення даних, що включало аналіз кореляційних зв'язків, побу-

дову регресійних моделей та перевірку статистично значущих відмінностей між контрольними та постраждалими ділянками, виконано з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel.

Для оцінення техногенного впливу на локальну екосистему були вибрані ділянки з різним будівельним навантаженням у південно-західній частині м. Києва. На рисунку 1 подано ситуаційний план досліджуваної території, на якому відображено розташування ділянки дослідження у структурі місцевого топографічного оточення. Ситуаційний план створено в масштабі 1:2000, з відображенням топографічних особливостей території та з виділенням досліджуваної частини. На плані накреслено форми рельєфу, шляхову систему, складники забудови. Межі досліджуваної ділянки позначено пунктирною лінією, вона знаходиться біля транспортної розв'язки та річкової долини, що вказує на можливий вплив інфраструктури та водного чинника на її екологічний стан.

Польовими спостереженнями було зафіксовано низку змін у складі ґрунту дослі-

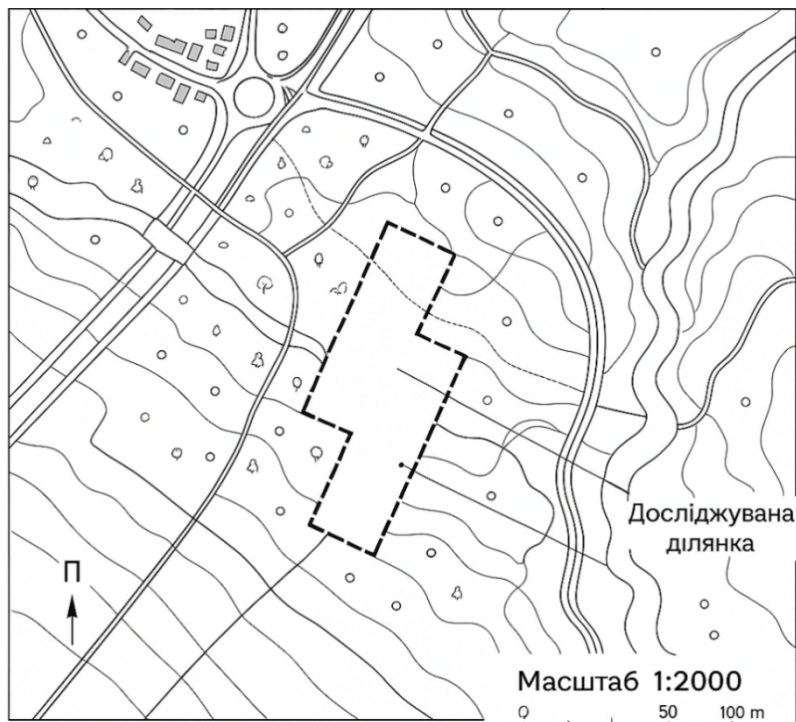


Рис. 1. Ситуаційний план місцевості з розташуванням досліджуваної ділянки в межах топографічного оточення (масштаб 1:2000)

джуваних ділянок, зокрема ущільнення верхнього шару, зниження водопроникності та локальні варіації кольору, що вказує на порушення окисно-відновного балансу. У зразках із зони будівельного майданчика та прилеглих територій було виявлено значні рівні вмісту важких металів, зокрема свинцю, міді та цинку (табл. 1). Це вказує на проникнення техногенних забруднювальних речовин із будівельних матеріалів та машин.

Найвищий рівень забруднення ґрунтів важкими металами було зафіксовано в межах ділянки активного бетонування та навколо майданчиків складування будівельних матеріалів. Діапазон індексу Z_c для таких зон становив 17,2–21,4, що відповідає категорії значного забруднення. За результатами регресійного аналізу встановлено статистично значущий зв'язок між відстанню до будівельного майданчика та ступенем забруднення ґрунту важкими металами ($r = -0,73$, $p < 0,01$). Для оцінювання цього зв'язку було розроблено лінійні, степеневі та логарифмічні регресійні моделі. Найбільш інформативною виявилася лінійна модель ($R^2 = 0,72$), що засвідчує поступове зменшення концентрацій свинцю (Pb), міді (Cu) та цинку (Zn) зі збільшенням відстані від будівельного майданчика. Степенева модель мала дещо нижче значення R^2 ($R^2 = 0,68$), проте точніше відображала зміну вмісту важких металів поблизу джерела забруднення (0–100 м), демонструючи різке зниження концентрацій. Логарифмічна модель ($R^2 = 0,55$) виявилася менш чутливою до змін у межах буферної зони (100–300 м), де вплив забруднювачів зменшується, але не зникає повністю.

Дослідження також показало, що за відсутності або порушення функціонування дренажної інфраструктури поширення забруднення є інтенсивнішим порівняно з ділянками, де функціонує керований дренаж. Це дозволяє зробити висновок про суттєву роль гідрологічних чинників як посередників у впливі антропогенних навантажень. У специфічних умовах забудови досліджуваної території м. Києва, що характеризується поєднанням урбанізованих секторів і зелених насаджень, ефективність дренажу визначає межі потенційної зони ризику. Згідно з результатами моделювання, така зона може простягатися на відстань до 300 м від ділянок активного будівництва.

На рисунку 2 представлено просторовий розподіл перевищення гранично допустимих концентрацій важких металів у ґрунтах досліджуваної території. Дані отримано на основі польового відбору проб і подальшого оброблення в середовищі програмного забезпечення GISFile.

Результати просторової візуалізації засвідчили, що максимальні концентрації забруднювальних речовин фіксуються в центральній частині забудови, де значення Z_c перевищують 20, що свідчить про значне техногенне навантаження.

Кольорове кодування відображає різний ступінь інтенсивності забруднення: від низького (жовтий, $Z_c < 10$) до екстремального (темно-червоний, $Z_c > 20$). Зони з підвищеними значеннями індексу забруднення ґрунту локалізуються в безпосередній близькості до будівельного майданчика, розташованого в центральній частині досліджуваної території, що свідчить про прямий вплив

Таблиця 1

Показники індексу забруднення ґрунтів (Z_c) на вибраних ділянках

№ ділянки	Тип ділянки	Відстань до центру забудови, м	Pb, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Індекс Z_c	Ступінь забруднення
1	Активний будівельний майданчик	10	98,2	52,4	172,7	21,4	Високий
2	Прилегла до майданчика зона	80	73,5	43,1	128,4	17,2	Високий
3	Зона середнього впливу	180	51,3	36,2	97	12,6	Помірний
4	Контрольна природна ділянка	300	24,6	18	54,9	6,1	Низький

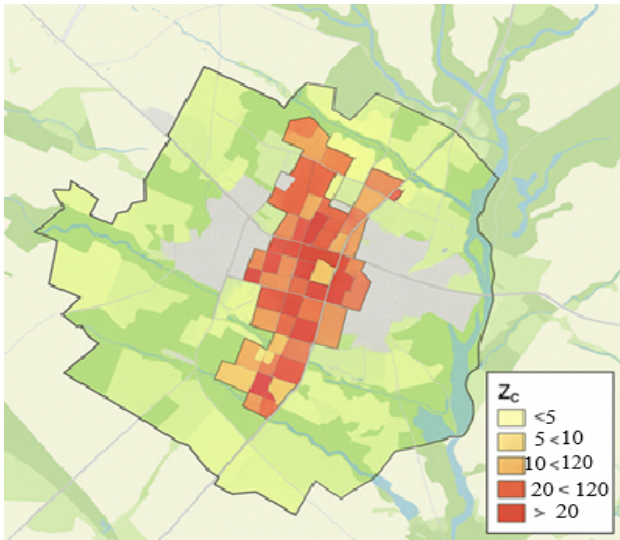


Рис. 2. Просторовий розподіл індексу забруднення ґрунтів важкими металами (Z_c) у південно-західній частині м. Києва. Масштаб – 1:50 000

будівельно-інженерних робіт на геохімічну трансформацію ґрунтового покриву. Ізолінії відображають зниження рівня забруднення зі збільшенням відстані від джерел будівельної діяльності. Загалом, антропогенний вплив концентрується в радіусі до 300 метрів.

Відомо, що в районах, які зазнали тривалого антропогенного тиску, спостерігається істотне скорочення рослинного покриву [4]. Це проявляється в зменшенні різноманіття видового складу та домінуванні кількох основних рослинних угруповань. У забудованих зонах щільність угруповань мезофільних і мезогідрофільних видів істотно знижується або спостерігається їх розпад [5–6; 15]. Антропогенний вплив призводить до витіснення характерних для центральних регіонів України видів рослинних угруповань, зокрема *Trifolium repens* (конюшина повзуча), *Dactylis glomerata* (гусятниця збірна), а також інвазивним і рудеральним видам, як-от *Ambrosia artemisiifolia* (амброзія полинолиста), *Setaria viridis* (мишій зелений), *Chenopodium album* (лобода біла), які добре пристосовані до урбанізованих ґрунтових умов і трансформованого мікроклімату. Це дозволяє їм швидко домінувати в екосистемі, витісняючи автохтонну флору. У результаті формується монокультурний

покрив або угруповання з обмеженим біорізноманіттям і зниженою екологічною стійкістю.

У межах досліджуваної території південно-західної частини м. Києва зафіксовано чітке зниження ярусності рослинного покриву, особливо на ділянках із підвищеним техногенним навантаженням поблизу зон будівництва. Раніше тут були характерні для лісопаркової зони три основні яруси рослинності – підлісок, трав'яний покрив і поодинокі елементи деревостану. Проте в безпосередній близькості до будівельних майданчиків (до 100 м) підлісок практично зникає. Це явище пов'язане зі зниженням вологості ґрунту, ущільненням верхніх горизонтів і механічним пошкодженням кореневої системи внаслідок впливу техніки та пересування персоналу. У результаті цих змін порушується вертикальна структура рослинного покриву – зникають тіньолюбні та мезофільні види, які раніше забезпечували підтримку екосистемної рівноваги. Їм на зміну приходять світлолюбні однорічні бур'яни, що формують спрощені за структурою та екологічно малоцінні фітоценози.

Виявлені негативні тенденції в результаті техногенного впливу створюють загрозу для функціонування екосистем, оскільки внаслідок таких змін вони втрачають здатність до саморегуляції та природного відновлення. На рисунку 3 подано структурно-функціональну модель взаємодії ключових компонентів ландшафту – ґрунтового покриву, біоти та гідрологічної мережі – за умов локального техногенного навантаження, зумовленого будівельною діяльністю.

Аналіз взаємозв'язку елементів ландшафтної системи на прикладі південно-західної частини міста Києва показав, що техногенні зміни, які починаються в ґрунтовому покриві (зокрема, ущільнення, накопичення важких металів та порушення інфільтрації), спричиняють каскадний негативний вплив на інші компоненти ландшафту.

Це проявляється у зниженні біорізноманіття, формуванні монотонних рослинних угруповань та дестабілізації екологічних

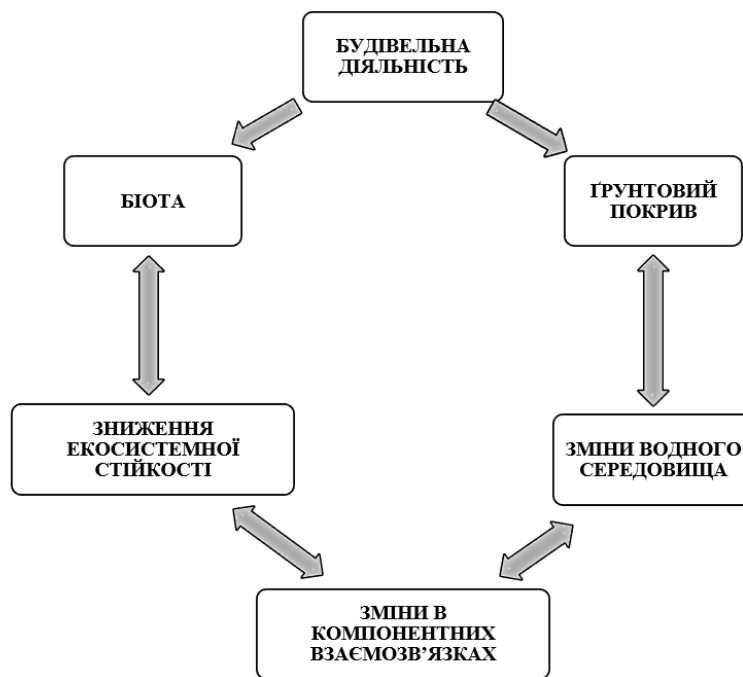


Рис. 3. Структурно-функціональна модель порушення взаємозв'язку інертних та живих компонентів ландшафту під впливом будівельного навантаження

взаємозв'язків, що знижує адаптивність екосистеми. Особливо вразливими є території з великими урочищами, де зміни в одному елементі (наприклад, у ґрунті чи водоймі) призводять до реакцій у всій екосистемі. Отримані результати збігаються з висновками попередніх досліджень, які фіксують деградацію екосистем під впливом інтенсивної урбанізації, що проявляється у зникненні нижніх ярусів рослинності, спрощенні структури покриву та порушенні гідрологічного режиму.

Будівельна діяльність запускає ланцюгові руйнівні процеси, починаючи з деградації абіотичного середовища, що впливає на стан водних екосистем. Просторовий аналіз за допомогою ГІС-технологій із накладанням шарів будівельних об'єктів, дренажної мережі та ґрунтового покриву дозволив виявити зони інтенсивного антропогенного впливу (рис. 4). Карти нормалізованого вегетаційного індексу (NDVI), наведені на рисунку 4, сформовано в результаті зіставлення значень NDVI з фактичним станом рослинної біомаси. Оброблення даних здійснено на відкритій вебплатформі OneSoil із використанням супутникових знімків за 2022–2024 рр. Аналіз карт

засвідчив зменшення значень NDVI на 0,13–0,19 у центральній частині території, задіяної в будівництві, що свідчить про скорочення рослинної біомаси. У процесі дослідження встановлено, що заміщення природної рослинності штучними покриттями (асфальтовими, бетонними, гравійними) зумовило зменшення площі зелених насаджень на 25–30%, що негативно впливає на рекреаційну функцію урбанізованих територій м. Києва.

Отже, дослідження підтверджують, що будівельна діяльність спричиняє комплексний вплив на ландшафти міста Києва. Техногенні навантаження призводять до погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунту, зокрема ущільнення верхніх шарів, порушення водно-повітряного балансу та зниження буферної місткості. Лабораторні аналізи ґрунтів засвідчили вміст важких металів, зокрема свинцю (Pb), міді (Cu) та цинку (Zn) на будівельних майданчиках та прилеглих територіях. Крім того, зафіксовано зниження фіторізноманіття, переважання бур'янистих видів та спрощення структури рослинного покриву. Картографічні дані, зазначені на рисунку 4, підтверджують зниження значень NDVI поблизу

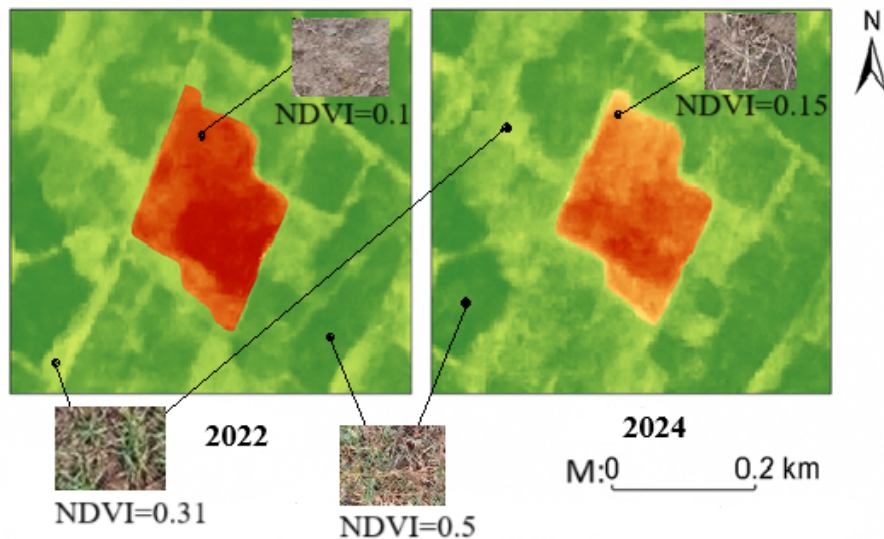


Рис. 4. Розподіл індексу NDVI в досліджуваному районі забудови в південно-західній частині м. Києва у 2022 та 2024 роках

будівельних майданичків, що свідчить про деградацію фітопокриву та втрату рослинної маси.

Опрацювання даних у середовищі геоінформаційного аналізу в GISFile дозволило встановити чіткий зв'язок між відстанню від будівельного майданчика та рівнем техногенного впливу на навколишнє середовище. Зокрема, показники Zc дають змогу ідентифікувати ділянки інтенсивного антропогенного тиску в радіусі 300 метрів з ознаками деградації. На цих територіях фіксується не лише значний рівень забруднення ґрунту згідно з результатами геохімічних досліджень, наведених у таблиці 1, але й зниження здатності екосистеми до саморегуляції, про що свідчать показники нормалізованого вегетаційного індексу, наведені на рисунку 4. Екологічні системи, перебуваючи під антропогенним тиском, зазвичай спрощуються за структурою, що підвищує їх вразливість до нових стресових чинників.

Отримані результати засвідчують важливість урахування даних екологічного моніторингу, зокрема рівня забруднення ґрунтів, атмосферного повітря та ґрунтових вод, у процесі міського та регіонального планування. Це забезпечує наукове обґрунтування природоохоронних, рекультиваційних і ренатуралізаційних заходів. Результати дослідження також підкреслюють необхід-

ність розроблення адаптивних заходів щодо захисту навколишнього середовища з урахуванням геохімічних наслідків урбанізації, зокрема шляхом упровадження просторового зонування, рекультивації територій та створення буферних смуг для біологічної фільтрації.

Висновки. Результати дослідження засвідчили, що будівельна діяльність у межах урбанізованих територій України супроводжується істотними трансформаціями інертних та живих компонентів ландшафту, зокрема абіотичних елементів – ґрунтового покриву, гідрологічного режиму та геохімічного стану середовища. Техногенне навантаження, пов'язане з будівельною діяльністю, спричиняє деградаційні зрушення, що набувають системного характеру та впливають на стійкість функціонування екосистем.

У процесі дослідження встановлено наявність зон інтенсивного техногенного впливу в радіусі до 300 метрів від будівельних майданчиків, для яких характерне підвищення концентрацій важких металів (Pb, Cu, Zn), що фіксується за індексом забруднення ґрунтів $Zc > 20$. Просторовий аналіз із використанням супутникових знімків Sentinel-2 (2022–2024 рр.) та розрахунок індексу NDVI підтвердили зменшення біопродуктивності фітоценозів, що проявля-

ється в скороченні площі зелених насаджень та спрощенні структури рослинного покриву. Такі зміни відображають загальну тенденцію техногенно зумовленої трансформації ландшафтів до стану екологічної нестабільності.

Застосована методика поєднання геоінформаційного моделювання, супутникового моніторингу та геохімічного аналізу довела свою ефективність для ідентифікації просторово-локалізованих загроз, спричинених урбанізаційними процесами. Отримані дані мають високу прикладну цінність для системи територіального планування, оскільки забезпечують можливість обґрунтованого

зонування, ранньої діагностики екологічних ризиків та формування адаптивних заходів щодо зниження деструктивного навантаження на інертні компоненти ландшафту.

Таким чином, результати дослідження підтверджують необхідність урахування еколого-геоморфологічних характеристик територій під час проєктування будівельних об'єктів. Забезпечення збалансованої взаємодії між техногенними структурами та природними компонентами ландшафту є визначальним чинником підтримання екологічної стійкості урбанізованих систем і запобігання незворотним деградаційним процесам.

Література

1. Денисик Г.І. Антропогенне ландшафтознавство – основа майбутнього ландшафтознавства України. *Розвиток антропогенного ландшафтознавства у XXI сторіччі* : матеріали всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. Вінниця, 2021. № 35. С. 3–7.
2. Сонько С.П., Зеленчук І.Д., Новікова Т.П. Промислове будівництво, як чинник деструкції природних ландшафтів і втрати потенціалу екосистемних послуг. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Вип. 43. С. 63–77. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-05>.
3. Splodytel A. Patterns of spreading of heavy metals in soils of urbanized landscapes (on the example of Brovary city). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(3), 2020. 580–590. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112053>.
4. Сонько С.П., Зеленчук І.Д. Вплив будівництва на ландшафти лісостепової зони України. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 24–34. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-02>.
5. Denysyk H., Kanskyi V., Kanska V., Denysyk B. (2022). Anthropogenic landscapes of Ukraine and their reconstruction. *Czasopismo Geograficzne*, 93(3): 417–433. DOI: <https://doi.org/10.12657/czageo-93-16>.
6. Малишева Л.Л. Геохімія ландшафтів : навч. посіб. для студ. геогр. спец, вищих закл. Освіти. Київ : Либідь, 2000. 472 с.
7. Splodytel A.O. Landscape and geochemical assessment of ecological condition of environmental protection territories. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, (51), 2020. 234–242. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-17>.
8. Денисик Г.І., Кізюн А.Г., Канський В.С. Белігеративні ландшафти України. *Український географічний журнал*. 2023. № 3. С. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2023.03.023>.
9. П'яткова А.В. Ландшафтознавство: прикладні аспекти : навч.-метод. посіб. Одеса : ОНУ імені І.І. Мечникова, 2020. 122 с.
10. Сонько С.П., Зеленчук І.Д. Використання новітніх технологій у будівництві для зменшення шкідливого впливу на інертні компоненти ландшафту. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2022. № 35. С. 32–38. DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-04>.
11. Зеленчук І.Д. Потенціал 3D-друкованого будівництва у післявоєнній відбудові України: оцінка впливу на ландшафтні компоненти. *SWorldJournal*. 2024. № 27(2). Р. 50–61. DOI: <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-27-00-014>.
12. Генеральний план міста Києва – КО «Інститут Генерального плану міста Києва». Проект. Київ, 2011. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/NT0205> (дата звернення: 14.07.2025).
13. Іванов Є.А., Ковальчук І.П. Деструкція гірничопромислових ландшафтів. *Journal of Education, Health and Sport*. 2016. Vol. 6. № 5. Р. 369–392. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.53161>.
14. Сонько С., Зеленчук І. Відновлення природних ландшафтів з подальшим формуванням екосистем на прикладі будівництва рекреаційних зон у Києві: ландшафтний аналіз. *SWorld-Us Conference* : proc. conf. Sweden : SSPG Publish, 2024. Р. 59–65. DOI: <https://doi.org/10.30888/2709-2267.2024-27-00-003>.
15. Корнієнко О.М. Деструкція. *Енциклопедія Сучасної України* / Редкол. : І.М. Дзюба, А.І. Жуковський, М.Г. Железняк та ін. ; НАН України, НТШ. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2007. URL: <https://esu.com.ua/article-2632>

16. Seperteladze Z., Davitaia E., Aleksidze T., Rukhadze N. Anthropogenic transformation of landscapes and ecological risk factor assessment. *Georgian Geographical Journal*. 2024. Vol. 4, № 2. P. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.52340/ggj.2024.04.02.06>.
17. Jaafar W., Xu J., Farrar E. et al. Challenges and opportunities of low-cost sensors in capturing the impacts of construction activities on neighborhood air quality. *Building and Environment*. 2024. Vol. 254. Article 111363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111363>.
18. Chen L., Zhang H., Xie Z. et al. The temporal response of dissolved heavy metals to landscape indices in the Le'an river, China. *Environmental Research*. 2022. Vol. 210. Article 112941. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112941>.
19. Kaja N., Goyal S. Impact of construction activities on environment. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*. 2023. Vol. 10. № 1. P. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.29121/ijetmr.v10.i1.2023.1277>.
20. Li C., Zhang J., Philbin S. P. et al. Evaluating the impact of highway construction projects on landscape ecological risks in high altitude plateaus. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. Article 5170. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08788-8>.
21. Yu H., Kong B., He Z. W. et al. The potential of integrating landscape, geochemical and economical indices to analyze watershed ecological environment. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 583. Article 124298. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124298>.
22. Сержантова Ю.Ю., Марченко О.І., Зеленчук І.Д. Використання новітніх технологій для моніторингу та збереження довкілля: роль дронів, супутників та штучного інтелекту. *Екологічні науки*. 2024. № 5(56). С. 182–188. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.27>.
23. Copernicus Land Monitoring Service. URL: <https://land.copernicus.eu/en>
24. GISFile. Публічна карта. URL: <https://gisfile.com/map>

References

1. Denysyk, H. I. (2021). Antropohenne landshaftoznavstvo – osnova maibutnoho landshaftoznavstva Ukrainy [Anthropogenic landscape science is the basis of the future landscape science of Ukraine]. *The development of anthropogenic landscape science in the 21st century – Rozvytok antropohennoho landshaftoznavstva u XXI storichchi* : materialy vseukr. nauk.-prakt. internet-konf. Vinnytsia, 35, 3–7 [in Ukrainian].
2. Sonko, S. P., Zelenchuk, I. D., Novikova, T. P. (2025) Promyslove budivnytstvo, yak chynnyk destruktsii pryrodnykh landshaftiv i vtraty potentsialu ekosystemnykh posluh [Industrial construction as a factor in the destruction of natural landscapes and the loss of ecosystem service potential]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekolohii*, 43. 63–77. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-05> [in Ukrainian].
3. Splodytel, A. (2020). Patterns of spreading of heavy metals in soils of urbanized landscapes (on the example of Brovary city). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(3), 580–590. DOI: <https://doi.org/10.15421/112053>.
4. Sonko, S. P., Zelenchuk, I. D. (2020). Vplyv budivnytstva na landshafty lisostepovoi zony Ukrainy [Impact of construction on the landscapes of the forest-steppe zone of Ukraine]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekolohii*, 42. 24–34. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-02> [in Ukrainian].
5. Denysyk, H., Kanskyi, V., Kanska, V., Denysyk, B. (2022). Anthropogenic landscapes of Ukraine and their reconstruction. *Czasopismo Geograficzne*, 93 (3): 417–433. DOI: <https://doi.org/10.12657/czageo-93-16>.
6. Malysheva, L. L. (2022). Heokhimiia landshaftiv [Geochemistry of Landscapes] : navch. posib. dlia stud. heohr. spets. vyshchykh zakl. osvity / L. L. Malysheva. K. : Lybid, 2000. 472 p. [in Ukrainian].
7. Splodytel, A. O. (2020). Landscape and geochemical assessment of ecological condition of environmental protection territories. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, (51), 234–242. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-17>.
8. Denysyk, H. I., Kizun, A. G., and Kansky, V. S. (2023). Belihertyvni landshafty Ukrainy [Beligerative Landscapes of Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 3. 23–34 p. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2023.03.023> [in Ukrainian].
9. Pyatkova, A. V. (2020). Landshaftoznavstvo: prykladni aspekty [Landscape Studies: Applied Aspects]: navch.-metod. posib. Odesa : ONU imeni I. I. Mechnykova, 122 p. [in Ukrainian].
10. Sonko, S. P., Zelenchuk, I. D. (2022). Vykorystannia novitnikh tekhnolohii u budivnytstvi dlia zmenshennia shkidlyvoho vplyvu na inertni komponenty landshaftu [Use of the latest technologies in construction to reduce the harmful impact on inert landscape components]. *Problemy bezpererвної heohrafichnoi osvity i kartohrafii*. 35. 32–38. DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-04> [in Ukrainian].

11. Zelenchuk, I. D. (2024). Potentsial 3D-drukovanoho budivnytstva u pisliavoiennii vidbudovi Ukrainy: otsinka vplyvu na landshaftni komponenty [The potential of 3D-printed construction in the post-war reconstruction of Ukraine: assessment of the impact on landscape components]. *SWorldJournal*. 27 (2). 50–61. DOI: <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-27-00-014> [in Ukrainian].
12. Heneralnyi plan mista Kyieva. [General Plan of the City of Kyiv]. *Kyiv City Institute of the General Plan*. Project. 2011. [in Ukrainian].
13. Ivanov, E. A., Kovalchuk, I. P. (2016). Destruktsiia hirnopromyslovykh landshaftiv [Destruction of mining landscapes]. *Journal of Education, Health and Sport*. 6. (5). 369-392. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.53161> [in Ukrainian].
14. Sonko, S., Zelenchuk, I. (2024). Vidnovlennia pryrodnykh landshaftiv z podalshym formuvanniam ekosystem na prykladi budivnytstva rekreatsiinykh zon u Kyievi: landshaftnyi analiz [Restoration of natural landscapes with subsequent formation of ecosystems on the example of construction of recreational areas in Kyiv: landscape analysis]. *SWorld-Us Conference : proc. conf. Sweden: SSPG Publish*, 59–65. DOI: <https://doi.org/10.30888/2709-2267.2024-27-00-003> [in Ukrainian].
15. Destruktsiia [Destruction] / Kornienko O. M. Editorial board: Dziuba I. M. & Zhukovsky A. I. & Zheleznyak M. G. [et al.]. (2007). Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy [Encyclopedia of Modern Ukraine]. National Academy of Sciences of Ukraine, NTSh. Kyiv: Institute of Encyclopedic Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. Retrieved from: <https://esu.com.ua/article-2632> [in Ukrainian].
16. Seperteladze, Z., Davitaia, E., Aleksidze, T., Rukhadze, N. (2024). Anthropogenic transformation of landscapes and ecological risk factor assessment. *Georgian Geographical Journal*. Vol. 4, № 2. P. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.52340/ggj.2024.04.02.06>.
17. Jaafar, W., Xu, J., Farrar, E. et al. (2024). Challenges and opportunities of low-cost sensors in capturing the impacts of construction activities on neighborhood air quality. *Building and Environment*. Vol. 254. Article 111363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111363>.
18. Chen, L., Zhang, H., Xie, Z. et al. (2022) The temporal response of dissolved heavy metals to landscape indices in the Le'an river, China. *Environmental Research*. Vol. 210. Article 112941. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112941>.
19. Kaja, N., Goyal, S. (2023). Impact of construction activities on environment. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*. Vol. 10, № 1. P. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.29121/ijetmr.v10.i1.2023.1277>.
20. Li, C., Zhang, J., Philbin, S. P. et al. (2022). Evaluating the impact of highway construction projects on landscape ecological risks in high altitude plateaus. *Scientific Reports*. Vol. 12. Article 5170. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08788-8>.
21. Yu, H., Kong, B., He, Z. W. et al. (2020). The potential of integrating landscape, geochemical and economical indices to analyze watershed ecological environment. *Journal of Hydrology*. Vol. 583. Article 124298. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124298>.
22. Serzhanova, Yu. Yu., Marchenko, O. I., Zelenchuk, I. D. (2024). Vykorystannia novitnikh tekhnolohii dlia monitorynhu ta zberezhenia dovkillia: rol droniv, suputnykiv ta shtuchnoho intelektu. [Using the latest tech to monitor and protect the environment: the role of drones, satellites, and artificial intelligence]. *Ekolohichni nauky*. 5 (56), 182–188. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.27> [in Ukrainian].
23. Copernicus Land Monitoring Service Retrieved from: <https://land.copernicus.eu/en>.
24. GISFile. Publichna karta [Public map]. Retrieved from: <https://gisfile.com/map/> [in Ukrainian].

Дата надходження статті: 11.07.2025

Дата прийняття статті: 02.08.2025

Опубліковано: 07.10.2025