

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-10>

УДК (UDC): 911.5+504

І. Д. ЗЕЛЕНЧУК^{1,2},

¹заступник директора, ²аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності
e-mail: zelenchuk.id@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8517-6617>

¹ТОВ "ПЛЕНТАБ УКРАЇНА"

вул. Соборна, 114, с. Софіївська Борщагівка, Києво-Святошинський р-н,
Київська обл., 08131, Україна

²Уманський національний університет,

вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська область, 20305, Україна

ЕКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГІЧНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ІНЕРТНИХ КОМПОНЕНТІВ ЛАНДШАФТУ ІНДУСТРІАЛЬНИХ ЗОН

Мета. Комплексна оцінка екогеоморфологічних змін інертних компонентів ландшафту, зумовлених інтенсивною будівельною діяльністю у нових індустриальних зонах України, створених з використанням сучасної технології будівництва швидкокомтованих будівель (ШМБ).

Методи. Польові дослідження, системний аналіз, порівняльно-географічний аналіз, статистичний, морфометричний, метод співставлення.

Результати. Результати польових та аналітичних досліджень засвідчили, що будівельна діяльність є визначальним фактором формування зон інтенсивного техногенного навантаження на ґрунтовий покрив. Максимальні рівні забруднення важкими металами зафіксовано в межах активних будівельних майданчиків та прилеглих до них зон складування будівельних матеріалів. Зокрема, вміст цинку у цих локаціях відповідає категорії надвисокого забруднення згідно з класифікаційними критеріями екологічної оцінки стану ґрунтів. Регресійний аналіз виявив статистично значущий зворотний зв'язок між відстанню до осередку будівельної активності та рівнем накопичення важких металів у ґрунтовому профілі. В межах фацій, які піддавалися тривалому інженерному втручання, зафіксовано істотну трансформацію структури рослинного покриву. Ділянки, що зазнали механічної трансформації ґрунту, характеризуються зменшенням площі природного рослинного покриву, редукцією видового різноманіття та домінуванням адаптивних, переважно інвазивних, видів. Зміщення біоценотичної рівноваги сприяє витісненню автохтонних представників флори, характерних для (природних) урочищ, охоплених дослідженням, що призводить до формування монодомінантних угруповань із низькою екологічною резистентністю та порушеною здатністю до природного відновлення.

Висновки. Розбудова індустриальних зон на територіях з переважно сільськогосподарським і лісогосподарським використанням спричиняє істотні екологічно-геоморфологічні трансформації інертних компонентів ландшафту. Застосування інтегрованого методологічного підходу дозволило кількісно оцінити зміни морфоструктури, ґрунтового покриву та гідрологічного режиму, а також зафіксувати підвищення рівня забруднення ґрунтів важкими металами на ділянках будівництва. Встановлено порушення взаємодії між інертними та біотичними компонентами геосистем, що знижує їх екологічну стійкість. Отримані результати можуть бути використані як наукове підґрунтя для оптимізації просторового планування, впровадження заходів моніторингу та екологічного управління розвитком промислової інфраструктури в агроландшафтах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: природний територіальний комплекс, ПТК, геосистема, антропогенний вплив, ґрунт

Як цитувати: Зеленчук І. Д. Еколого-геоморфологічні трансформації інертних компонентів ландшафту індустриальних зон. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Вип. 44. С.132-146. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-10>

In cites: Zelenchuk, I. D. (2025). Ecological-geomorphological transformations of inert landscape components in industrial zones. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (44), 132-146. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-10> (in Ukrainian)

Вступ

Сьогоднішнє вимушене переміщення промисловості в більш безпечні регіони України супроводжується активною розбу-

довою нових індустриальних зон і промислових кластерів, що має суттєвий вплив на природні ландшафти. Реалізація програм

© Зеленчук І. Д., 2025



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

релокування підприємств та формування індустріальних парків, що підтримуються державними стимулами та грантовими ініціативами, спричиняє трансформації ландшафтів, зокрема в агропромислових регіонах західних областей України. Масштабне освоєння земель сільськогосподарського та лісгосподарського призначення супроводжується поступовою урбанізацією територій, порушенням природних структур ландшафтів, дисбалансом геокомпонентів і розвитком екогеоморфологічних змін [1]. Враховуючи кількість індустріальних та промислових територій, опублікованих у Державному земельному кадастрі, виникає гостра необхідність комплексної оцінки впливу будівельної діяльності на природно-територіальні комплекси (ПТК). Особливу увагу слід приділяти дослідженню порушень взаємодії між інертними (рельєф, ґрунти) та живими (рослинність, ґрунтова біота) компонентами ландшафту, що визначають структурно-функціональну цілісність та екологічну стабільність геосистем.

У контексті сучасних викликів, спричинених військовим конфліктом та пов'язаною з ним активізацією розосередженої індустріальної урбанізації, посилюється трансформація ландшафтів, що супроводжується формуванням природно-техногенних ландшафтів із зниженою екологічною стійкістю. Незважаючи на поширеність індустріалізації та урбанізації, питання екологічних наслідків для природних ландшафтів залишається актуальним і недостатньо дослідженим у сучасній українській науковій літературі. Відомо, що інтенсивне будівництво та експлуатація індустріальних зон викликають порушення балансу між інертними та живими компонентами ландшафтів, що призводить до деградації екосистемних функцій, зниження екологічної стійкості та погіршення якості навколишнього середовища.

Особливої уваги заслуговують геоморфологічні аспекти цих змін, оскільки рельєф і ґрунти є фундаментальними інертними компонентами природних систем, які визначають гідрологічні, біогеохімічні та інші функціональні процеси. Будівельна діяльність, включно з земляними роботами,

зміною гідрологічного режиму та локальним забрудненням, призводить до змін морфоструктури рельєфу, активізації ерозійних процесів, ущільнення ґрунтів і порушення їх природних властивостей. Це зумовлює як локальні, так і каскадні екогеоморфологічні трансформації, що порушують цілісність природно-територіальних комплексів і погіршують їхню здатність до саморегуляції.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розробки науково обґрунтованих методик оцінки і прогнозування екогеоморфологічних змін у контексті будівельної діяльності в індустріальних зонах. Такий підхід є важливим для забезпечення сталого просторового розвитку, збереження ландшафтної структури та оптимізації природокористування. Особливо це стосується територій із високим потенціалом аграрного використання та зразків природної екосистемної різноманітності, які зазнають антропогенного тиску.

Враховуючи це, метою дослідження є комплексна оцінка екогеоморфологічних змін інертних компонентів ландшафту, зумовлених індустріальною забудовою, а також виявлення особливостей трансформації рельєфу і ґрунтового покриву на різних ґрунтово-геоморфологічних основах.

Науковий аналіз базується на результатах польових, лабораторних та камеральних досліджень у вибраних індустріальних зонах, що дозволяє отримати інтегровану картину антропогенних впливів і їх наслідків.

Таким чином, результати роботи сприятимуть поглибленню розуміння механізмів екогеоморфологічних трансформацій у контексті індустріалізації, а також стануть теоретичною і практичною базою для розробки заходів із пом'якшення негативного впливу будівельної діяльності на природні ландшафти України.

Об'єкти дослідження – інертні компоненти ландшафту на територіях новостворених індустріальних зон та їх трансформації в результаті будівельної діяльності.

Предмет дослідження – екогеоморфологічні трансформації рельєфу та ґрунтового покриву, викликані антропогенним впливом будівельної діяльності.

Методологія та методи дослідження

Інтенсивне розширення індустріальних зон у поєднанні з розвитком відповідної інфраструктури, що зумовлене вимушеним переміщенням промислових потужностей із зон бойових дій, призводить до суттєвого

посилення антропогенного навантаження на структури геосистем.

Активний розвиток індустріальних парків, що реалізується за підтримки державних стимулів та грантових програм, сприяє

переміщенню виробничих потужностей у безпечніші регіони й супроводжується трансформацією ландшафтних компонентів, зокрема в агропромислових регіонах західної та центральної частини України [1].

Програми з релокування підприємств і створення індустріальних парків у таких регіонах, як Львівська, Тернопільська, Закарпатська, Рівненська, Черкаська та Київська області, призводять до інтенсивного освоєння нових територій, переважно сільськогосподарського та лісгосподарського призначення. Це спричиняє їхню поступову індустріалізацію та незворотні антропогенні зміни, які порушують структурно-функціональні зв'язки між компонентами ландшафту, а це, своєю чергою, зумовлює екогеоморфологічні зміни [2].

Геоморфологічні трансформації в межах фації на якій розміщений сучасний будівельний майданчик проявляються через екзогенні процеси, які зазвичай проходять три послідовні фази: руйнування мінеральних мас, їхнє переміщення та подальше нагромадження. Ці процеси формують характерні мікроформи рельєфу, типові для відповідного типу антропогенного генезису. Таким чином, відбувається істотний вплив на інертні компоненти ландшафту, що призводить до зміни їхньої просторової структури та порушення внутрішніх взаємозв'язків. Саме тому оцінка трансформацій геоморфологічної структури ландшафту протягом усього будівельного циклу є необхідним інструментом для виявлення потенційних загроз, визначення кількісних характеристик рівня та наслідків впливу шкідливих чинників на компоненти ландшафту.

Аналіз повного циклу розбудови промислових територій засвідчує, що екогеоморфологічні зміни, спричинені будівельною діяльністю, мають високий ризик негативного впливу, що потребує комплексного підходу до врахування просторових, природних та техногенних чинників. Зокрема, важливо ідентифікувати потенційні загрози на кожному етапі будівельної діяльності, оцінити рівень впливу на різні компоненти природно-територіальних комплексів (ПТК) та здійснювати попереднє прогнозування ймовірності виникнення деструктивних процесів у взаємозв'язках між інертними та живими компонентами.

Станом на сьогодні в Україні зареєстровано понад 120 новостворених індустріальних та промислових територій з різним господарсько-правовим статусом [3], до складу яких входять промислові майданчики, індустріальні парки, виробничо-

наукові кластери, логістичні хаби тощо. Ландшафти та їх компоненти, включно з рельєфом зазнають значних трансформацій, навіть на обмежених за площею ділянках земної поверхні. З позицій ландшафтознавців та географів промислова територія – це, насамперед, частина земної поверхні, яка функціонує як урочище з відповідними фізико-географічними характеристиками, кліматичними умовами, геологічною будовою та морфогенезом. Промислові зони відзначаються високим ступенем господарського освоєння, тому у їхній структурі на різних етапах формувалися як природні, так і антропогенні складові.

Останніми десятиліттями в країнах Центральної Європи, включно з Україною, зокрема її західними регіонами, інтенсивно розвиваються новітні прикладні напрями географічної науки. Спостерігається певне зміщення акцентів у ландшафтознавстві: географи та ландшафтознавці ввели в науковий дискус новий об'єкт дослідження, а саме впливу індустріалізації на інертні компоненти ландшафту.

Останніми роками активно досліджується стійкість компонентів ландшафту до наслідків будівельної діяльності. Упродовж декількох минулих років було вдосконалено класифікацію компонентів ландшафту з урахування впливу будівельної галузі, і сьогодні ландшафт розглядається як системне утворення, що складається з взаємопов'язаних компонентів. Ці компоненти класифікуються за функціональними ознаками та поділяються на інертні, мобільні й активні. До інертних компонентів належать ґрунти та рельєф, які формують стійку геоморфологічну структуру. З огляду на зазначене – дослідження екогеоморфологічних змін є важливим аспектом у вивченні порушених взаємозв'язків між інертними та живими компонентами ландшафту.

Активізація процесів індустріальної урбанізації та техногенного освоєння природних ландшафтів України зумовлює необхідність комплексного аналізу змін компонентів природного середовища, зокрема – дослідження порушень взаємодії між інертними та живими компонентами ландшафту. У межах цього наукового напрямку особливої уваги потребує вивчення екогеоморфологічних трансформацій, які охоплюють зміни морфологічної структури ландшафтів у поєднанні з оцінкою їх екологічного стану. Наукове осмислення цих змін здійснюється в межах екологічної геоморфології (екогеоморфології) – міждисциплінарної

галузі, що сформувалася на стику прикладних дисциплін геоморфології та екологічного ландшафтознавства [2]. Поняття «екологічна геоморфологія» було введено у наукову термінологію на початку 1980-х років минулого століття [5]. Екологічна геоморфологія – напрям геоморфології, що вивчає рельєф земної поверхні як складову екосистем різних рівнів, що виконує функцію регулятора взаємозв'язків речовини й енергії, функціонування природно-господарських систем, а також екологічні наслідки порушення взаємодії геоморфосфери з біотою та людиною [6].

Сучасна геоморфологія трактується як комплексна наука, що вивчає не лише морфологічні особливості рельєфу та його генезис, а й літогенну основу — її будову, вік, та динаміку рельєфу. Особливу увагу приділяють процесам рельєфоутворення, чинникам і умовам їхнього розвитку, а також взаємозв'язкам рельєфу з компонентами ландшафту, техногенними об'єктами та господарською діяльністю людини [7]. Наукова парадигма сучасної геоморфології охоплює розроблення геоінформаційних, прогностичних і моніторингових моделей рельєфу та геоморфологічних процесів, а також методологічні, прикладні та інтерпретаційні підходи до їхнього аналізу. Рельєф розглядається як система різнорангових тривимірних форм земної поверхні, що функціонує як просторове поле висот і виступає базовим об'єктом геоморфологічного дослідження [7]. Він визначає просторову організацію ґрунтів як частини земельних ресурсів, що мають різні генетичні типи, що впливають на їхню господарську придатність. У класифікації ґрунтів України виокремлюють ґрунти, сформовані не лише на відкладах, що супроводжують формування різногенетичних форм рельєфу, але й такі, що адаптовані до певних морфологічних структур рельєфу та приурочені до відповідних топографічних елементів. Рельєф відіграє ключову роль у формуванні умов життєзабезпечення, впливаючи на стан і динаміку ґрунтового покриву, зокрема на процеси ґрунтоутворення та деградації, рівень родючості й вологонакопичення, що відображає стан взаємозв'язків між компонентами ландшафту. Він визначає розподіл поверхневих вод, формує гідрогеологічні умови, а також обумовлює структуру й поширення рослинного покриву. Сукупна дія ендегенного, екзогенного та антропогенного морфогенезу розглядається як чинник сучасного рельєфоутворення та трансформації екосистем.

За роки повномасштабного вторгнення темпи індустріальної урбанізації, зокрема активного відновлення індустріальних об'єктів та комплексів, в окремих регіонах України істотно зросли, що призвело до формування природно-індустріальних, індустріально-природних та техногенних ландшафтів. Рельєф, як один із ключових інертних компонентів ландшафтів, що визначає їх екологічний стан, функціонування та динаміку, зазнав суттєвих трансформацій.

У межах екогеоморфології рельєф розглядається як геоморфосистема, що має складну морфологічну структуру, динамічні властивості та перебуває у взаємозв'язку з іншими компонентами ландшафту. Такий підхід дозволяє трактувати рельєф як інтегральний елемент екосистем, що впливає на екологічну стійкість та функціонування ПТК [5].

Екоморфологічні властивості рельєфу формуються під впливом рельєфоутворювальних процесів, які взаємодіють у часі й просторі та визначають ступінь стійкості як природних, так і антропогенно змінених геоморфосистем. Діагностичні критерії оцінки еколого-геоморфологічної, рельєфно-ресурсної стійкості ландшафтів, надано в табл. 1 [4].

Комплексне застосування вищенаведених критеріїв забезпечує ґрунтовну оцінку еколого-геоморфологічного статусу території та дозволяє виявити потенційні загрози функціонуванню взаємозв'язків між компонентами ландшафту.

У національних та зарубіжних дослідженнях наголошується на зростанні масштабів деструкції морфоструктур під впливом промислового будівництва, що супроводжується локальним переформатуванням рельєфу, активізацією геодинамічних процесів і зниженням стійкості ландшафтів [8]. Відповідно, теоретичне обґрунтування методів оцінки екогеоморфологічних змін є актуальним завданням для забезпечення науково-обґрунтованого управління просторовим розвитком та збереження екосистемних послуг. Саме тому межах дослідження запропоновано ландшафтознавче визначення поняття *«Екогеоморфологічні зміни компонентів ландшафту»* – це просторово-часові трансформації рельєфу та пов'язані з ними порушення взаємодії між інертними і живими компонентами, зумовлені природними та антропогенними процесами на факціальному рівні, які впливають на екологічний стан і функціональну стійкість ландшафтно-ї системи. Рельєф будь-якої ділянки земної поверхні ландшафту представлений сукупністю окремих форм, що багаторазово

Таблиця 1

Критерії еколого-геоморфологічної оцінки ландшафту

Table 1

Criteria for ecological and geomorphological assessment of the landscape

Група оцінюваних показників / Group of evaluated indicators	Основні діагностичні ознаки / The main diagnostic signs
Геоморфологічні показники / Geomorphological indicators	Морфогенез, тип рельєфу, ступінь розчленованості, кути нахилу поверхні, наявність потенційно небезпечних геодинамічних процесів / Morphogenesis, type of relief, degree of fragmentation, surface angles, presence of potentially dangerous geodynamic processes
Геологічні характеристики / Geological characteristics	Літологічна будова, тектонічні умови, геохімічний фон, рівень сейсмічної активності, стійкість геологічного середовища до навантажень / Lithological structure, tectonic conditions, geochemical background, level of seismic activity, resistance of the geological environment to loads
Гідрологічні чинники / Hydrological factors	Ймовірність паводків, прояви ерозійних і абразійних процесів, ризики підтоплення, якість поверхневих вод / The likelihood of floods, erosion and abrasion processes, flood risks, surface water quality
Гідрогеологічні умови / Hydrogeological conditions	Глибина залягання, агресивність і забрудненість підземних вод, інтенсивність фільтраційних процесів / Depth of occurrence, aggressiveness and contamination of groundwater, intensity of filtration processes
Техногенні параметри / Technogenic parameters	Ступінь і характер антропогенної трансформації ґрунтів, щільність забудови, конфігурація транспортної інфраструктури, електромагнітне навантаження / The degree and nature of anthropogenic soil transformation, building density, configuration of transport infrastructure, electromagnetic load

повторюються та чергуються між собою. Кожна форма рельєфу складається з окремих морфологічних елементів, які в геометричному аналізі розглядаються як грані (поверхні), ребра та двогранні кути. Залежно від величини нахилу поверхні її поділяють на субгоризонтальні (кут нахилу до 2°) та схиліві (кут нахилу понад 2°). Усі типи поверхонь, у свою чергу, можуть мати увігнуту, випуклу або плоску форму. У ландшафтознавстві рельєф трактується як сукупність нерівностей земної поверхні різного масштабу, що формуються під впливом природних і антропогенних геоморфогенетичних процесів [9].

Сучасні трансформаційні процеси в структурі використання ландшафтів, в тому числі суттєво пов'язані з інтенсивною розбудовою індустріальних зон, спричиняють масштабні зміни у геоморфологічній будові ландшафтів та їх екологічному функціонуванні. В даному дослідженні ці зміни розглядаються крізь призму екогеоморфології – напряму, що поєднує методологію геоморфологічного аналізу з принципами екологічної оцінки [10].

Згідно з сучасними теоретико-методологічними підходами ландшафтознавства, компоненти ландшафту прийнято класифікувати на три основні групи з урахуванням їх функціональних ролей у межах природно-

територіальних комплексів (ПТК) або геосистем [1]. В таблиці таблиця 2 представлена класифікація компонентів ландшафту за функціональними ознаками [12].

Теоретичним підґрунтям цієї статті слугували фундаментальні праці вітчизняних географів і екогеоморфологів [10, 21], визначення сутності геохімічного аспекту у ландшафтно-екологічному контексті [13], а також прикладні дослідження [14] присвячені екогеоморфологічному аналізу показників і критеріїв рельєфу.

Вагомою науковою базою дослідження є доробок одного із фундаторів української наукової школи екологічної морфології – професора, видатного дослідника-екогеолога О. М. Адаменка, зокрема в галузі конструктивної екології і ландшафтознавства. А саме, його концепція геоекологічного структурування природно-антропогенних ландшафтів із побудовою поелементної та покомпонентної еколого-техногеохімічної карти, яка характеризує взаємодію компонентів ландшафту [15].

Особливо важливими для теоретичного обґрунтування положень дослідження є методологічні засади геоморфологічного аналізу рельєфу та оцінку впливу геоморфологічних умов на ґрунтовий покрив, як окремого компоненту ландшафту [16 – 17]. Застосовано

Таблиця 2

Класифікація компонентів ландшафту за функціональними ознаками

Table 2

Classification of landscape components by functional features

Вид компонентів ландшафту / Type of landscape components	Основні складові / The main components	Функції / Functions
Інертні компоненти / Inert components	Ґрунти, рельєф / Soils and relief	Формують сталу структурну основу ландшафту / Form a sustainable structural basis for the landscape
Мобільні компоненти / Mobile components	Повітряні та водні маси / Air and water masses	Забезпечують циркуляцію та транзит речовин і енергії, виконують регуляторно-транспортну функцію / Ensure the circulation and transit of substances and energy, perform a regulatory and transport function
Активні компоненти / Active ingredients	Живі організми (біота) / Living organisms (biota)	Відповідають за біологічну продуктивність, підтримку та відновлення взаємозв'язків, здатність геосистеми до саморегуляції і самовідновлення / They are responsible for biological productivity, maintaining and restoring interconnections, and the geosystem's ability to self-regulate and self-heal

методи та методики дослідження антропогеннозмінених ландшафтів [18].

Крім того, у відповідності до головної мети статті, вагоме значення мають сучасні публікації зарубіжних авторів, присвячені побудові інтегрованих екогеоморфологічних моделей дослідження компонентів ландшафту [19 – 20].

Актуальні дослідження вітчизняних ландшафтознавців свідчать, що промислове будівництво в межах чутливих геоморфологічних систем України – зокрема в долинах річок, на схилах, лесових плато та інших формах рельєфу, сформованих на чорноземних ґрунтах з високим вмістом гумусу – сприяє активізації негативних геодинамічних і геоморфологічних процесів, що, у свою чергу, призводить до деградації інертних компонентів ландшафту.

У цьому контексті актуальним є застосування системного підходу до аналізу змін у морфологічній структурі ландшафту з використанням геоінформаційних технологій,

дистанційного зондування територіального комплексу та інтегральної оцінки трансформацій рельєфу в межах окремо взятої фації або урочища [21].

Методологічною основою дослідження є загальнонаукові методи оцінювання екогеоморфологічних трансформацій ландшафтів: камеральний аналіз рельєфу, інтерпретація даних польових та інженерних досліджень, синтез лабораторних досліджень, порівняльно-географічний метод, узагальнення, статистичний метод тощо.

Інформаційну базу цієї роботи становили звіти з дослідження інженерно-екологічних, інженерно-геодезичних та інженерно-геологічних умов будівельних майданчиків, генеральні плани та плани розвитку територій, що розташовані в східній частині зони широколистих лісів та південно-західній частині Чернігівського Полісся, а також матеріали наукових публікацій і періодичних видань.

Результати дослідження та обговорення

Будівництво, навіть за умови дотримання сучасних екологічних стандартів і використання новітніх технологій, зокрема у промисловому секторі через застосування швидко-монтажних будівель (ШМБ), все ж таки супроводжується певними змінами природних компонентів ландшафту – літогенної основи, морфологічної структури рельєфу, повітряного середовища, гідрологічного режиму, ґрунтового покриву та біоти.

Саме тому будь-яка будівельна діяльність супроводжується порушеннями рельєфу або ґрунтового покриву внаслідок земляних робіт та влаштування фундаментів, викидами в атмосферу, спричиненими роботою будівельної техніки та механізмів, а також впливом на водне середовище та гідрологічний режим. У сукупності ці фактори зумовлюють стійке порушення взаємозв'язків між компонентами ландшафту, що, у свою

чергу, призводить до змін у структурі природно-територіальних комплексів, окремих урочищ або фацій [1].

Антропогенні ландшафти, які формуються в умовах інтенсивної промислової урбанізації та індустріалізації, зазвичай характеризуються значним рівнем геоморфологічної деструкції, що проявляється у порушенні природних процесів рельєфоутворення, прискоренні ерозійних та акумулятивних явищ, зміні гідрологічних режимів і зниженні екологічної

стійкості територій, що призводить до деградації природно-територіальних комплексів і погіршення їхніх екосистемних функцій.

Структурована схема видів еколого-геоморфологічних впливів на природних ландшафтів в процесі ведення будівельної діяльності представлена в таблиці 3.

Еколого-геоморфологічні зміни, спричинені будівельною діяльністю, являють собою комплекс антропогенно індукованих трансформацій морфоструктур земної пове-

Таблиця 3

Еколого-геоморфологічні типи антропогенного впливу та відповідні форми трансформації ландшафтної структури, проаналізовані у межах даного дослідження

Table 3

Ecological and geomorphological types of anthropogenic impact and corresponding forms of landscape structure transformation analyzed in this study

Тип еколого-геоморфологічного впливу / Type of ecological and geomorphic impact	Прояви антропогенно зумовлених геоморфологічних змін/ Manifestations of anthropogenic geomorphic changes	Форма геоморфологічної трансформації ландшафтної структури / The form of geomorphological transformation of the landscape structure
Порушення рельєфу / Disturbance of the relief	Зняття ґрунтового покриву, вирівнювання територій, насипи, виїмки / Removal of soil cover, leveling of territories, embankments, excavations	Зміна морфоструктури ділянки, поява нових форм рельєфу техногенного походження / Changes in the morphostructure of the site, the emergence of new forms of relief of man-made origin
Порушення гідрологічного режиму / Violation of the hydrological regime	Зниження рівня ґрунтових вод, зміна русел, порушення дренажу / Decrease in groundwater level, change of channels, drainage disruption	Формування техногенних заболочувань, ерозійних форм, зміна морфогідрологічної мережі / Formation of anthropogenic wetlands, erosion forms, changes in the morphohydrological network
Ерозійні процеси / Erosion processes	Посилення лінійної і площинної ерозії після зняття рослинності та ґрунтів / Increased linear and planar erosion after vegetation and soil removal	Поглиблення ярів, утворення ерозійних борозен, активація денудаційних процесів / Deepening of ravines, formation of erosion furrows, activation of denudation processes
Акумулятивні процеси / Accumulative processes	Накопичення будівельного сміття, техногенних відкладів / Accumulation of construction waste and man-made sediments	Формування насипних морфогенетичних форм, зміна мікрорельєфу / Formation of bulk morphogenetic forms, change of microrelief
Зміна геохімічного складу поверхні / Changes in the geochemical composition of the surface	Потрапляння у ґрунт бітуму, цементу, мастил, важких металів / Bitumen, cement, oils, lubricants, and heavy metals entering the soil	Формування техногенно змінених геохімічних аномалій, забруднення літогенного шару / Formation of technologically altered geochemical anomalies, contamination of the lithogenic layer
Ущільнення ґрунтів / Soil compaction	Ущільнення ґрунту від роботи важкої будівельної техніки та механізмів, зменшення пористості і проникності ґрунту / Compaction of soil from heavy construction equipment and mechanisms, reduction of soil porosity and permeability	Зниження інфільтраційної здатності, активізація поверхневого стоку / Reduced infiltration capacity, increased surface runoff

рхні, таких як фізико-хімічне вивітрювання, поверхнева та ґрунтова ерозія. Вказані в таблиці 3 трансформації призводять до суттєвих порушень геоморфологічної конструкції ландшафтів, що, в свою чергу, впливає на взаємозв'язки між компонентами ландшафту і, як наслідок, на функціональні властивості природних екосистем, порушуючи їхню структурну цілісність та динамічну стійкість.

Як зазначено в таблиці 2 компоненти ландшафту поділяють на три групи відповідно до їх функцій в геосистемі. У рамках даного дослідження розглядаються інертні компоненти ландшафту, зокрема рельєф і ґрунти, а також їх еколого-геоморфологічні трансформації, зумовлені будівельною діяльністю. Оцінювання екогеоморфологічних впливів будівельної діяльності здійснювалося на двох дослідних майданчиках, де проводяться БМР, що розташовані відповідно в східній частині зони широколистяних лісів (Майданчик №1) та у південно-західній частині Чернігівського Полісся (Майданчик 2). Згідно з даними інтерактивної карти ґрунтів України [23], у межах східної частини зони широколистяних лісів переважають чорноземи глибокі малогумусні з наявністю кротовин в їх профілі. Ділянка, що знаходиться у межах південно-західної частини ігівського Полісся, охоплює територію поширення ясно-сірих опідзолених ґрунтів, сформованих на лесових відкладах. Чорноземи глибокі характеризуються незадовільними фізико-механічними властивостями, а ясно-сірі лесові ґрунти також не забезпечують необхідну стійку основу для облаштування фундаментів. У зв'язку з цим, під час виконання земляних робіт потребується видалення шару ґрунту з недостатніми механічними властивостями глибокого чорнозему на глибину 1,5–1,8 м з метою створення основи, здатної сприймати інженерно-будівельні навантаження. Це, своєю чергою, спричиняє посилення процесів дегресуючої деструкції інертних компонентів ландшафту [24]. В таблиці 4 представлені техніко-економічні показники за генеральним планом майданчиків промислового будівництва №1 та №2.

Згідно з порівняльними показниками, наведеними в таблиці 4, інертні компоненти ландшафту зазнають істотно інтенсивніших екогеоморфологічних трансформацій на будівельних майданчиках, розташованих у зоні поширення чорноземних ґрунтів, порівняно з майданчиками, що знаходяться в межах піщаних лесовидних суглинків. Зокрема, на майданчику №1, розташованому на чорно-

земному ґрунтовому покриві, площа забудови становить 2,2 га при щільності забудови 32,0 %, тоді як на майданчику №2 ці показники не перевищують 0,9 га та 23,0 % відповідно. Через недостатні механіко-пружні властивості чорноземів, площа ділянок із твердим покриттям та внутрішньо-майданчиковими дорогами і під'їздами на майданчику №1 становить 3,6 га, що суттєво перевищує відповідний показник на майданчику №2 (1,4 га), демонструючи зростання ступеня техногенної трансформації еколого-геоморфологічних умов. Рельєф досліджуваних майданчиків відзначається незначною амплітудою висотних коливань (до 1 м), що не потребувало суттєвого об'єму робіт з переміщення ґрунтових мас при підготовці ділянок забудови. Морфометричні показники рельєфу майданчиків промислового будівництва №1 та №2 представлено в таблиці 5.

У комплексі ці чинники свідчать про підвищений рівень деструктивного впливу будівельної діяльності на літогенну основу та рельєф в зоні з чорноземними ґрунтами природно-територіальні комплекси зазнають більш інтенсивного деструктивного впливу, ніж у зоні з лесовидними суглинками. А рівень техногенного навантаження, спричиненого будівельною діяльністю на інертні компоненти ландшафту безпосередньо залежить від типу ґрунтово-геоморфологічної основи фації на якій розташовані будівельні майданчики промислових зон.

З метою забезпечення комплексного підходу до оцінювання екогеоморфологічного навантаження на інертні компоненти ландшафту у процесі будівельної діяльності здійснено відбір ґрунтових зразків з території будівельних майданчиків №1 та №2 (рис. 1 і рис. 2) для проведення відповідних досліджень геохімічних показників. Відбір досліджуваних зразків здійснювали на глибині 5÷20 см (для оцінювання змін поверхні ґрунту, пов'язаних із безпосереднім впливом будівельного майданчика) та на глибині 10÷40 см (для виявлення змін у глибших горизонтах ґрунтових відвалів).

Польові роботи проводили у весняно-літній період 2025 р. Відбори зразків і подальший аналіз виконувались відповідно до нормативних документів та стандартів.

Чорноземи глибокі малогумусні в зоні яких розташований будівельний майданчик №1, відносяться до зональних типів ґрунтів, сформованих у лісостепових умовах на лесовидних суглинках. Вони характеризуються добре диференційованим профілем із потуж-

Таблиця 4

Порівняльна таблиця техніко-економічних показників за генеральним планом

Table 4

Comparative table of technical and economic indicators for the master plan

№	Найменування / Name	Майданчик №1 / Site №1		Майданчик №2 / Site №2	
		Значення / Meaning	Одиниця виміру / Unit of measurement	Значення / Meaning	Одиниця виміру / Unit of measurement
1	Площа відведеної ділянки / Area of the allocated plot	6,8	га/ ha	3,9	га/ ha
2	Площа забудови / Building area	2,2	га/ ha	0,9	га/ ha
3	Відсоток забудови / Percentage of development	32,0	%	23,0	%
4	Площа озеленення / Landscaping area	1,0	га/ ha	0,4	га/ ha
5	Площа твердого покриття з урахуван- ням внутрішньо- майданчикових доріг/ Paved area including intra-site roads	3,6	га/ ha	1,4	га/ ha
6	Площа перспективної забудови / Area of prospective development	-	га/ ha	1,2	га/ ha
7	Тип ґрунтів ділянки забудови / Soil type of the construction site	Чорнозем опідзолений / Podzolized black soil		Пилуваті і піщані лесовидні суглинки / Dusty and sandy loess loam	
8	Глибина виїмки ґрунту на ділянках за- будови / Depth of excavation at construction sites	1,0÷2,2	м/ m	0,6÷1,5	м/ m
9	Тип фундаментів / Type of foundations	Залізобетонний, стрічковий з оголовками під колони не глибокого залягання / Reinforced concrete, strip with heads for shallow columns		Залізобетонний, стрічковий з оголовками під колони не глибокого залягання / Reinforced concrete, strip with heads for shallow columns	
10	Тип основи фундаментів / Type of foundation base	Гравійно-піщана суміш, утрамбована / Compacted gravel-sand mixture		Гравійно-піщана суміш, утрамбована / Compacted gravel-sand mixture	
11	Площа зняття родючого шару ґрунту / Area of fertile soil removal	6,09	га/ ha	2,30	га/ ha
12	Відстань вивезення ґрунту на відвали/ Distance of soil removal to dumps	14	км/ km	6	км/ km
13	Об'єм вивезеного ґрунту / Volume of soil removed	39 000	м³	10 800	м³

Таблиця 5

Морфометричні показники рельєфу досліджуваних будівельних майданчиків №1 та №2

Table 5

Morphometric indicators of the relief of the studied construction sites №1 and №2

Характер рельєфу / The nature of the relief	Амплітуда висотних коливань/ Amplitude of altitude fluctuations	Морфологічна характеристика / Morphological characteristics
<i>Будівельний майданчик №1/ Construction site №1</i>		
Плоско-рівнинний із слабо ви- раженим схилом у бік західного горизонту / Flat-plain with a slightly pronounced slope towards the western horizon	0-1,2 м/ 0-1,2 m	Хвилястий, слабо розчленований / Wavy, weakly divided
<i>Будівельний майданчик №2/ Construction site №2</i>		
Плоско-рівнинний / Plain and flat	0-1,0 м/ 0-1,0 m	Хвилястий, слабо розчленований / Wavy, weakly divided



Рис. 1 – Місця відбору проб ґрунту, майданчик №1 (растр кадастрової карти)

Fig. 1 – Soil sampling locations, site №1 (kadastrova-karta.com)



Рис. 2 – Місця відбору проб ґрунту, майданчик №2 (растр кадастрової карти)

Fig. 2 – Soil sampling locations, site №2 (kadastrova-karta.com)

ним гумусовим горизонтом (до 100 см), проте помірним вмістом гумусу (3–4 %), що зумовлює їх класифікацію як малогумусних. Структура переважно зернисто-грудкувата. Наявність кротовин у профілі свідчить про активну біогенну діяльність. Ці ґрунти вирізняються сприятливими фізико-хімічними властивостями, однак мають недостатні фізико-механічні характеристики. Високий рівень біологічної активності визначає їх значну агропромислову цінність [25].

Ясно-сірі опідзолені ґрунти в зоні яких розташований будівельний майданчик №2, сформовані на лесових відкладах, належать до групи підзональних ґрунтів лісостепової зони України. Для них характерний розвиток процесу опідзолення, що зумовлює утворення елювіального горизонту з низьким вмістом гумусу та поживних речовин, що підтверджується світлим забарвленням верхнього шару. Гумусовий горизонт має обмежену потужність і характеризується невисоким вмістом органічної речовини. Біологічна активність залишається на середньому рівні, що зумовлює помірні темпи розкладу органіки. У цілому ці ґрунти мають невисоку природну родючість і потребують проведення меліоративних та агрохімічних заходів для підтримання сільськогосподарської продуктивності [25–26].

У дослідних зразках визначали: рівень кислотності ґрунту (pH), вміст важких металів (рухомі форми цинку (Zn), міді (Cu), марганцю (Mn) та вміст металлоїду бору (B)), електропровідність ґрунтового розчину, а також вміст органічних речовин. Під час відбору

проб враховували вологість ґрунту та характер землекористування.

У зразках із зони будівельних майданчиків №1 та №2 було виявлено значне перевищення допустимих рівнів вмісту важких металів, зокрема бору, міді, марганцю та цинку, про що свідчать результати лабораторних геохімічних досліджень зразків ґрунту, що відображені в таблиці 6. Це може вказувати на ймовірне проникнення техногенних забруднюючих речовин із будівельних матеріалів та машин.

Найвищий рівень забруднення ґрунтів важкими металами зафіксовано в межах ділянки активного будівництва та навколо майданчиків складування будівельних матеріалів. Рівень вмісту цинку (Zn) для таких зон сягав 8,1–9,3 мг/кг, що відповідає категорії надвисокого забруднення. За результатами регресійного аналізу встановлено чіткий зв'язок між відстанню до будівельного майданчика та ступенем забруднення ґрунту важкими металами ($r = -0,71$, $p < 0,01$). Для оцінки цього зв'язку використано лінійні, степеневі та логарифмічні моделі. Найбільш надійною була лінійна модель ($R^2 = 0,72$), що вказує на поступове зниження рівнів B, Cu, Mn та Zn зі збільшенням відстані від будівельного майданчика.

Ділянки, які зазнали тривалого інженерно-будівельного впливу, до початку антропогенного перетворення функціонували як агроценози. На цих ділянках відзначено істотне скорочення площі та різноманіття рослинного покриву, що виявляється у зменшенні видової різноманітності та домінуванні нечисленних адаптованих фітоценозів.

Таблиця 6

Порівняльні показники забруднення ґрунтів в зоні будівельних майданчиків №1 та №2

Table 6

Comparative indicators of soil contamination in the area of construction sites No. 1 and No. 2

№ T/B S/P	Тип ділянки/ Type of plot	Відстань до центру забудови, м/ Distance to the building center, m	Zn, мг/кг Zn, mg/kg	Cu, мг/кг Cu, mg/kg	B, мг/кг B, mg/kg	Mn, мг/кг Mn, mg/kg	ГДК (Zn / Cu / B / Mn), мг/кг MPC (Zn / Cu / B / Mn), mg/kg
Будівельний майданчик №1/ Construction site №1							
1	Прилегла до краю майданчика зона / Peripheral zone adjacent to the site boundary	40	9,3	2,3	0,53	52,7	Zn: 23 / Cu: 3 / B: 0.5 / Mn: 1500
	Рівень забруднення/ Level of pollution		Надвисокий/ Extra high	Середній/ Average	Середній/ Average	Середній/ Average	
2	Зона середнього впливу/ Zone of medium influence	70	8,2	3,1	0,5	31,3	Як вище / As above
	Рівень забруднення/ Level of pollution		Високий/ High	Середній/ Average	Середній/ Average	Середній/ Average	
3	Контрольна природна ділянка/ Control natural area	90	8,0	3,0	0,45	28,5	Як вище / As above
	Рівень забруднення/ Level of pollution		Високий/ High	Середній/ Average	Середній/ Average	Середній/ Average	
Будівельний майданчик №2/ Construction site №2							
1	Прилегла до краю майданчика зона / Peripheral zone adjacent to the site boundary	45	8,35	1,3	1,1	72,5	Як вище / As above
	Рівень забруднення / Level of pollution		Високий/ High	Низький/ Low	Високий/ High	Високий/ High	
2	Зона середнього впливу/ Zone of medium influence	50	8,13	0,71	1,03	60,5	Як вище / As above
	Рівень забруднення/ Level of pollution		Високий/ High	Низький/ Low	Високий/ High	Високий/ High	
3	Контрольна природна ділянка/ Control natural area	110	8,01	0,6	0,8	48,1	Як вище / As above
	Рівень забруднення/ Level of pollution		Високий/ High	Низький/ Low	Високий/ High	Середній/ Average	

Тривала техногенна трансформація призводить до витіснення автохтонних видів, притаманних локальним урочищам, серед яких основними є *Festuca vaginata* (костриця піхвова) і *Stipa capillata* (ковила волосиста). Їхнє місце займають інвазивні види – *Solidago canadensis* (золотушник канадський) і *Hieracium sosnowskyi* (борщівник Соосновського), а також синантропні рослини, такі, як *Artemisia vulgaris* (полин звичай-

ний), здатні ефективно адаптуватися до змінених ґрунтово-екологічних умов, що дозволяє їм швидко захоплювати домінуюче положення в трансформованих екосистемах, витісняючи ендемічну флору.

У результаті формується спрощений, часто монодомінантний рослинний покрив або екосистеми з обмеженим біорізноманіттям і зниженою екологічною резистентністю до екологічних навантажень.

Висновки

Результати дослідження свідчать, що активна будівельна діяльність, пов'язана з розбудовою нових індустріальних зон і промислових кластерів, спричинює комплексні еколого-геоморфологічні трансформації інертних компонентів ландшафту – рельєфу та ґрунтового покриву, що негативно впливає на структурно-функціональну цілісність природно-територіальних комплексів і знижує екологічну стійкість ландшафтів.

Встановлено, що тип ґрунтово-геоморфологічної основи істотно впливає на інтенсивність екогеоморфологічних змін. Зокрема, ділянки з чорноземними ґрунтами виявляють вищу уразливість до трансформацій порівняно з територіями, складеними лесовидними суглинками. Це зумовлено відмінностями у фізико-механічних властивостях ґрунтів та специфікою використовуваних будівельних технологій.

За результатами геохімічного аналізу встановлено значне забруднення ґрунтів важкими металами та металлоїдами у зонах безпосереднього впливу будівельної діяльності, що свідчить про високий рівень техногенного навантаження та потенційну екологічну загрозу для функціонування природних екосистем. Виявлено чітку закономірність зниження рівня забруднення ґрунтів зі збільшенням відстані від будівельного майданчика, що підкреслює локалізований характер антропогенного впливу та обґрунтовує необхідність впровадження систем моніторингу забруднення у зонах навколо об'єктів будівництва.

Порушення морфоструктури земної

поверхні та деградація ґрунтового покриву зумовлюють негативні зміни у біотичній складовій ландшафтно-структури. Зафіксовано зменшення видового різноманіття рослинного покриву, витіснення автохтонних фітоценозів і поширення адвентивних та інвазивних видів, що свідчить про деструкцію механізмів екосистемної саморегуляції. Встановлено, що трансформація абіотичних компонентів ландшафту ініціює комплексні порушення, які проявляються на рівні біотичних і функціональних зв'язків, що в цілому знижує екологічну стабільність досліджуваних територій.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що будівельна діяльність є чинником формування ланцюгових деградаційних процесів, що розпочинаються з трансформації абіотичного середовища та зумовлюють загальне порушення ландшафтно-цілісності.

Для ефективного управління проектами з розбудови індустріальних зон і збереження екосистемних послуг необхідне впровадження комплексних методів оцінки екогеоморфологічних трансформацій із застосуванням геоінформаційних технологій та систем моніторингу.

Отримані результати засвідчують доцільність застосування системного підходу до аналізу і прогнозування антропогенного впливу на інертні компоненти ландшафту як одного з ключових аспектів екологічно обґрунтованого управління у процесі планування та реалізації будівельних проектів у межах нових індустріальних територій.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Сонько С. П., Зеленчук І. Д. Вплив будівництва на ландшафти лісостепової зони України. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 24-34. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-02>

2. Стецюк В.В. Рудько Г.І., Ткаченко Т.І. Екологічна геоморфологія України. К.: Видавничий дім «Слово», 2010. 368 с. URL: https://www.studmed.ru/stecyuk-v-v-i-dr-ekolog-chna-geomorfolog-ya-ukra-ni_2992266fe74.html
3. Про схвалення Стратегії розвитку індустріальних парків на 2023-2030 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України №176-р від 24 лютого 2023р. Верховна Рада України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-2023-%D1%80#Text>
4. Байрак Г. Методи геоморфологічних досліджень. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2018. 292 с.
5. Палієнко В. П., Спиця Р. О. Дослідження умов формування небезпек і ризиків виникнення надзвичайних ситуацій у контексті еколого-геоморфологічної оцінки території. *Український географічний журнал*. 2015. № 4. С. 3-9. <https://doi.org/10.15407/ugz2015.04.003>
6. Ковальчук І. П. Екологічна геоморфологія. Енциклопедія Сучасної України / редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2009. URL: <https://esu.com.ua/article-18674>
7. Ковальчук І. П., Дубіс Л. Ф. Сучасна українська геоморфологія: здобутки, проблеми, перспективи (до 70-річчя кафедри геоморфології і палеогеографії ЛНУ імені Івана Франка). *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій*. 2021. Вип. 1. С. 179-196. <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2021.1.3463>
8. 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. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-04>
9. Машенко О. М. Геоморфологія. Ч.1. Рельєфоутворення. Полтава: ПНПУ імені В.Г.Короленка, 2015. 53 с
10. Суматохіна І. Наукові засади еколого-геоморфологічного дослідження для сталого розвитку промислових міст. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Сер. Географія*. Тернопіль : Тайп. 2010. №1 (27). С. 15-21. URL: <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/21156>
11. Машенко О. М. Геоморфологія. Ч.2. Зональні типи морфоскульптур суходолу. Полтава: ПНПУ імені В.Г.Короленка, 2016. 32 с.
12. П'яткова А. В. Ландшафтознавство: прикладні аспекти. Одеса: ОНУ імені І. І. Мечникова, 2020. 122 с.
13. Mustapha L. S., Obayomi O. V., Obayomi K. S. A comprehensive review on potential heavy metals in the environment: Persistence, bioaccumulation, ecotoxicology, and agricultural impacts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. October 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2025.10.009>
14. Булгаков В., Баштова М. Екологічно спрямовані дослідження геоморфологічних об'єктів у процесі навчання географії в основній школі. *Український Педагогічний журнал*. 2018. №3. С. 136-143. <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2018-3-136-143>
15. Адаменко О. М. Теоретичні основи конструктивної екології – нового наукового напрямку у Науках про Землю. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2016. № 1. С. 5-17. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2016_1_3
16. Xiong L., Li S., Tang G., Strobl J. Geomorphometry and terrain analysis: data, methods, platforms and applications. *Earth-Science Reviews*. 2022. Vol. 233. Article 104191. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104191>
17. Widyatmanti W., Rossiter D. G., Cahyana D. The definition of soil science from a geographical perspective. *Soil Security*. 2025. Vol. 20. Article 100199. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100199>
18. Денисик Г. І., Чиж О. П. Методи і методика дослідження антропогенних ландшафтів студентами географами закладів вищої освіти. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія : Теорія та методика навчання природничих наук*. 2022. № 3. С. 20-29. <https://doi.org/10.31652/2786-5754-2022-3-20-29>
19. Gregory, K., Lewin, J., Making concepts more explicit for geomorphology. *Progress in Physical Geography* 2015. P.1–17 <https://doi.org/10.1177/0309133315571208>
20. Aalto, J., Luoto, M., Integrating climate and local factors for geomorphological distribution models. *Earth Surface Processes and Landforms* Vol.39. No 13. 2014. P.1729–1740. <https://doi.org/10.1002/esp.3554>
21. Адаменко О., Рудько Г., Ковальчук І. Екологічна геоморфологія. Ів.-Фр.: Факел, 2000 411 с.
22. Turner, B.L., Lambin, E.F. and Reenberg, A. The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. December 26, 2007, 104(52), 20666-20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
23. Інтерактивна карта ґрунтів України URL: <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy>
24. 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. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-05>
25. Bouma J. The increasing relevance of soil science and soil security in a changing agricultural policy environment. *Soil Security*. 2025. Vol. 19. Article 100192. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100192>
26. Іванюк Г. Сірі лісові ґрунти у різних класифікаційних системах. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2017. Вип. 51. С. 120-134. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2017.51.8851>

27. 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 <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.27>

Отримано: 23.07.2025 / Переглянуто: 28.09.2025 / Прийнято: 20.10. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

I. D. ZELENCHUK,

Deputy Director¹, PhD Student of the Department of Ecology and Life Safety²
e-mail: zelenchuk.id@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8517-6617>

¹ LLENTAB UKRAINE LLC

114, Soborna str., Sofiivska Borshchahivka village, Kyiv-Svyatoshynskyi district,
Kyiv region, 08131, Ukraine

² Uman National University,

1, Instytutaska Str., Uman, Cherkasy Region, 20305, Ukraine

ECOLOGICAL-GEOMORPHOLOGICAL TRANSFORMATIONS OF INERT LANDSCAPE COMPONENTS IN INDUSTRIAL ZONES

Purpose. Comprehensive assessment of eco-geomorphological changes in inert components of the landscape caused by intensive construction activity in newly developed industrial zones of Ukraine, with consideration of the use of modern prefabricated building technologies.

Methods. The field investigations, systemic and comparative geographical analysis, statistical, morphometric assessment, as well as the method of correlation and comparison

Results. The results of field and analytical investigations demonstrated that construction activity constitutes a determining factor in the formation of zones with intensive technogenic pressure on soil cover. The highest levels of heavy metal contamination were recorded within active construction sites and adjacent material storage areas. Specifically, zinc (Zn) concentrations in these locations corresponding to the category of extremely high contamination according to the classification criteria for ecological soil quality assessment. Regression analysis revealed a statistically significant inverse correlation between the distance from the construction activity center and the accumulation level of heavy metals in the soil profile. Within the facies subjected to prolonged engineering intervention, a marked transformation of the vegetation structure was observed. Areas exposed to mechanical soil disturbance are characterized by a reduction in natural vegetation cover, a decline in species diversity, and the dominance of adaptive, primarily invasive, species. The displacement of biocenotic equilibrium promotes the exclusion of autochthonous flora species characteristic of the (natural) sites under investigation, leading to the formation of monodominant communities with low ecological resistance and impaired capacity for natural regeneration.

Conclusions. The development of industrial zones in areas predominantly used for agriculture and forestry leads to significant ecogeomorphological transformations of the inert components of the landscape. The application of an integrated methodological approach enabled the quantitative assessment of changes in morphostructure, soil cover, and hydrological regime, as well as the detection of increased heavy metal contamination in soils within construction sites. Disruptions in the interaction between inert and biotic components of geosystems were identified, resulting in reduced ecological resilience. The findings can serve as a scientific basis for optimizing spatial planning, implementing monitoring measures, and guiding environmental management of industrial infrastructure development in agro-landscapes.

KEYWORDS: *natural territorial complexes, NTCs, anthropogenic impact, geosystems, soils*

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Furthermore, the author has fully adhered to ethical norms, including avoiding plagiarism, data falsification, and duplicate publication. The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Sonko, S. P., & Zelenchuk, I. D. (2024). Impact of construction on landscapes of the forest-step zone of Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (42), 24-34. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-02> (in Ukrainian)
2. Stetsiuk V.V., Rudko H.I., Tkachenko T.I. (2010). Ecological geomorphology of Ukraine. K.: Slovo Publishing House, 368. Retrieved from https://www.studmed.ru/stecyuk-v-v-i-dr-ekolog-chna-geomorfolog-ya-ukra-ni_2992266fe74.html (in Ukrainian)
3. On approval of the Strategy for the Development of Industrial Parks for 2023-2030: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 176-p of February 24, (2023). Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-2023-%D1%80#Text>
4. Bairak, H. (2018). Methods of Geomorphological Research. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv. (in Ukrainian)

5. Palienko V.P., Spitsa R.O. (2015). Study of the conditions for the formation of hazards and risks of emergencies in the context of ecological and geomorphological assessment of the territory. *Ukrainian Geographical Journal*. (4),3-9. <https://doi.org/10.15407/ugz2015.04.003> (in Ukrainian)
6. Kovalchuk I.P. (2009). Ecological geomorphology. In I.M. Dziuba, A.I. Zhukovsky, M.G. Zheleznyak (Eds.). *Encyclopedia of Modern Ukraine* Kyiv: Institute of Encyclopedic Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. Retrieved from <https://esu.com.ua/article-18674> (in Ukrainian)
7. Kovalchuk I.P., Dubis L.F. (2021). Modern Ukrainian geomorphology: achievements, problems, prospects (to the 70th anniversary of the Department of Geomorphology and Paleogeography of Ivan Franko National University of Lviv). *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*, 1, 79-196. <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2021.1.3463> (in Ukrainian)
8. Sonko, S., Zelenchuk, I. (2022). Using the latest construction technologies to reduce the harmful effects on inert components of the landscape. *Problems of Continuous Geographic Education and Cartography*, (35), 32-38. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-04> (in Ukrainian) (in Ukrainian)
9. Mashchenko, O. M. (2015). Geomorphology. Part 1. Relief formation. Poltava: V.G. Korolenko Poltava National Pedagogical University. (in Ukrainian)
10. Sumatokhina, ... (2010). Scientific principles of ecological and geomorphological research for sustainable development of industrial cities. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Geography Series*, (1(27)), 15-21. Retrieved from <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/21156> (in Ukrainian)
11. Mashchenko, O. M. (2016). Geomorphology. Part 2. Zonal types of land morphoscultures. Poltava: V.G. Korolenko Poltava National Pedagogical University. (in Ukrainian)
12. Piatkova, A. V. (2020). Landshaftoznavstvo: prykladni aspekty [Landscape science: applied aspects. Odesa: I. I. Mechnikov Odesa National University. (in Ukrainian)
13. Mustapha, L. S., Obayomi, O. V., Obayomi, K. S. (2025). A comprehensive review on potential heavy metals in the environment: Persistence, bioaccumulation, ecotoxicology, and agricultural impacts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. October. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2025.10.009>
14. Bulgakov, V., & Bashtova, M. (2018). Ecologically oriented studies of geomorphological objects in the process of teaching geography in primary school. *Ukrainian Pedagogical Journal*, (3) 136-143. <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2018-3-136-143> (in Ukrainian)
15. Adamenko O. M. (2016). Theoretical foundations of constructive ecology - a new scientific direction in Earth Sciences. *Ecological safety and balanced resource use*. (1) 5-17. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2016_1_3 (in Ukrainian)
16. Xiong L., Li S., Tang G., & Strobl J. (2022). Geomorphometry and terrain analysis: data, methods, platforms and applications. *Earth-Science Reviews*, 233, 104191. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104191>
17. Widyatmantı, W., Rossiter, D. G., Cahyana, D. (2025). The definition of soil science from a geographical perspective. *Soil Security*, 20, 100199. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100199>
18. Methods and methodology for investigation of anthropogenic landscape by students geographers of higher education institutions. (2023). *Scientific Notes of Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University Section Theory and Methods of Teaching Natural Sciences*, 3, 20-29. <https://doi.org/10.31652/2786-5754-2022-3-20-29> (in Ukrainian)
19. Gregory, K., & Lewin, J., (2015). Making concepts more explicit for geomorphology. *Progress in Physical Geography* 1–17. <https://doi.org/10.1177/0309133315571208>
20. Aalto, J., Luoto, M., (2014). Integrating climate and local factors for geomorphological distribution models. *Earth Surface Processes and Landforms* 39 (13). 1729–1740. <https://doi.org/10.1002/esp.3554>
21. Adamenko O., & Kovalchuk I. (2000). Ecological geomorphology: Torch. (in Ukrainian)
22. Turner, B.L., & Lambin, E.F. (2007). The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. December 26, 104(52), 20666-20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
23. Interactive map of soils of Ukraine Ruta Publishing. Retrieved from <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy> (in Ukrainian)
24. Sonko, S.P., & Zelenchuk, I.D. (2025). Industrial construction as a factor of destruction of natural landscapes and loss of ecosystem services potential. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 63-77. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-05> (in Ukrainian)
25. Bouma J. (2025). The increasing relevance of soil science and soil security in a changing agricultural policy environment. *Soil Security*, 19, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100192>
26. Ivaniuk H. (2017). Gray forest soils in different classification systems. *Bulletin of Lviv University. Geographical series*. (51), 120-134. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2017.51.8851> (in Ukrainian)
27. Serzhantova, Y., Marchenko, O. & Zelenchuk, I. (2024). The use of the latest technologies for monitoring and preservation of the environment: the role of drones, satellites and artificial intelligence. *Ecological sciences*. 5(56). 182-188. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.27> (in Ukrainian)

Submission received: 23.07.2025 / Revised: 28.09.2025 / Accepted: 20.10. 2025 / Published: 30.12. 2025