

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону придніпров'я у контексті сталого розвитку

Віктор ГРУШКА*  <https://orcid.org/0000-0002-1016-109X>

УДК 551.4:504.05:711.4

Ірина СУМАТОХІНА  <https://orcid.org/0000-0002-5892-6362>

Олег СИЗЕНКО  <https://orcid.org/0000-0002-9158-1693>

ПОШУКОВА СТАТТЯ

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
кафедра географії

Листування – *grush_vv@ua.fm

Ключові слова: урбогеоморфологія, трансформація рельєфу, геоморфологічні ризики, урбосистеми, сталий розвиток.

Анотація: У статті досліджено урбогеоморфологічні трансформації рельєфу урбосистем індустріального регіону та їх вплив на формування небезпечних геоморфологічних процесів і ризиків. Встановлено, що в умовах інтенсивної урбанізації рельєф функціонує як природно-техногенна система, у якій антропогенний фактор відіграє визначальну роль. Проаналізовано основні типи трансформацій рельєфу, зокрема техногенне переформування, планувальні зміни, гідрогеологічні порушення та індуковану активізацію екзогенних процесів.

Виявлено, що трансформації рельєфу супроводжуються зміною морфометричних параметрів, порушенням гідрогеологічного режиму та формуванням нестійких морфодинамічних систем. На основі просторового аналізу встановлено мозаїчну структуру трансформованого рельєфу, у межах якої виділяються зони підвищеної геоморфологічної небезпеки.

На прикладі міст індустріального регіону (Кривий Ріг, Дніпро, Кам'янське) показано, що інтенсивність і характер трансформацій безпосередньо визначають розвиток небезпечних процесів, зокрема зсувів, підтоплення, суфозії та просідань. Обґрунтовано, що трансформація рельєфу є ключовим чинником формування геоморфологічних ризиків у межах урбосистем.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для оцінки ризиків, просторового планування та впровадження заходів сталого розвитку урбанізованих територій.

1. ВСТУП

Сучасний етап розвитку урбосистем характеризується інтенсивною трансформацією природного середовища, що особливо проявляється у зміні морфології рельєфу під впливом техногенної діяльності. Урбанізація, гірничодобувна промисловість, інженерне освоєння територій і порушення гідрогеологічних умов зумовлюють активізацію небезпечних геоморфологічних процесів, зокрема зсувів, підтоплення та провальних явищ. У індустріальних урбосистемах ці процеси набувають комплексного характеру, формуючи

2026, 857; DOI: <https://doi.org/10.31861/geo.2026.857.212-223>

<https://geochnu.top/>

Open Access. © 2026 В. ГРУШКА, І. СУМАТОХІНА, О. СИЗЕНКО
опубліковано у Чернівецькому національному університеті

Ця робота ліцензується відповідно до

CC BY-NC-ND із Зазначенням Авторства – Некомерційна – Без Похідних 4.0 Міжнародна



підвищені геоморфологічні ризики для населення, інфраструктури та довкілля. Водночас трансформований рельєф виступає не лише джерелом небезпек, але й потенційним ресурсом для просторового розвитку, що актуалізує необхідність його раціонального використання.

У контексті реалізації принципів сталого розвитку особливої ваги набуває інтеграція оцінки геоморфологічних ризиків у систему територіального планування та управління. Незважаючи на значну кількість досліджень у галузі урбогеоморфології, питання комплексного аналізу ризиків, пов'язаних із трансформаціями рельєфу, та обґрунтування стратегій їх мінімізації й адаптивного використання залишаються недостатньо розробленими. Зокрема, відсутні єдині методичні підходи до комплексної оцінки геоморфологічної стійкості антропогенно змінених ландшафтів, а також механізми інтеграції цих даних у системи прийняття рішень щодо просторового планування. Це призводить до того, що управлінські рішення часто базуються на фрагментарній інформації, що знижує ефективність заходів із запобігання надзвичайним ситуаціям та обмежує можливості раціонального використання трансформованих територій. Отже, існує потреба у розробці комплексної моделі оцінки геоморфологічних ризиків, яка б враховувала динаміку техногенних процесів і дозволяла формувати адаптивні сценарії розвитку урбосистем у умовах невизначеності.

Аналіз джерел свідчить, що розвиток урбогеоморфологічних досліджень має чітку хронологічну еволюцію: від класичних праць, у яких закладено теоретичні основи вивчення рельєфу міст (Allen & Thornbush, 1976; Cooke et al., 1982), до сучасних досліджень, орієнтованих на інтеграцію геоморфології з питаннями сталого розвитку та управління ризиками (Sharifi, 2021; Sharifi et al., 2023; Pica et al., 2024). У регіональному вимірі простежується розширення фокусу від вивчення рельєфу міст окремих природно-кліматичних зон, зокрема аридних і тропічних територій (Gupta & Ahmad, 1999), до глобального охоплення урбанізованих систем у різних географічних умовах (Slaymaker et al., 2009).

Тематично дослідження концентруються на антропогенній трансформації рельєфу, оцінці та картографуванні геоморфологічних ризиків, об'єктів геоморфологічної спадщини (Reynard & Brilha, 2017), а також на розробці підходів до їх врахування у просторовому плануванні (Allen & Thornbush, 1976; Sharifi, 2021; Sharifi et al., 2023). Водночас сучасні роботи підкреслюють міждисциплінарний характер урбогеоморфології, що поєднує географію, інженерні науки та геоекологію для комплексного аналізу (Szabó, 2010). Особливої уваги заслуговує стаття Аюба Шаріфі (Sharifi, 2021), присвячена оцінюванню стійкості урбанізованих систем. Автор обґрунтовує, що концепція «urban sustainability» формується як міждисциплінарна парадигма, яка інтегрує соціальні, економічні та екологічні складові функціонування міських систем. Результати бібліометричного аналізу засвідчують чітку просторову концентрацію досліджень у межах Північної Америки, Європи та частково Азії, тоді як урбанізовані території країн, що розвиваються, залишаються недостатньо репрезентованими, що вказує на значний потенціал подальших наукових розвідок у цьому напрямі.

В Україні проблематика геоморфологічних ризиків урбосистем також формується у межах міждисциплінарного наукового поля, що об'єднує урбогеоморфологію, інженерну геоморфологію та геоекологію. Такий синтез забезпечує комплексне розуміння трансформацій рельєфу в умовах урбанізації, їх динаміки та наслідків для функціонування міських геосистем (Ковальчук, 2004; Рудько & Суматохіна, 2008). Сучасні дослідження спрямовані не лише на фіксацію змін рельєфу, але й на оцінку ризиків та екологічних небезпек, що виникають унаслідок взаємодії природних і техногенних чинників (Tsaryk et al., 2022).

Огляд праць В. Стецюка, І. Ковальчука та інших представників української школи геоморфології дозволяє суттєво поглибити розуміння негативних геоморфологічних процесів у межах урбанізованих територій. У фундаментальних роботах зазначених авторів рельєф розглядається як динамічна система, що формується під впливом взаємодії ендегенних, екзогенних і антропогенних чинників (Стецюк & Ковальчук, 2005; Ковальчук, 2007). Особлива

В. Грушка, І. Суматохіна, О. Сизенко

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону Придніпров'я у контексті сталого розвитку

увага приділяється антропогенній трансформації рельєфу, яка в умовах міст виступає ключовим фактором активізації небезпечних процесів – зсувів, ерозії, суфозії, карсту та підтоплення.

У екологічній геоморфології геологічні процеси інтерпретуються з позицій їхнього впливу на довкілля та безпеку життєдіяльності населення. В. Стецюк та співавтори обґрунтовують поняття еколого-геоморфологічних ризиків, що виникають унаслідок інтенсивного господарського освоєння територій, особливо в урбанізованому середовищі (**Стецюк & Ковальчук, 2005**). Сучасні дослідження розширюють ці підходи, акцентуючи увагу на кількісній оцінці небезпечних процесів і використанні індикаторних та геоінформаційних методів. Зокрема, у роботах українських учених доведено, що рівень урбанізаційного навантаження прямо корелює з інтенсивністю розвитку екзогенних геоморфологічних процесів, зокрема карсту та зсувів (**Васютинська & Барбашев, 2021**). Важливим напрямом є оцінювання геодинамічних ризиків у межах міських територій, зокрема на лесових основах, де суттєву роль відіграють зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів під впливом урбанізації (**Мокрицька, 2017**). У таких роботах підкреслюється необхідність комплексного врахування всіх компонентів геологічного середовища при прогнозуванні ризиків. Новітні дослідження розвивають концептуальні моделі геоморфогенезу та підкреслюють значення аналізу потоків речовини, ерозійно-аккумулятивних процесів і трансформації руслових систем у контексті антропогенного впливу (**Байрак & Ковальчук, 2025**). Це дозволяє інтегрувати геоморфологічні підходи з оцінкою екологічних наслідків урбанізації.

Накопичені наукові результати переконливо доводять, що розвиток негативних геоморфологічних процесів у межах міст зумовлений складною та багаторівневою взаємодією природних чинників і антропогенного навантаження, яке істотно трансформувало морфодинамічні системи. Водночас сучасний етап досліджень характеризується переходом від описових до кількісно-аналітичних підходів, що передбачають активне використання ГІС-технологій, індикаторних систем оцінювання, методів просторового моделювання та прогнозування. Це забезпечує можливість не лише ідентифікації та картографування небезпечних процесів, але й їх інтеграції у практику територіального планування.

Метою статті є комплексний аналіз геоморфологічних ризиків урбосистем, зумовлених трансформаціями рельєфу, та обґрунтування стратегій їх мінімізації і сталого використання територій. Реалізація зазначеної мети зводиться до виконання наступних дослідницьких завдань: проаналізувати урбогеоморфологічні трансформації рельєфу; визначити небезпечні геоморфологічні процеси в урбосистемах та чинники їх активізації; оцінити й просторово диференціювати геоморфологічні ризики; охарактеризувати вплив трансформованого рельєфу на функціонування урбосистем; обґрунтувати шляхи мінімізації ризиків і сталого використання рельєфу.

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Інформаційною основою дослідження складають: топографічні карти масштабів 1:10 000 – 1:100 000, використані для аналізу морфологічної структури рельєфу; геологічні та геоморфологічні карти, що відображають літологічну основу та генетичні типи форм рельєфу; матеріали дистанційного зондування Землі (супутникові знімки), які дозволили ідентифікувати техногенні форми та оцінити динаміку змін; цифрові моделі рельєфу (DEM), що застосовувалися для морфометричного аналізу; статистичні та фондові дані щодо прояву зсувів, підтоплення, просядкових і суфозійних процесів; матеріали регіональних досліджень щодо гірничодобувної діяльності та урбанізаційного навантаження.

Для оцінки геоморфологічних ризиків урбосистем індустріального регіону застосовано автоматизований морфометричний аналіз на основі цифрових моделей висот. З огляду на

В. Грушка, І. Суматохіна, О. Сизенко

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону Придніпров'я у контексті сталого розвитку

значну техногенну трансформацію рельєфу використано високоточну модель MERIT DEM (Yamazaki et al., 2017), яка завдяки глибокій постпроцесинговій корекції даних SRTM та AW3D30 мінімізує вплив систематичних похибок, зокрема пов'язаних із рослинністю та забудовою. Залучення даних ICESat/GLAS забезпечує надійне відтворення денної поверхні в урбанізованих умовах. Як показано в попередніх дослідженнях (Сизенко, 2023), MERIT DEM має вищу відповідність референтним топографічним даним, що визначає її придатність для регіональних геоморфометричних досліджень.

Кути нахилу поверхні обчислено за методом Зевенбергена–Торна з використанням ковзного вікна 3×3 пікселя, що забезпечує згладжені значення для антропогенно ускладненого мікрорельєфу. Експозицію схилів визначено як азимут максимального похилу, який відображає умови інсоляції та зволоження й опосередковано впливає на стійкість ґрунтів і розвиток екзогенних процесів на трансформованих формах рельєфу.

Використані матеріали забезпечили можливість кількісної оцінки ступеня трансформації рельєфу (площа порушених територій, параметри техногенних форм, рівень ґрунтових вод) і просторової локалізації небезпечних процесів, що безпосередньо відображено у результатах.

Методологічну основу дослідження становить поєднання класичних геоморфологічних підходів із сучасними геоінформаційними технологіями, що дозволяє комплексно оцінити трансформації рельєфу та їхній вплив на формування геоморфологічних ризиків. У роботі застосовано методи: геоморфологічний аналіз полягав у вивченні морфології та генезису форм рельєфу, ідентифікації техногенних і природно-антропогенних елементів, а також встановлення зв'язку між трансформаціями та розвитком небезпечних процесів; морфометричний аналіз (на основі DEM) застосовано для визначення кількісних характеристик рельєфу (висоти, ухили, розчленованість), що дозволило оцінити стійкість схилів і потенційну небезпеку розвитку гравітаційних процесів; картографічний метод і геоінформаційний (GIS) аналіз використані з метою аналізу просторової структури трансформованого рельєфу, виділення функціональних зон (техногенних, підтоплених, зсувонебезпечних) та їх подальшого узагальнення, побудови схем поширення небезпечних геоморфологічних процесів; дешифрування матеріалів ДЗЗ дозволило вивчити поширення техногенних форм (кар'єрів, відвалів, насипів), зон підтоплення та змін у морфоструктурі територій; порівняльно-географічний метод використано для зіставлення особливостей трансформацій рельєфу та розвитку небезпечних процесів у різних урбосистемах (Кривий Ріг, Дніпро, Кам'янське).

Для розгляду урбосистем як складних природно-техногенних утворень, у межах яких трансформації рельєфу виступають ключовим фактором формування ризиків, використано системний підхід. Оцінка трансформацій рельєфу здійснювалася шляхом визначення ступеня його антропогенної перетвореності та інтенсивності морфодинамічних процесів. До основних етапів оцінки віднесені: ідентифікація типів трансформацій рельєфу (техногенні, планувальні, гідрогеологічні); оцінка морфометричних параметрів (глибина кар'єрів, висота відвалів, крутизна схилів); визначення площ трансформованих територій; виявлення зон активізації небезпечних процесів. Оцінка геоморфологічних ризиків базувалася на інтеграції трьох складових: *небезпеки* – інтенсивності та ймовірності прояву процесів (зсуви, підтоплення, просідання); *вразливості* – ступеня чутливості урбанізованих територій до їх впливу; *експозиції* – наявності об'єктів інфраструктури в зоні впливу. На цій основі здійснювалася якісно-кількісна оцінка рівнів ризику (низький, середній, високий), що дозволило встановити просторову структуру геоморфологічної небезпеки, відображену в результатах дослідження.

Обмеження дослідження пов'язані з неоднорідністю вихідних даних щодо прояву небезпечних процесів та різною деталізацією картографічних матеріалів. Крім того, складність взаємодії природних і техногенних чинників зумовлює певну узагальненість оцінок ризику.

В. Грушка, І. Суматохіна, О. Сизенко

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону Придніпров'я у контексті сталого розвитку

Разом із тим застосований комплекс методів забезпечує достатній рівень достовірності результатів і дозволяє виявити основні закономірності трансформації рельєфу та формування геоморфологічних ризиків в урбосистемах.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У статті досліджено урбосистеми Придніпровського індустріально-урбанізованого регіону Дніпропетровської області, рельєф яких сформований під впливом інтенсивної взаємодії природних і техногенних чинників і функціонує як природно-техногенна система з домінуванням антропогенного впливу. Результати проведеного аналізу похилів та експозицій на основі моделі MERIT DEM дозволили виявити складну просторову структуру рельєфу досліджуваного індустріального регіону, що безпосередньо корелює з зонами активізації небезпечних геоморфологічних процесів. Аналіз розподілу кутів нахилу поверхні показав, що переважна частина досліджуваної території характеризується пологими схилами (до 3–5°), що є типовим для платоподібних ділянок Придніпровської височини. Проте, критичний інтерес для оцінки ризиків становлять ділянки з похилами понад 10–15°, які на карті формують виразну мережу лінійних та локальних аномалій (рис. 1).

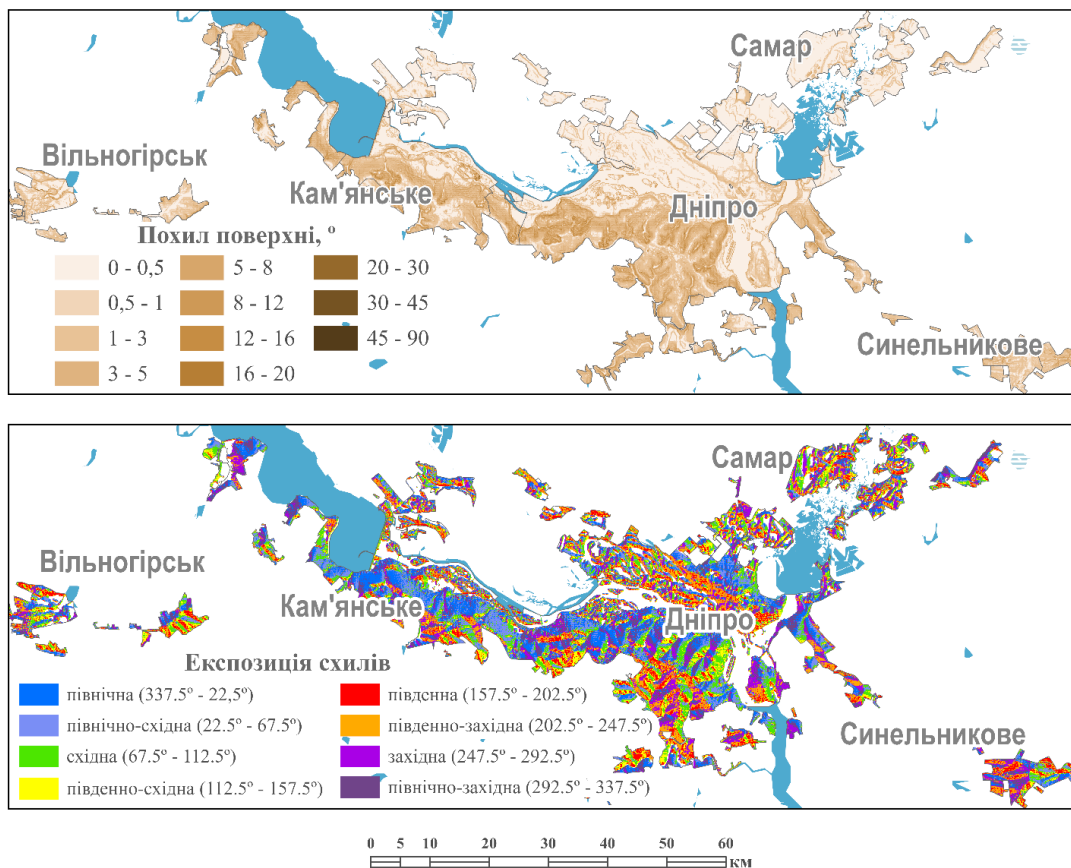


Рис. 1. Похил та експозиція схилів урбосистем Придніпровського індустріально-урбанізованого регіону

Розподіл експозицій схилів на досліджуваній території виявив цікаву закономірність у контексті сталого розвитку. Аналіз кругових діаграм («троянд-експозицій»), побудованих за даними моделювання, свідчить про домінування схилів південно-східного та південно-західного напрямків у межах ерозійних мереж. Експозиція відіграє роль «підсилювача»

В. Грушка, І. Суматохіна, О. Сизенко

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону Придніпров'я у контексті сталого розвитку

ризиків через такі механізми: схили південних експозицій піддаються більш інтенсивному фізичному вивітрюванню та коливанням температури в зимово-весняний період, а це призводить до деградації структурних зв'язків у лесових породах, що домінують у розрізі регіону, та провокує суфозійні та просадні явища. Схили північних експозицій, як правило, характеризуються вищою вологістю через менше випаровування. У поєднанні з високими похилами, зафіксованими на карті, це створює умови для зниження зчеплення ґрунтів і активізації зсувів, особливо в районах щільної приватної забудови на правобережжі Дніпра.

Урбанізація радикально змінює морфологічну структуру поверхні, трансформуючи як її морфометричні характеристики (висоти, ухили, густина та глибина розчленування), так і внутрішні геодинамічні процеси. Порушення природної будови рельєфу супроводжується змінами геологічного середовища, гідрогеологічного режиму та перерозподілом екзогенних процесів. Одночасно відбувається формування принципово нових, штучно створених форм рельєфу, які не мають природних аналогів (кар'єри, відвали, насипи, техногенні тераси).

У межах урбосистем Дніпропетровської області урбанізаційні процеси проявляються особливо інтенсивно, що зумовлено високим рівнем промислового освоєння території, насамперед гірничодобувної та металургійної галузей (Рудько & Суматохіна, 2008; Мокрицька, 2017). Це призводить до масштабної трансформації природного рельєфу, яка супроводжується формуванням потужного техногенного навантаження, зміною морфометричних параметрів поверхні та порушенням природної геодинамічної рівноваги. У результаті відбувається не лише перебудова рельєфу, але й активізація екзогенних процесів, зокрема зсувів, просідань, суфозії та підтоплення, що визначає специфіку урбогеоморфологічного розвитку регіону.

Ключовою особливістю урбогеоморфологічних трансформацій є їх прискорений просторово-часовий характер. Геоморфологічні процеси, які в природних умовах розвиваються протягом геологічно тривалого часу, в урбосистемах реалізуються в межах десятиліть або навіть років. Це призводить до різкого підвищення динамічної напруженості геосистем, накопичення прихованих деформацій і формування умов для раптової активізації небезпечних процесів.

Отже, трансформація рельєфу виступає базовим і системоутворюючим чинником сучасного стану урбогеоморфосистем. Вона визначає просторову організацію урбанізованих територій, формує їх морфологічну структуру та безпосередньо зумовлює диференціацію рівнів геоморфологічного ризику, що є основою для подальшого аналізу небезпечних процесів та оцінки їх наслідків.

Встановлені загальні закономірності трансформації рельєфу в урбосистемах зумовлюють необхідність їх деталізації через виділення основних типів і механізмів змін. У межах урбанізованих територій Дніпропетровської області трансформації мають комплексний характер і реалізуються через низку взаємопов'язаних процесів, що відрізняються за походженням, інтенсивністю та наслідками. Узагальнення результатів дослідження дозволяє виділити такі основні типи урбогеоморфологічних трансформацій:

1. Техногенне переформування рельєфу. Цей тип трансформацій є домінуючим для індустріальних урбосистем (зокрема Криворізької) і пов'язаний передусім із гірничодобувною діяльністю, будівництвом та розвитком інженерної інфраструктури. У результаті формуються кар'єри, відвали, насипи, техногенні тераси та інші штучні морфоструктури. Такі форми характеризуються значною контрастністю висот, високими значеннями ухилів і низькою стійкістю до зовнішніх впливів. Вони істотно змінюють природну морфологію території та створюють передумови для розвитку гравітаційних і ерозійних процесів.

2. Планувальна трансформація поверхні. На відміну від масштабного техногенного переформування, цей тип трансформацій має більш локальний, але масовий характер і

В. Грушка, І. Суматохіна, О. Сизенко

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону Придніпров'я у контексті сталого розвитку

супроводжує практично всі етапи міського освоєння території. Він включає вирівнювання поверхні, підсипання ґрунтів, терасування схилів, прокладання транспортних шляхів та зміну природного дренажу. У результаті відбувається порушення первинної морфологічної структури рельєфу, зміна напрямків поверхневого стоку та перерозподіл підземних вод, що створює передумови для розвитку підтоплення та локальних деформацій.

3. Гідрогеологічна трансформація. Цей тип змін є одним із ключових у формуванні сучасного стану урбогеоморфосистем. Він характерний для урбосистем міст Дніпро, Кам'янське, Самар, Павлоград та інших та проявляється у зміні рівня ґрунтових вод, формуванні зон підтоплення, порушенні природного водообміну та дренажу територій. Основними причинами є ущільнення міських поверхонь, витоки з інженерних мереж, створення водосховищ і зарегулювання русел річок. Гідрогеологічні зміни безпосередньо впливають на фізико-механічні властивості ґрунтів і виступають важливим фактором активізації небезпечних геоморфологічних процесів.

4. Індукована активізація екзогенних процесів. Антропогенне навантаження в урбосистемах виступає потужним тригером для розвитку або посилення природних процесів – зсувів, ерозії, суфозії, просідань. У цьому випадку трансформація рельєфу має опосередкований, але системний характер: зміни умов середовища (перезволоження, перевантаження схилів, порушення структури ґрунтів) призводять до переходу геосистем у нестійкий стан. Особливістю цього типу є його тісний зв'язок з іншими трансформаціями, насамперед гідрогеологічними та техногенними.

Зазначені типи трансформацій реалізуються не ізольовано, а у взаємодії, що зумовлює формування складних природно-техногенних морфодинамічних систем. Їх функціонування характеризується підвищеним рівнем нестійкості, просторовою неоднорідністю та схильністю до розвитку небезпечних геоморфологічних процесів, що безпосередньо проявляється в урбосистемах індустріального регіону Придніпров'я.

Урбогеоморфологічні трансформації рельєфу характеризуються чітко вираженою просторовою диференціацією, що зумовлена як природними передумовами, так і характером та інтенсивністю господарського освоєння території. У межах урбосистем формується складна мозаїчна структура, у якій поєднуються ділянки природного, трансформованого та повністю техногенного рельєфу. Аналіз показує, що найбільш інтенсивні трансформації приурочені до зон максимального антропогенного навантаження (рис. 2), серед яких провідну роль відіграють гірничопромислові території, ділянки щільної міської забудови, транспортні вузли, а також долини річок, де відбувається активне втручання в природний гідрологічний режим (Рудько & Суматохіна, 2008). Водночас зберігаються окремі фрагменти умовно стабільного рельєфу, які, однак, також зазнають опосередкованого впливу урбанізаційних процесів.

У структурі трансформованого рельєфу доцільно виділяти кілька функціонально-геоморфологічних типів територій. По-перше, це зони техногенного рельєфу, представлені кар'єрами, відвалами, насипами та іншими штучними формами, які характеризуються значними амплітудами висот і нестійкістю схилів. По-друге, зони трансформованого природного рельєфу, де первинна морфологія змінена внаслідок планувальних робіт і забудови. По-третє, зони гідрогеологічної трансформації, пов'язані з підтопленням і порушенням природного дренажу. Окремо виділяються зони потенційної геоморфологічної нестійкості, де поєднання природних і техногенних чинників створює передумови для розвитку небезпечних процесів. Кількісна оцінка свідчить, що частка трансформованих територій у межах великих індустріальних міст регіону може досягати 30–50 %, причому найбільш глибокі зміни характерні для гірничопромислових зон Кривого Рогу. Просторова локалізація таких ділянок визначає формування осередків геоморфологічної нестійкості, які виступають ядрами розвитку небезпечних процесів. Таким чином, просторово-структурна

В. Грушка, І. Суматохіна, О. Сизенко

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону Придніпров'я у контексті сталого розвитку

організація трансформованого рельєфу є ключовим фактором формування сучасної геоморфологічної ситуації в урбосистемах. Вона визначає закономірності поширення небезпечних процесів і створює основу для їх подальшого аналізу на прикладі конкретних міст індустріального регіону.

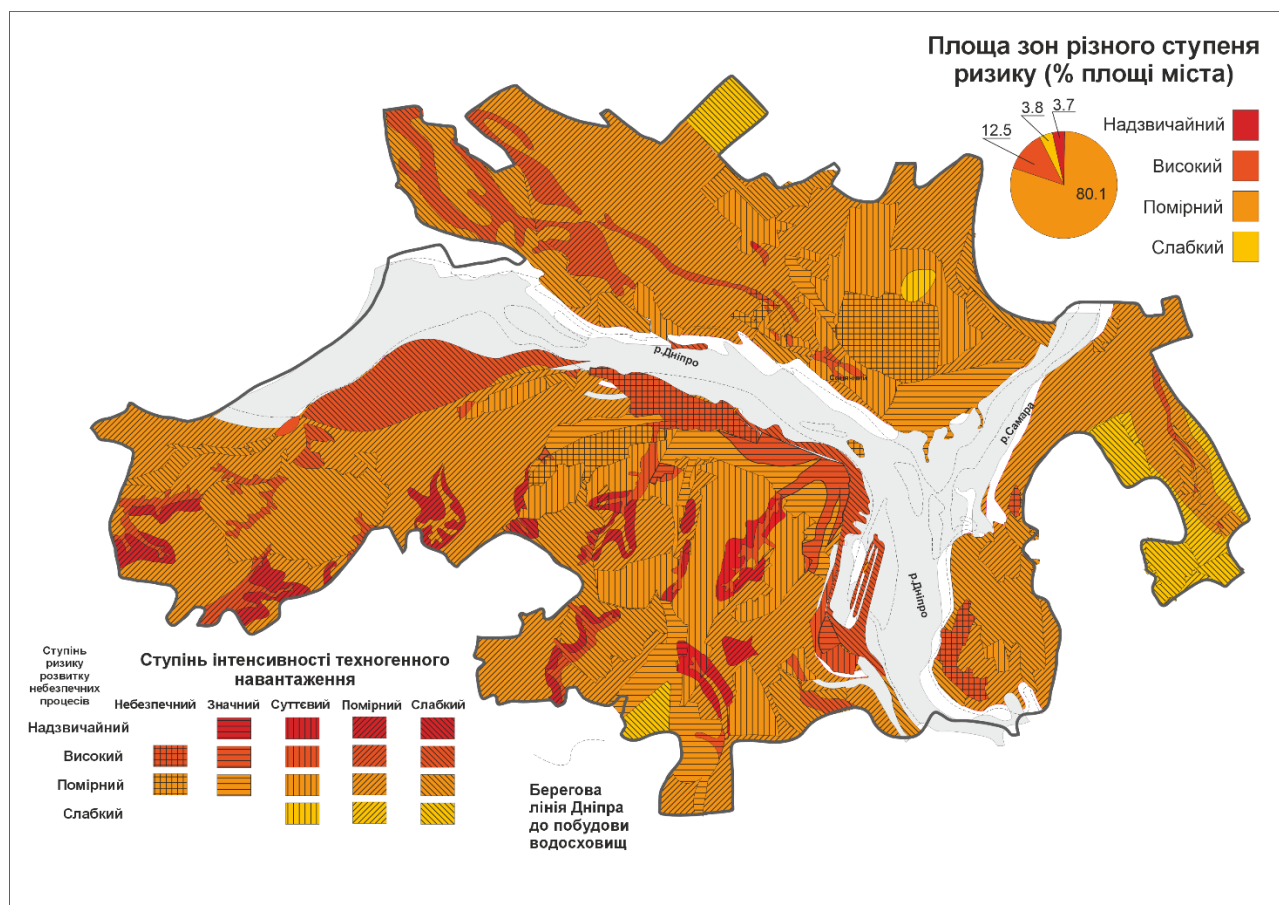


Рис. 2. Співвідношення ступеню ризику розвитку небезпечних екзогенних процесів та інтенсивності техногенного навантаження у межах урбосистеми міста Дніпро

Результати дослідження засвідчують, що в межах урбосистем Придніпровського індустріального регіону трансформації рельєфу мають масштабний характер і безпосередньо супроводжуються активізацією небезпечних геоморфологічних процесів (Рудько & Суматохіна, 2008; Регіональна доповідь..., 2022; Линник, 2023). Їх прояви мають чітко виражену просторову специфіку, що визначається поєднанням природних умов і типу господарського освоєння території.

У межах Кривого Рогу сформовано один із найбільш трансформованих техногенних рельєфів, що є наслідком тривалої гірничодобувної діяльності. Частка порушених територій перевищує 30% площі міста, а площа відвалів і хвостосховищ становить від 15 до 20 тис. га. Глибина кар'єрів досягає 200–300 м, висота відвалів – 45–100 м, що формує різко контрастний рельєф із високим рівнем морфодинамічної напруженості. У цих умовах до 25–30% схилів перебувають у нестійкому стані, що зумовлює розвитку зсувних, обвальних і ерозійних процесів. Додатково фіксуються просідання поверхні в зонах підземних виробок з амплітудою до 1,0–1,5 м. Наслідками є деформація інфраструктури, порушення транспортних зв'язків і формування зон високого геоморфологічного ризику.

У м. Дніпро трансформації рельєфу пов'язані з поєднанням природної морфоструктури долини великої річки та інтенсивної урбанізації. У правобережній частині міста площа

зсувонебезпечних територій становить 15–20%, при цьому ідентифіковано понад 100 зсувних ділянок. Підтоплення охоплює 10–15% території, а локально – до 20–25%, при рівні ґрунтових вод 1–3 м від поверхні. У таких умовах відбувається активізація повільних зсувних деформацій і суфозійних процесів, що призводить до пошкодження забудови та інженерних мереж.

Для Кам'янського характерним є домінування процесів, пов'язаних із порушенням гідрогеологічного режиму. Площа підтоплених територій становить 20–30%, а рівень ґрунтових вод залягає на глибині 0,5–2,0 м. Це спричиняє розвиток просадкових деформацій амплітудою 5–15 см, локально – до 20 см, а також формування суфозійних порушень і локальних зсувів. Наслідками є масові деформації будівель, підтоплення підземних приміщень і руйнування дорожнього покриття.

Узагальнення результатів показує, що частка територій із підвищеним рівнем геоморфологічного ризику в досліджуваних містах становить до 15% і більше. Найбільш небезпечні процеси приурочені до зон техногенного рельєфу та порушеного водного режиму. Простежується чітка залежність між ступенем трансформації рельєфу та інтенсивністю розвитку небезпечних процесів. Таким чином, у межах урбосистем індустріального регіону формується складна багатокомпонентна система геоморфологічних ризиків, яка має чітко виражену просторову структуру та безпосередньо впливає на функціонування міського середовища. Отримані результати підтверджують визначальну роль трансформацій рельєфу у формуванні небезпечних процесів і обґрунтовують необхідність їх урахування в системі управління сталим розвитком територій.

Трансформації рельєфу безпосередньо впливають на формування та активізацію небезпечних геоморфологічних процесів. Порушення природної рівноваги геосистем призводить до підвищення інтенсивності зсувів, розвитку підтоплення, утворення провалів і деформацій поверхні. Особливо небезпечними є території з високим техногенним навантаженням, де поєднуються кілька факторів ризику: нестійкі схили, порушений гідрогеологічний режим, значні антропогенні зміни рельєфу. У таких умовах навіть незначні природні впливи можуть призвести до активізації небезпечних процесів. У цілому урбогеоморфологічні трансформації виступають ключовим чинником формування сучасних геоморфологічних ризиків, що потребує їх урахування при плануванні територій та розробленні стратегій сталого розвитку урбосистем.

4. ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що урбогеоморфологічні трансформації рельєфу є визначальним чинником формування сучасного стану урбосистем індустріального регіону та безпосередньо впливають на розвиток небезпечних геоморфологічних процесів і пов'язаних із ними ризиків. Виявлено, що в умовах урбанізації рельєф функціонує як природно-техногенна система, у якій антропогенний фактор відіграє домінуючу роль. Це проявляється у зміні морфометричних характеристик поверхні, порушенні геологічного та гідрогеологічного середовища, а також формуванні нових техногенних форм рельєфу.

Характерною особливістю є прискорений перебіг геоморфологічних процесів, що зумовлює підвищення динамічної нестійкості геосистем. Обґрунтовано, що урбогеоморфологічні трансформації реалізуються через взаємодію кількох основних типів: техногенного переформування, планувальних змін, гідрогеологічної трансформації та індукованої активізації екзогенних процесів. Їх поєднання формує складні морфодинамічні системи з високим рівнем нестійкості та просторовою неоднорідністю. Встановлено, що просторово-структурна організація трансформованого рельєфу має мозаїчний характер і включає зони техногенного, трансформованого природного та гідрогеологічно порушеного рельєфу. Саме ці зони виступають осередками концентрації небезпечних геоморфологічних

В. Грушка, І. Суматохіна, О. Сизенко

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону Придніпров'я у контексті сталого розвитку

процесів і визначають просторову диференціацію ризиків у межах урбосистем. На прикладі міст індустріального регіону (Кривий Ріг, Дніпро, Кам'янське) доведено, що інтенсивність і характер трансформацій рельєфу безпосередньо корелюють із типами та масштабами небезпечних процесів. Для Кривого Рогу характерне домінування техногенних форм рельєфу та пов'язаних із ними гравітаційних процесів; у Дніпрі переважають зсувні та гідрогеологічні процеси, приурочені до правобережної частини; у Кам'янському ключову роль відіграє підтоплення та пов'язані з ним просадкові явища. Частина територій із підвищеним рівнем геоморфологічного ризику в межах досліджуваних міст є значною та формує потенційну загрозу для функціонування урбанізованого середовища.

Узагальнення отриманих результатів дозволило встановити тісний причинно-наслідковий зв'язок між типами трансформації рельєфу, розвитком небезпечних процесів і формуванням геоморфологічних ризиків. Це створює підґрунтя для їх просторового прогнозування та оцінки в системі управління міськими територіями. Практичне значення дослідження полягає у можливості використання отриманих результатів для обґрунтування заходів щодо зниження геоморфологічних ризиків, оптимізації використання трансформованих територій та впровадження принципів сталого розвитку в урбосистемах. Зокрема, перспективними є напрями адаптивного використання техногенних форм рельєфу, удосконалення систем дренажу та моніторингу небезпечних процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Байрак, Г.Р., & Ковальчук, І.П. (2025). Концептуальні моделі геоморфогенезу: ретроспектива та сучасні тенденції. *Український географічний журнал*, (2), 26–34. [Bairak, H. R., & Kovalchuk, I. P. (2025). Kontseptualni modeli heomorfohenezu: retrospektyva ta suchasni tendentsii. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*, (2), 26–34.] <https://doi.org/10.15407/ugz2025.02.026>
2. Васютинська, К.А., & Барбашев, С.В. (2021). Оцінка впливу урбанізації на розвиток карстових процесів в Україні. *Геохімія техногенезу*, (33), 34–45. [Vasiutynska, K. A., & Barbashev, S. V. (2021). Otsinka vplyvu urbanizatsii na rozvytok karstovykh protsesiv v Ukraini. *Neokhimiia tekhnogenezu*, (33), 34–45.]
3. Ковальчук, І. (2004). Екологічна геоморфологія та екологічна географія: поступ, проблеми, перспективи. Теоретичні та методичні засади екологічної географії. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка*, (2), 1–10. [Kovalchuk, I. (2004). Ekolohichna heomorfolohiia ta ekolohichna heohrafiia: postup, problemy, perspektyvy. *Teoretychni ta metodychni zasady ekolohichnoi heohrafi. Naukovi zapysky TNPU im. V. Hnatiuka*, (2), 1–10.] <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/25594/1/Kovalchuk.pdf>
4. Ковальчук, І.П. (2007). *Регіональний аналіз геоморфологічних систем*. Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. [Kovalchuk, I. P. (2007). *Rehionalnyi analiz heomorfolohichnykh system*. Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka.]
5. Линник, І. (2023). Зсувні процеси в місті Дніпро та Дніпропетровській області. *Просторовий розвиток*, (5), 155–164. [Lynnyk, I. (2023). Zsuvni protsesy v misti Dnipro ta Dnipropetrovskii oblasti. *Prostorovy rozvytok*, (5), 155–164.] <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.155-164>
6. Мокрицька, Т.П. (2017). Геодинамічний ризик урбанізованих територій: умови формування та критерії оцінки. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Геологія. Географія. Екологія*, (47), 34–41. [Mokrytska, T. P. (2017). Heodynamichnyi ryzyk urbanizovanykh terytorii: umovy formuvannia ta kryterii otsinky. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Serii: Neolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia*, (47), 34–41.]
7. *Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2021 рік*. (2022). Дніпро. [Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Dnipropetrovskii oblasti za 2021 rik. (2022). Dnipro.]
8. Рудько, Г.І., & Суматохіна, І.М. (2008). *Стан ресурсів надр як чинник формування та розвитку міст і промислово-міських агломерацій*. Маклауд. [Rudko, H. I., & Sumatokhina, I. M. (2008). *Stan resursiv nadr yak chynnyk formuvannia ta rozvytku mist i promyslovo-miskykh ahlomeratsii*. Maklaud.]
9. Сизенко, О.В. (2023). Порівняльний аналіз автоматичних патернових морфометричних класифікацій форм рельєфу на основі цифрових моделей висот. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Географічні науки*, (18), 59–67. [Syzenko, O. V. (2023). Porivnialnyi analiz avtomatychnykh paternovykh morfometrychnykh klasyfikatsii form reliefu na osnovi tsyfrovyykh modelei

В. Грушка, І. Суматохіна, О. Сизенко

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону Придніпров'я у контексті сталого розвитку

- vysot. Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Serii: Neohrafichni nauky, (18), 59–67.] <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2023-18-7>
10. **Стецюк, В.В., & Ковальчук, І.П.** (2005). *Основи геоморфології*. Вища школа. [Stetsiuk, V. V., & Kovalchuk, I. P. (2005). *Osnovy heomorfologii*. Vyshcha shkola.]
 11. **Allen, C.D., & Thornbush, M.J.** (1976). Urban geomorphology: Landforms and processes in cities. *The Geographical Journal*, 142(1), 59–65.
 12. **Cooke, R.U., Brunsden, D., Doornkamp, J.C., & Jones, D.K.C.** (1982). *Urban geomorphology in drylands*. Oxford University Press..
 13. **Gupta, A., & Ahmad, R.** (1999). Geomorphology and the urban tropics: Building an interface between research and usage. *Geomorphology*, 31(1–4), 133–149. [https://doi.org/10.1016/s0169-555x\(99\)00076-8](https://doi.org/10.1016/s0169-555x(99)00076-8).
 14. **Pica, A., Zumpano, V., Di Martire, D., et al.** (2024). Urban geomorphology methods and applications as a guideline for understanding the city environment. *Land*, 13(7), Article 907. <https://doi.org/10.3390/land13070907>.
 15. **Reynard, E., & Brilha, J.** (2017). *Geoheritage: Assessment, protection, and management*. Elsevier..
 16. **Sharifi, A.** (2021). Urban sustainability assessment: An overview and bibliometric analysis. *Ecological Indicators*, 121, Article 107102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107102>.
 17. **Sharifi, S., Moghimi, I., & Yamani, M.** (2023). *Geomorphological hazards in urban development*..
 18. **Slaymaker, O., Spencer, T., & Embleton-Hamann, C.** (2009). *Geomorphology and global environmental change*. Cambridge University Press..
 19. **Szabó, J.** (2010). *Anthropogenic geomorphology: A guide to man-made landforms*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3058-0>.
 20. **Tsaryk, L.P., Tsaryk, P.L., & Kuzyk, I.R.** (2022). Geocological contradictions in the functioning of urban ecosystems (on the example of Ternopil). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 31(1), 142–150. <https://doi.org/10.15421/112237>
 21. **Yamazaki, D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, J., Sampson, C., Kanae, S., & Bates, P.D.** (2017). A high-accuracy map of global terrain elevations. *Geophysical Research Letters*, 44(11), 5844–5853. <https://doi.org/10.1002/2017gl072874>.

Viktor Hrushka, Iryna Sumatokhina, Oleh Syzenko

Oles Honchar Dnipro National University,

Geomorphological Risks of Urban Systems in The Industrial and Urbanized Prydniprov'ia Region in The Context of Sustainable Development

Keywords: urban geomorphology, relief transformation, geomorphological risks, urban systems, sustainable development

Abstract: The modern stage of urban system development is characterized by the intensive transformation of the natural environment, which is especially manifested in the alteration of relief morphology under the influence of technogenic activities. In industrial regions such as Prydniprov'ia, urbanization, mining, engineering development, and the disturbance of hydrogeological conditions cause the severe activation of dangerous geomorphological processes, including landslides, flooding, and subsidence.

The relevance of this study is driven by the urgent need for a comprehensive understanding of how these profound relief modifications impact the safety of the urban environment and its infrastructure. The main idea of this article is to substantiate that urban geomorphological transformations act as the primary trigger in the formation of geomorphological risks, and to demonstrate the necessity of integrating these risk assessments into the spatial planning and sustainable development strategies of industrial urban systems. Despite a significant number of studies in the field of urban geomorphology, the comprehensive analysis of risks associated with relief transformations remains insufficiently developed, particularly concerning the creation of adaptive scenarios for urban development. This research addresses this gap by conducting a multi-level assessment of the Prydniprov'ia region, encompassing the cities of Kryvyi Rih, Dnipro, and Kamianske. The methodological basis of the study combines classical geomorphological approaches with modern geographic information systems

В. Грушка, І. Суматохіна, О. Сизенко

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону Придніпров'я у контексті сталого розвитку

technologies. High-precision digital elevation models were utilized for automated morphometric analysis, specifically calculating surface slope angles and aspect using the Zevenbergen-Thorne method.

This was supplemented by satellite imagery interpretation, geological maps, and statistical data on hazardous processes. The spatial analysis revealed a complex mosaic structure of the transformed relief, directly correlating with zones of increased geomorphological hazard. While the majority of the territory consists of gentle slopes typical of the Dnieper Upland, areas with slopes exceeding 10-15 degrees form distinct linear and local anomalies critical for risk assessment. Furthermore, the analysis of slope aspects indicated a vulnerability on southern exposures due to intense physical weathering and temperature fluctuations, degrading the structural integrity of loess deposits and provoking suffosion. Northern exposures, retaining higher moisture, demonstrated an increased propensity for landslides, especially in the densely built private sectors of Dnipro's right bank.

The study categorizes urban geomorphological transformations into four main types: technogenic reshaping, planning transformations, hydrogeological changes, and the induced activation of exogenous processes. Technogenic reshaping is predominantly observed in Kryvyi Rih, where mining activities have disturbed over 30 percent of the city's area, creating quarries up to 300 meters deep and dumps 100 meters high, leading to high morphodynamic stress and severe landslide and erosion risks. Planning transformations and hydrogeological changes dominate in Dnipro and Kamianske. In Dnipro, flooding affects 10-15 percent of the territory, exacerbating slow landslide deformations. In Kamianske, altered hydrogeological regimes with groundwater tables at 0.5-2.0 meters cover up to 30 percent of the area, triggering massive subsidence and suffosion. The results quantitatively confirm that the proportion of transformed territories within these large industrial cities reaches 30-50 percent. These areas act as nuclei of geomorphological instability. It is established that under conditions of intense urbanization, relief functions as a natural-technogenic system where anthropogenic factors completely override natural morphodynamics. The intensity and character of these transformations directly determine the scale of hazardous processes. The practical significance of this study lies in its provision of an evidence-based framework for risk minimization, offering spatial forecasting tools essential for municipal governance, optimizing the use of transformed lands, and implementing sustainable development principles in heavily industrialized urban environments.

Дата першого надходження статті до видання: 15.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 25.05.2026

В. Грушка, І. Суматохіна, О. Сизенко

Геоморфологічні ризики урбосистем індустріально-урбанізованого регіону Придніпров'я у контексті сталого розвитку