

https://doi.org/10.15407/_
УДК 504.5.06+911.375

Васютинська К.А., Барбашев С.В.

Васютинська К. А., к.х.н., зав.кафедри, Державний університет «Одеська політехніка» ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9800-1033>,
e.a.vasutinskaya@op.edu.ua, ekaterina.vasutinskaya@gmail.com

Барбашев С. В., д.т.н., проф. Державний університет «Одеська політехніка», ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5446-153X>,
barbashev@op.edu.ua, josik65@gmail.com

ОЦІНКА ВПЛИВУ ФАКТОРІВ УРБАНІЗАЦІЇ НА НЕБЕЗПЕКУ АКТИВІЗАЦІЇ КАРСТОВИХ ПРОЦЕСІВ У РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

Статтю присвячено проведенню аналізу небезпек виникнення екзогенних геологічних процесів, а саме карстових, в умовах урбанізаційних процесів. Показано, що масштаби геоecологічних проблем прямо чи опосередковано визначаються масштабами урбанізації. Актуальність роботи пов'язана із вивченням характеру змін поширення карстових порід у регіонах різного рівня урбанізації за період 2001 – 2020 рр. Основна мета – аналіз небезпек розвитку карсту у взаємозв'язку з факторами урбанізаційних процесів у регіонах України на основі індикаторного методу. Визначено особливості впливу урбанізованих територій на ініціювання стихійних лих і загроз геологічного характеру. Урбогенне навантаження регіонів оцінювалось із застосуванням визначених та розрахованих раніше індикаторів екологічної та еколого-демографічної урбанізації. Проведено оцінювання залежності показника небезпеки поширення карстових порід та індикатора екологічної урбанізації в регіональному розрізі. Показано, що в третині областей зростаючі рівні небезпек карстових процесів практично збігаються з ростом ступеня екологічної урбанізації. Відзначено зростання майже вдвічі площ порід, здатних до карстування, протягом 2001 – 2020 років в усіх адміністративних областях. Розраховано коефіцієнт розширення карстових територій за означений період. Виділено чотири групи областей за природом карстових площ у порівнянні з небезпеками карстових процесів і індексом еколого-демографічної урбанізації. Відзначено розширення площ відкритого карсту в Закарпатській, Одеській, Рівненській, Херсонській, Чернівецькій областях. Для цієї групи регіонів встановлено тенденцію збільшення площ відкритого карсту відповідно до зростання значень показників урбанізації. Це пояснюється експлуатацією природних територіальних ресурсів, зміною характеру землекористування, збіднінням рослинного покриву, техногенними навантаженнями на ґрунт та порушеннями рівноваги взаємодії поверхневих і підземних вод на урбанізованих територіях. Таким чином, різні за урбогенним навантаженням регіони України диференційовані залежно від територіального показника небезпеки карстоутворення, а також динаміки змін площ активізації карсту.

Ключові слова: урбанізація, екзогенний геологічний процес, карст, поверхневий карст, вплив міського середовища, індикатор.

Вступ. Урбанізація є невід'ємною рисою сучасної цивілізації, способом пристосування людини до умов науково-технічного прогресу. Поєднання процесів техногенезу та урбанізації в Україні призвели до екстремально нерівномірного розселення 70 % міського населення на площах, що займають близько 3% території країни (19 тис. км²) [1]. Концентрування соціального та індустріально-економічного розвитку в містах одночасно призвело до руйнівних змін довкілля на урбанізованих територіях та підвищення ризиків сполучення природних лих та техногенних аварій. Комплексні антропогенно-техногенні фактори здійснюють деструктивний вплив насамперед на геологічний фундамент урбогенних ландшафтів та ініціюють небезпечні екзогенні геологічні процеси (НЕГП), такі як зсуви, селі, карст, підтоплення та інші. Сьогодні 25 % населення світу живе в районах активізації карстових процесів [2], які проявляються не тільки у формі карстових воронок чи провалів у ґрунтах. З карстом, наприклад, асоційовані підтоплення у випадках висо-

кого залягання водоносних горизонтів, або зсуви, що відбуваються на схилах, ослаблених карстифікацією. Небезпеки, пов'язані з карстовими процесами, швидко зростають і поширюються на міські райони [3], особливо, якщо вони розвивалися без належного планування з урахуванням гідрогеологічних особливостей забудованих територій.

В Україні дослідження небезпечних геодинамічних процесів є актуальними для значної частини її території. На даний час вивчено небезпеки екзогенних геологічних процесів (ЕГП) у зв'язку з функціонуванням транспортних об'єктів, магістральних газопроводів та ліній електропередачі, ризики ініціації НЕГП під впливом кліматичних факторів [4]. Широко представлені дослідження щодо виявлення небезпек геологічного характеру в окремих регіонах країни, наприклад, Дніпропетровській [5], Львівській [6], Харківській областях [7]. Фундаментальні дослідження із застосуванням критеріального аналізу природних і

техногенних факторів НЕГП наведено в роботі [8] на прикладі Карпатського регіону.

Зауважимо, що практично в усіх дослідженнях відзначається значний внесок техногенних впливів на активізацію геологічних небезпек. Однак причинно-наслідкові зв'язки між певним рівнем урбогенного навантаження на територію регіонів України і динамікою небезпек геологічного характеру, в тому числі карсту, вивчені недостатньо. У даному контексті актуально простежити особливості змін поширення територій карстових процесів у регіонах різного рівня урбанізації за останні десятиріччя. Мета роботи полягала в проведенні аналізу небезпек розвитку карсту у взаємозв'язку з факторами урбанізаційних процесів у регіонах України на основі індикаторного методу. Новизна роботи обумовлена проведенням диференціації адміністративних областей за показниками карстової небезпеки відповідно до показників екологічної урбанізації.

Методологія дослідження. У роботі використано методи статистичного та графічно-аналітичного аналізу. Регіональні показники активізації НЕГП, за даними моніторингу, були отримані з масиву даних щорічників ДНВП «Геоінформ» за період 2010 – 2021 роки [9]. Аналогічні дані за 2001 рік – з джерела [10]. Графічний аналіз виконувався із застосуванням програмного забезпечення MS Office Excel. Усі показники були розраховані і нормалізовані за алгоритмом, який було використано авторами в роботі [11].

Індикаторний метод застосовувався для оцінки впливу рівня урбанізації адміністративних областей на поширення карстових процесів. Складні і багатфакторні аспекти урбанізації автори структурували в попередніх дослідженнях [12]. Серед них екологічна урбанізація, яка визначає характер і інтенсивність використання територіальних, матеріальних, сировинних природних ресурсів. Саме екологічна складова встановлює межі стійкості природних систем під тиском урбогенно-техногенних впливів. Індикатор екологічної урбанізації ($I_{ec.urb}$) для регіонів України був розрахований як лінійна комбінація двох нормалізованих показників – щільності міського населення та долі сумарної площі міських населених пунктів від загальної території області [12]. Останній показник асоційований з площею непроникної поверхні урбанізованої території, що встановлює його зв'язок із небезпечними геологічними процесами.

Для обліку демографічної складової урбанізації і системи розселення населення застосовано показник реальної урбанізації ($I_{реальн.урб}$), розрахований як середньо геометричне значення чотирьох показників: рівня урбанізації регіону, частки міських поселень від загального числа населених пунктів, частки міст з населенням понад 50 тис., частки міст у загальній кількості міських населених пунктів [13]. Комплексний

індекс еколого-демографічної урбанізації (I_{edu}) розраховувався як лінійна комбінація показників ($I_{ec.urb}$) і ($I_{реальн.урб}$) [12, 13]. У роботі для коректного порівняльного аналізу використовувалися нормалізовані відповідно до алгоритму [11] значення індикатора екологічної урбанізації ($I_{ec.urb}$) $_n$ і комплексного індексу еколого-демографічної урбанізації (I_{edu}) $_n$.

Особливості екзогенних геологічних процесів на урбанізованих територіях. Міські агломерації з прилеглими територіями у зоні їх екологічного впливу складають єдиний природно-територіальний комплекс, для якого характерне синергетичне накладення антропогенно-техногенних впливів на розвиток негативних природних процесів. Скорочення природних екосистем на великих територіях розташування міських агломерацій, вирубка лісів, осушення боліт, зміни характеру землекористування та порушення рівноваги взаємодії поверхневих і підземних вод призводять до стихійних лих різного типу. Різке збільшення площі непроникної поверхні ініціює і підсилює наслідки надзвичайних ситуацій геологічного характеру, таких як підтоплення, карст, осідання ґрунтів, провали та інші. Розвиток несприятливих екзогенних геологічних процесів активізується кліматичними змінами урбогенних зон, значними емісіями парникових газів внаслідок «дихання» міст і утворенням «островів спеки», порушенням вологозабезпечення ґрунтів.

Міста виступають осередками деградації літогенної основи природних ландшафтів. Знищення зеленого покриву, розміщення твердих і рідких відходів, численні аварії підземних комунікацій, втрати з них великих кількостей води і тепла, концентровані механічні навантаження на ґрунт, ущільнення та герметизація його поверхні ініціюють екзогенні процеси літосферної групи. Зміни рельєфу, геохімічного складу ґрунтів, гідрологічного режиму, глибинних геологічних структур і механічних властивостей порід за своїм масштабом виходять далеко за межі міст і міських агломерацій. Попередні дослідження авторів цієї статті [11–13] показали, що ланцюг негативних явищ і процесів зруйнованого довкілля за механізмом зворотних позитивних зв'язків призводить до збільшення потенціалу небезпек на урбогенних територіях регіонів.

За даними щорічного моніторингу Державної служби геології та надр України [9], природні передумови розвитку НЕГП істотно ускладнені техногенними факторами активної господарської діяльності. Карст, підтоплення, зсуви, абразія та руйнування схилів річкових долин охоплюють більшу частину території України і активізовані на значних площах міських забудов. Ці процеси руйнівні впливають на будівлі житлового, промислового та адміністративного фонду, дороги, каналізаційні, транспортні, енергетичні системи. Активізація геологічних небезпек призво-

дить не тільки до матеріальних втрат міської інфраструктури, а й до збитку навколишньому природному середовищу, підвищення ризиків для безпеки життєдіяльності (БЖД) міського населення.

Оцінювання залежності між показниками поширення карстових порід і індикатором екологічної урбанізації в регіонах України. В геологічному середовищі України значно поширені карстові породи, що займають 448,16 тис. км² [9] або 74,2 % її території. Всього налічується близько 22 тисяч карстових форм відкритого, покритого і перекритого типів. Особливо небезпечні карсти відкритого (11,28 тис. км²) і покритого типів (87,68 тис. км²), які найбільш уразливі по відношенню до техногенного впливу, зокрема, гірничорудних робіт, видобутку різних видів мінеральної сировини відкритим способом. Незважаючи на те, що активний карстовий процес створює серйозні господарські проблеми, переважно в Донецькій, Івано-Франківській, Львівській, Закарпатській областях [9], він представляє потенційну небезпеку для всіх регіонів країни, особливо в умовах урбогенного освоєння територій, руйнування природних і створення антропогенних ландшафтів.

Автори статті визначають територіальний показник небезпеки карстоутворення (R_{karst}) як частку території, охопленої карстовими породами різних типів, від усієї площі регіону. Розрахований таким чином коефіцієнт просторового ураження території в

нормалізованому вигляді (R_{karst})ⁿ визначає потенціал максимально можливого ризику прояву карстових процесів у межах певної області.

Результати аналізу регіональних показників небезпеки карстоутворення (R_{karst})ⁿ у порівнянні з індикатором ($I_{ec.urb}$)ⁿ (рис. 1) показують, що приблизно в третині областей (Житомирська, Кіровоградська, Закарпатська, Черкаська, Вінницька, Дніпропетровська, Київська) зростаючі рівні небезпек карстових процесів практично збігаються з ростом ступеня екологічної урбанізації. У цих областях частка карстових ландшафтів змінюється від 1,8 до 65,5 %, що відповідає зміні показника (R_{karst})ⁿ від 0 до 0,645. Лінія тренду дозволяє визначити наявність кореляції між показниками геологічної небезпеки і урбанізації в разі низьких і середніх значень охоплення площ регіонів карстовими породами.

Області з більш високим ступенем ураження території карстовими породами знаходяться на різних рівнях урбанізації. За таких умов можна припустити більш високу ймовірність впливу урбогенних чинників на частоту карстопроявів для восьми областей – Дніпропетровської, Київської, Івано-Франківської, Хмельницької, Донецької, Луганської, Харківської, Волинської. Для цієї регіональної групи високі значення індикатора екологічної урбанізації ($I_{ec.urb}$)ⁿ (в інтервалі від 0.47 до 1.0) зумовлюють ризики урбогенної ініціації карстових проявів.

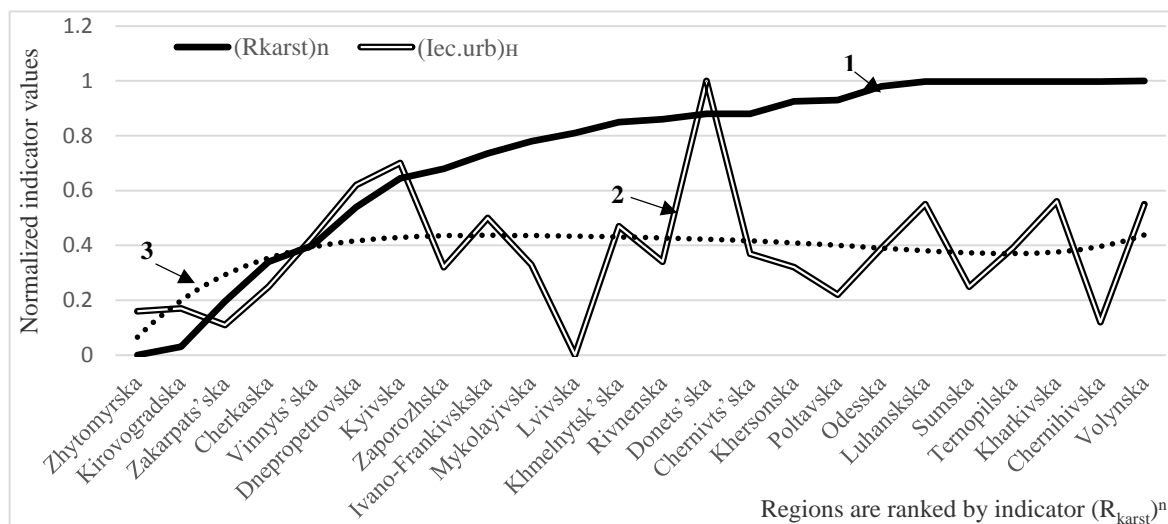


Рис. 1. Співвідношення показників небезпек карстових процесів та рівнів урбогенного навантаження в регіонах України: 1 – показник (R_{karst})ⁿ; 2 – показник ($I_{ec.urb}$)ⁿ; 3 – поліноміальна лінія тренду показника ($I_{ec.urb}$)ⁿ

Fig. 1. Correlation of indicators of karst hazards and levels of urbanogenic load in the Ukraine's regions: 1 – indicator (R_{karst})ⁿ; 2 – indicator ($I_{ec.urb}$)ⁿ; 3 – polynomial trend line of the indicator ($I_{ec.urb}$)ⁿ

Проведення інженерно-геологічних робіт у межах зазначених областей, будівництво нових об'єктів технічної діяльності вимагають застосування ефективних методів прогнозування небезпечних геологічних процесів, жорсткого нормування рівня техногенного на-

вантаження на карст-небезпечних територіях, встановлення меж для зміни характеру землекористування.

Динаміка геопросторового поширення карстового процесу за період 2001 – 2020 роки. Динамічний урбанізаційний процес включає глибинні зміни літосферної основи як урбогенних, так і природних

ландшафтів. Для оцінювання геологічних небезпек природно-технічних систем, що формуються, необхідно вивчати розвиток процесів карсту в динаміці.

Авторами статті проведено аналіз змін карст-небезпечних територій з 2001 [10] по 2020 [9] роки. За цей період площі порід, здатних до карстування, зросли в усіх адміністративних областях з 227,7 тис. км² до 448,16 тис. км². Найбільше розширення таких територій, ΔS_{karst} , можна відзначити в Одеській ($\Delta S_{\text{karst}} = 27,35$ тис. км²), Полтавській ($\Delta S_{\text{karst}} = 26,51$ тис. км²), Харківській ($\Delta S_{\text{karst}} = 20,54$ тис. км²), Київській ($\Delta S_{\text{karst}} = 18,80$ тис. км²) областях. Ми вважаємо, що ці зміни необхідно співвідносити з відмінностями в розмірах загальних площ регіонів. Тому в роботі розраховувався коефіцієнт розширення карстових територій ($\Delta S_{\text{k.ter}}$) як частка ΔS_{karst} від площі регіону. Розраховані значення ($\Delta S_{\text{k.ter}}$) були нормалізовані [11], і отриманий

показник $(\Delta S_{\text{k.ter}})^n$ було використано для проведення порівняльного аналізу.

Діаграма на рис. 2 показує ранг областей України за приростом площ карстоутворення в порівнянні з представленими вище небезпеками карстових процесів і чинником урбанізації, а саме індексом еколого-демографічної урбанізації [13]. Такий індекс враховує характер розселення міського населення і наявність великих міст із високою концентрацією жителів. Окрім того, демографічні параметри безпосередньо пов'язані з уразливістю карстових водоносних горизонтів, для яких притаманне переважання підземного дренажу, по відношенню до забруднень різної природи. Організація поверхневого стоку, потужність водогінних мереж, очисна здатність і належний технічний стан каналізаційних споруд складають важливі чинники, що контролюють стан карстових порід.

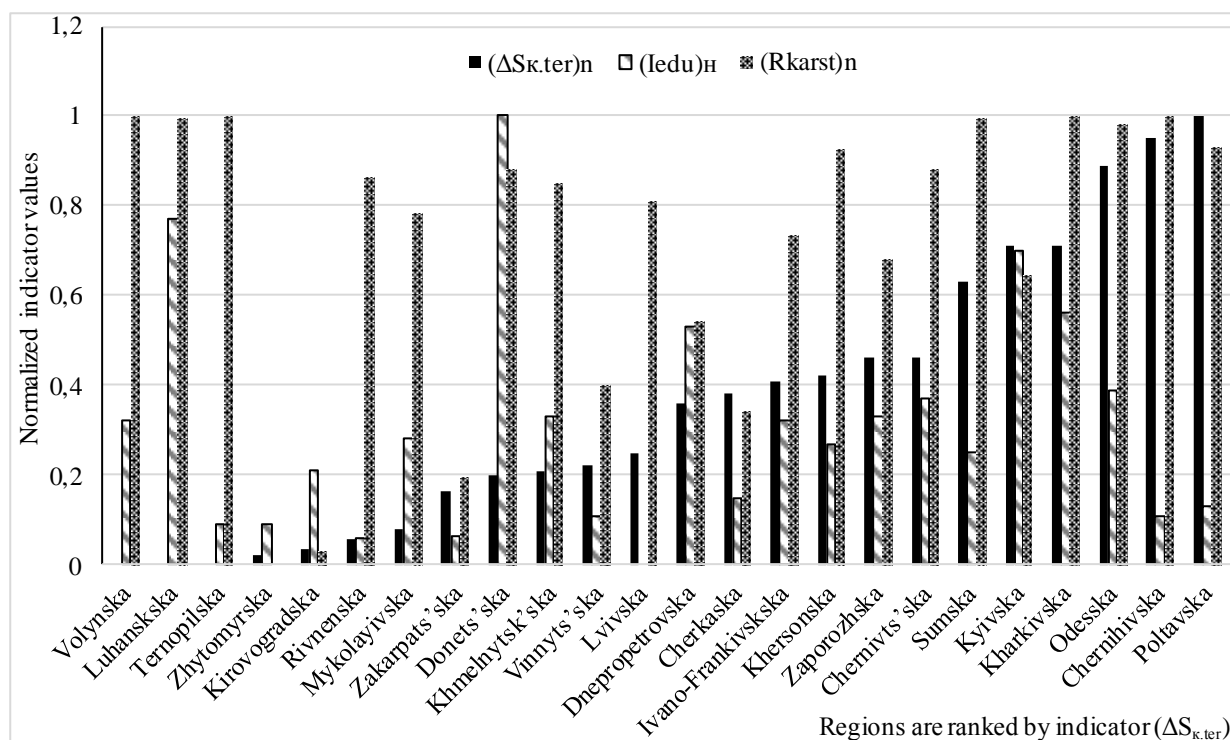


Рис. 2. Ранжування різних за урбогенним навантаженням регіонів України за коефіцієнтом збільшення площ карстових порід за період 2001 – 2020 роки у співвідношенні з показником небезпеки карстових процесів

Fig. 2. Ranking of Ukraine's regions with different urbogenic load by the coefficient of the karst area increase for the period 2001 – 2020 in relation to the indicators of karst hazards

За характером співвідношення трьох показників – $(\Delta S_{\text{k.ter}})^n$, $(R_{\text{karst}})^n$, $(I_{\text{edu}})^n$ можна виділити кілька груп областей. До I групи належать Волинська, Луганська, Тернопільська, Рівненська та Миколаївська області, для яких породи, здатні до карстування, займають практично всю територію регіону. До цієї ж групи можна віднести Хмельницьку ($(\Delta S_{\text{k.ter}})^n = 0,21$; $(R_{\text{karst}})^n = 0,85$), Львівську ($(\Delta S_{\text{k.ter}})^n = 0,25$; $(R_{\text{karst}})^n = 0,81$) та Донецьку ($(\Delta S_{\text{k.ter}})^n = 0,20$; $(R_{\text{karst}})^n = 0,88$) області. Максимальні рівні небезпек, обумовлені природними

або техногенними чинниками, були підтверджені даними геологічного моніторингу на початок розглянутого періоду. Вони мало змінилися за 20 років, а площі прояву відкритого карсту або відсутні, або скоротилися. Але достатній рівень еколого-демографічної урбанізації в Миколаївській ($(I_{\text{edu}})^n = 0,28$), Волинській ($(I_{\text{edu}})^n = 0,32$), Хмельницькій ($(I_{\text{edu}})^n = 0,33$), високий – в Луганській ($(I_{\text{edu}})^n = 0,77$) і особливо Донецькій ($(I_{\text{edu}})^n = 1$) областях робить необхідними проведення досконального моніторингу, діагностування та

прогнозування поверхневих карстових процесів під впливом урбогенно-техногенних факторів.

До другої групи належать Житомирська, Кіровоградська, Закарпатська, Вінницька області з рівнями небезпек карстофікації нижчими за середній $((R_{\text{карст}})^n < 0,4)$ на фоні незначних змін карстових територій, $(\Delta S_{\text{к.тер}})^n < 0,2$. До цієї групи можна віднести також Черкаську область із близькими значеннями параметрів $(R_{\text{карст}})^n$ і $(\Delta S_{\text{к.тер}})^n$, що дорівнюють $\approx 0,4$. Загальним для областей цієї групи є низький рівень еколого-демографічної урбанізації. Мінімальний рівень карстової небезпеки також поєднується з відсутніми (Житомирська, Кіровоградська, Черкаська області), незначними (Закарпатська область, 0,001 тис. км²) або такими, що скорочуються (Вінницька область, з 3,67 тис. км² у 2001 [10] до 1,56 тис. км² у 2020 [9]) площами відкритого карсту.

Групу III становлять області, в яких моніторингові дані дозволили визначити середній рівень зміни площ карстових проявів $((\Delta S_{\text{к.тер}})^n \approx 0,4 \div 0,6)$ і досить високий рівень небезпеки карстових процесів. До цієї групи входять Івано-Франківська, Херсонська, Запорізька, Чернівецька, Сумська області. Попри всю різноманітність гідрогеологічних умов і типів ландшафту області досить однорідні за рівнем екологічного та демографічного навантаження. Значення $(I_{\text{edu}})^n$ в них коливаються в межах $0,2 \div 0,33$. Можна припустити, що загальним для регіонів фактором активізації карстопоявів може виступати зміна характеру землекористування. Такий чинник пов'язаний зі змінами рівнів залягання, потужності і ступеня забрудненості ґрунтових вод, а також водопроникності порід, що складають водоносні горизонти. Він впливає на стійкість товщі покритих карстових порід, збільшення їх активної пористості, спричиняє зниження щільності ґрунтів. Слід зазначити, що українськими вченими [8, 14] розроблено алгоритм прогнозування проявів поверхневого карсту і створено геоінформаційну систему для Івано-Франківської області. Ці розробки доцільно поширити і в інших регіонах.

IV групу становлять Київська, Харківська, Одеська, Чернігівська, Полтавська області з максимально високими рівнями карстової небезпеки та значним збільшенням карстових територій. Високе урбогенне навантаження $((I_{\text{edu}})^n > 0,4)$ різко відрізняє перші три від Чернігівської $((I_{\text{edu}})^n = 0,07)$ і Полтавської $((I_{\text{edu}})^n = 0,13)$ областей. Очевидно, що значимість урбогенних і природних факторів у контролюванні карстових процесів у цих регіонах буде відрізнятися. Вищенаведене свідчить про доцільність оцінювання та управління

ризиками несприятливих екзогенних процесів на основі критеріального аналізу сукупності факторів різного генезису.

Відзначимо, що збільшення площ **природно-техногенної активізації карсту** відноситься переважно до покритих і перекритих типів. Карст-прояви охоплюють 37,75 % площ порід, здатних до карстування, і активного розвитку не мають. Однак в умовах постійного і зростаючого тиску урбанізованих територій на літосферу є актуальним оцінювання небезпеки розвитку як відкритого, так і покритого карсту. Наслідками прихованих процесів, що відбуваються у верхніх шарах порід, можуть стати осідання, обвалення, провали ґрунтів як в межах міських забудов, так і на всій території урбогенного впливу.

Для переважної більшості регіонів площі провальних-просадкових проявів відкритого карсту зменшились з 19,3 до 11,281 тис. км². Тільки в Закарпатській, Одеській, Рівненській, Херсонській, Чернівецькій областях відзначається протилежна тенденція. Гістограма показників збільшення площ відкритого карсту $(\Delta S_{\text{к.сurr}})$ у порівнянні з індикатором екологічної урбанізації цих областей (рис. 3) виявляє взаємозв'язок між цими показниками.

Окрім Закарпатської, інші чотири області характеризуються високими значеннями індикатора екологічної урбанізації $(I_{\text{ec.urb}})^n$. Це означає, що значна частина території регіонів зайнята міськими населеними пунктами з високою щільністю населення. Лінія тренду показника екологічної урбанізації збігається зі збільшенням площ відкритого карсту в регіонах. Очевидно, що активна експлуатація природних ресурсів карстового простору, зокрема, води, земель, будівельних матеріалів, деградація рослинного покриву урбанізованих територій підвищує небезпеку активного прояву карстових процесів.

Безсумнівно, до чинників ризику належать щільна інфраструктурна мережа, прокладка магістралей, водоводів, каналів, що забезпечують життєдіяльність міського населення, а також функціонування об'єктів техносфери. Надзвичайна чутливість карстових порід до промислових або сільськогосподарських забруднень та техногенної активізації водо-теплопереносу вимагає застосування спеціальних заходів адаптування урбогенних територій до особливостей карстових систем. Противокарстні заходи необхідно розробляти незалежно від наявності або розмірів площі порід відкритого карсту в регіонах із високим рівнем екологічної урбанізації.

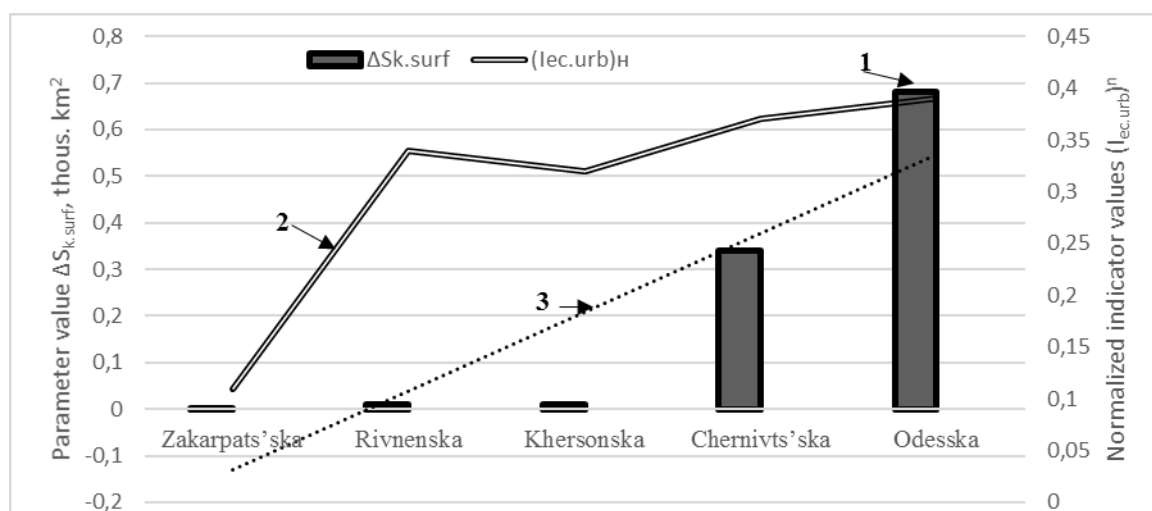


Рис. 3. Розширення площ відкритого карсту в областях України за період 2001 – 2020 роки у порівнянні з індикатором екологічної урбанізації: 1 – показник ($\Delta S_{k.surf}$); 2 – показник $(I_{ec.urb})^n$; 3 – лінійний тренд показника $(I_{ec.urb})^n$

Fig. 3. Expansion of the surface karst in the Ukraine's regions for the period 2001 – 2020 in comparison with the ecological urbanization indicator: 1 – indicator ($\Delta S_{k.surf}$); 2 – indicator $(I_{ec.urb})^n$; 3 – linear trend of the $(I_{ec.urb})^n$

Висновки. За умов мозаїчності природних ландшафтів регіонів України, різноманітності гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов, різного характеру господарсько-промислового комплексу для оцінювання ризиків активізації карстових процесів доцільним є застосування узагальнених інтегральних природних і техногенних показників. У роботі проведено аналіз співвідношення територіального показника небезпеки карстоутворення з індикатором екологічної урбанізації. Виділено регіони зростаючих рівнів небезпеки активізації карсту. Показано наявність кореляції між показниками геологічної небезпеки і урбанізації у разі низьких і середніх значень територіального охоплення площ регіонів карстовими процесами.

Проведено аналіз змін площ карст-небезпечних територій за період 2001 – 2020 роки. Виявлено збільшення практично у два рази площ порід, здатних до природно-техногенної активізації карстоутворення, в усіх адміністративних областях. Розрахований коефіцієнт розширення карстових територій по відношенню до загальної площі регіону оцінено у співвідношенні з небезпекою карстоутворення та індексом еколого-демографічної урбанізації. Проведено оцінку регіональних відмінностей карстової небезпеки за різних рівнів урбогенного навантаження. Відзначено

розширення площ відкритого карсту в Закарпатській, Одеській, Рівненській, Херсонській, Чернівецькій областях. Виявлено тенденцію збільшення площ відкритого карсту відповідно до росту екологічної урбанізації. Це пов'язано з експлуатацією природних територіальних ресурсів, збіднінням рослинного покриву, зміною характеру землекористування урбанізованих територій.

Отримані авторами статті дані дозволяють диференціювати різні за урбогенним навантаженням регіони України залежно від територіального показника небезпеки карстоутворення, а також вивчити динаміку змін карстових порід за останні двадцять років. Встановлення територіальних показників небезпеки карстоутворення дозволяє оптимізувати склад та об'єми геологічних та інженерно-пошукових досліджень, спрямувати їх на найбільш уразливі регіони.

Аналіз впливу на навколишнє середовище карстових структур і процесів зазвичай вимагає оцінки багатьох природних і техногенних факторів зі складними взаємозв'язками. Застосування індикаторів урбанізації дозволяє узагальнити багато розрізнених даних про динаміку карстової ураженості територій промислово-міських агломерацій та зміни умов екологічної безпеки в їх межах.

Література

1. Статистичний щорічник України 2019. Державна служба статистики України. Київ, 2020. 465 с. URL: https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/2020/zb/11/zb_yearbook_2019.pdf (дата звернення 30.05.2021)
2. Ferreira, C. S. S., Walsh, R. P. D., & Ferreira, A. J. D. Degradation in urban areas. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2018. Vol. 5, P. 19–25. doi:10.1016/j.coesh.2018.04.001.

3. Gutierrez F., Parise M., De Waele J., Jourde H. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-science Reviews*. 2014. Vol. 138, P. 61–88 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.002>

4. Ivanyuta S.P. Assessment of threats from exogenous geological processes to safety of international transport corridors in Ukraine. *Science & Military Journal*. 2015. Vol. 10, No 1, P. 39–42. <https://search.proquest.com/openview/55eb1de64c2578de142bb5ab1fb16b63/1?pq-origsite=gscholar&cbl=54467>

5. Седін В.Л., Грабовець О.Н., Трященко А.Ю. Распространение опасных геологических процессов в Днепропетровской области. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2015 № 6 (207), С. 60–67 <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/48213>
6. Vytrykush N., Romaniv A., Nahurskyi O., Paranyak N. Hazard monitoring and application of complex territorial analysis to assess the degree of protection for a certain region. Environmental problem, 2018. Vol. 3, No 1, P. 37–42 URL: <http://science.lpnu.ua/ep/all-volumes-and-issues/volume-3-number-1-2018/hazard-monitoring-and-application-complex> (дата звернення 31.05.2021)
7. Katkov M., Malovanyy M., Kotsiuba I., Senchuk T., Lavinda M. Determination of significant factors of landslide processes and flooding. Environmental problem, 2020. Vol. 5, No 2, P. 88. URL: <https://doi.org/10.23939/ep2020.02.088> (дата звернення 21.05.2021)
8. Касіянчук Д. В. Обґрунтування вибору факторів активізації небезпечних геологічних процесів (на прикладі території Карпатського регіону). Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2014. № 2, С. 42–52. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2014_2_8 (дата звернення 16.05.2021)
9. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП, ДНВП «Геоінформ Україна» available at: <https://geoinf.kiev.ua/publikatsiyi/shchorichnyky/shchorichnyk-egp/> (дата звернення 1.06.2021)
10. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2001р., Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, 2002. available at: <https://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2001/stan2001.rar> (дата звернення 1.05.2021)
11. Vasutynska K.A., Barbashev S.V. Analysis of urbanization impact on the dynamics of emergencies and risks for population in Ukraine. Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi 2018. Vol. 2, No 55, P. 137–144
12. Васютинська К.А., Барбашев С.В., Кімінчиджи М.І. Оцінка комплексного показника екологічної урбанізації регіонів України. Екологічні науки. 2020. № 3 (30), С. 7–14. doi: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.1>
13. Васютинська К.А., Барбашев С.В. Індикаторна оцінка впливу урбанізаційного процесу на стан природної та техногенної безпеки в регіонах України. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: кол.моногр. Львів: ТзОВ "ЗУКЦ", 2020. С. 232–255. book doi: 10.23939/book.ecocongress.2020 <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2020/dec/22708/monograph2020.pdf> (дата звернення 2.06.2021)
14. Кузьменко Е.Д., Чепурний І.В., Чалий П.П. Довгострокове прогнозування провальньо-просадкових проявів карсту: монографія – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 271 с.
- http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/11/zb_yearbook_2019.pdf (in Ukrainian)
2. Ferreira, C. S. S., Walsh, R. P. D., & Ferreira, A. J. D. (2018). Degradation in urban areas. Current Opinion in Environmental Science & Health. Vol. 5, pp. 19–25. doi:10.1016/j.coesh.2018.04.001. (in English)
3. Gutierrez F., Parise M., De Waele J., Jourde H. (2014). A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. Earth-science Reviews. Vol. 138, pp. 61–88 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.002> (in English)
4. Ivanyuta S.P. (2015) Assessment of threats from exogenous geological processes to safety of international transport corridors in Ukraine. Science & Military Journal, Vol 10(1), pp. 39–42. <https://search.proquest.com/openview/55eb1de64c2578de142bb5ab1fb16b63/1?pq-origsite=gscholar&cbl=54467>
5. Sedin V.L., Grabovets O.N., Tryashchenko A.Yu. (2015). Poshyrennia nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv u dniepropetrovskii oblasti Bulletin of the Dnieper State Academy of Civil Engineering and Architecture. Vol 6(207), pp. 60–67 <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/48213> (in Ukrainian)
6. Vytrykush N., Romaniv A., Nahurskyi O., Paranyak N. (2018). Hazard monitoring and application of complex territorial analysis to assess the degree of protection for a certain region. Environmental problem. Vol 3 (1). pp. 37–42 <http://science.lpnu.ua/ep/all-volumes-and-issues/volume-3-number-1-2018/hazard-monitoring-and-application-complex> (in English)
7. Katkov M., Malovanyy M., Kotsiuba I., Senchuk T., Lavinda M. Determination of significant factors of landslide processes and flooding. Environmental problem. 2020. Vol 5(2), pp. 88. <https://doi.org/10.23939/ep2020.02.088> (in English)
8. Kasiyanchuk D.V. (2014). Obhruntuvannia vyboru faktoriv aktyvizatsii nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv (na prykladi terytorii Karpat'skoho rehionu). Ekologichna bezpeka ta zbalansovane resursovykorystannia. Vol 2, pp. 42–52 http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2014_2_8 (in Ukrainian)
9. DNVP "Geoinform Ukrainy": Informatsiyni shchorichnyk shchodo aktyvizatsii nebezpechnykh ekzohennykh heolohichnykh protsesiv na terytorii Ukrainy za danyymi monitorynhu EGP. available at: <https://geoinf.kiev.ua/publikatsiyi/shchorichnyky/shchorichnyk-egp/> (in Ukrainian)
10. Ministerstvo Ukrainy z pytan nadzvychaynykh sytuatsii ta u spravakh zakhystu naselennia vid naslidkiv Chornobyl'skoi katastrofy: Natsionalna dopovid pro stan tekhnohennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini v 2001. available at: <https://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2001/stan2001.rar> (in Ukrainian)
11. Vasutynska K.A., Barbashev S.V. (2018). Analysis of urbanization impact on the dynamics of emergencies and risks for population in Ukraine. Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi, Vol 2(55), pp. 137–144 (in English)
12. Vasiutynska K.A., Barbashev S.V., Kiminchydzhy M.I. (2020), Otsinka kompleksnoho pokaznyka ekolohichnoi urbanizatsii rehioniv Ukrainy. Ekolohichni nauky. Vol 3(30), pp. 7–14 doi: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.1> (in Ukrainian)

References

1. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy: Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy za 2019.

13. Vasiutynska K., Barbashev S. (2020). Indykatorna otsinka vplyvu urbanizatsiinoho protsesu na stan pryrodnoi ta tekhnolohnoi bezpeky v rehionakh Ukrainy. In: Collective monograph "Sustainable development: environmental protection. Energy saving. Balanced nature management". pp 232–255. Lviv: ZUKC LLC, book doi: <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2020/dec/22708/monograph2020.pdf> (in Ukrainian)
14. Kuzmenko E.D., Chepurnij I.V., Chalij P.P. (2012), Dovgostrokove prognovuvannya provalno-prosadkovih proyaviv karstu: monografiya. Ivano-Frankivsk: IFNTUNG. 271 p. (in Ukrainian)

THE IMPACT ASSESSMENT OF THE URBANIZATION FACTORS ON THE KARST PROCESS ACTIVATION HAZARD IN THE REGIONS OF UKRAINE

K. Vasiutinska, S. Barbashev

K. Vasiutinska, PhD, As. Prof., State University "Odessa Polytechnic" ORCID:0000-0001-9800-1033, e.a.vasutinskaya@opu.ua, ekaterina.vasutinskaya@gmail.com.

S. Barbashev, D.Sc. (Techn), Prof., State University "Odessa Polytechnic" ORCID:0000-0001-5446-153X, josik65@gmail.com

The article presents the analysis of the exogenous geological process activation hazards, namely karst, in the conditions of urbanization processes. The scale of geoecological problems is shown to be directly or indirectly determined by the scale of urbanization. The relevance of the research is associated with the study of the nature of changes in the expansion of karst rocks in regions with different levels of urbanization in the period 2001 – 2020. The main aim is to analyze the hazards of karst development in relation with the factors of urbanization processes in the regions of Ukraine based on the indicator method. The particular characteristics of the impact of urbanized territories on the initiation of natural disasters and geological hazards have been determined. The urbogenic load of the regions was assessed using determined and calculated earlier indicators of ecological and ecological-demographic urbanization. The assessment of the dependence between the hazard indicator of the spread of karst rocks and the indicator of ecological urbanization in the regional context has been carried out. It is shown that in the third part of the regions, the growing hazard levels of karst processes practically coincide with the growth of the ecological urbanization index. A nearly doubling of the area of karst terrains was noted during 2001 – 2020 in all administrative regions. The coefficient of expansion of karst territories for the specified period has been calculated. Four groups of regions were identified according to the increase in karst areas in comparison with the hazards of karst processes and the index of ecological-demographic urbanization. Expansion of open karst areas in the Transcarpathian, Odessa, Rivne, Kherson, Chernivtsi regions was noted. For this group of regions, a tendency to increase the areas of surface karst in accordance with an increase in the values of urbanization indicators has been established. This is due to the exploitation of natural territorial resources, changes in the nature of land use, depletion of vegetation cover, anthropogenic loads on the ground, and imbalances in the interaction of surface and underground waters in urbanized areas. Thus, the Ukraine's regions with different urbogenic load are differentiated depending on the territorial indicator of the danger of karst terrains, as well as the dynamics of changes in the areas of karst rocks.

Keywords: Urbanization, karst, urban environmental impacts, natural disasters emergency, individual risk, urbanization, integral indicator, regions of Ukraine