Ефективність державного управління
Efficiency of public administration
https://doi.org/10.36930/508608
Article received: 02.10.2025, Article accepted: 17.12.2025
Article published: 28.01.2026
УДК 351.86:620.9:004.9:528.9
Correspondence author: N. I. Berezovska berezovska@nltu.edu.ua
ISSN 2070-4011 (print)
ISSN 2786-6580 (online)

Н. І. Березовська, О. Л. Сторожук
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛАНДШАФТУ БЕЗПЕКОВОГО ВРЯДУВАННЯ ГРОМАД І ЗАХИСТУ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ: ПОТЕНЦІАЛ ТЕХНОЛОГІЙ GIS

Розглянуто потенціал цифрових технологій у трансформації безпекового врядування громад та захисті критичної інфраструктури з акцентом на застосування геоінформаційних систем (QGIS та GRASS GIS). Проведено теоретичний аналіз можливостей GIS для оцінювання зон підвищеного ризику, прогнозування потенційних загроз та моделювання сценаріїв надзвичайних ситуацій. У статті також досліджено потенціал цифрових технологій у трансформації безпекового врядування громад та захисту критичної інфраструктури на прикладі Берегівського району Закарпатської області. Основну увагу приділено застосуванню геоінформаційних систем (QGIS та GRASS GIS) для оцінювання природних ризиків, зокрема підтоплення, та просторового моделювання потенційно уразливих територій. Дослідження підкреслює значення інтеграції просторового, гідрологічного та соціально-економічного аналізу для формування превентивних стратегій захисту громад. Цифрові моделі, побудовані на базі GIS, дають змогу ефективно ідентифікувати території з високою уразливістю, планувати заходи реагування та оцінювати потенційні ризики без необхідності розкриття чутливих даних про конкретні об'єкти критичної інфраструктури. Використання GIS сприяє підвищенню прозорості та оперативності ухвалення управлінських рішень, забезпечує науково обґрунтоване прогнозування розвитку ризиків і дає змогу адаптувати безпекові стратегії до сучасних викликів і загроз. Теоретичний аналіз демонструє, що цифрові технології стають ключовим інструментом у ландшафті безпекового врядування, інтегруючи аналітичні, прогностичні та управлінські функції для забезпечення захисту територій та підвищення ефективності процесів управління ризиками. Застосування GIS-технологій відкриває перспективи цифрової трансформації безпекового врядування, підвищення стійкості громад до природних та техногенних загроз, а також формування науково обґрунтованої платформи для стратегічного планування та ухвалення управлінських рішень за сучасних умов динамічного розвитку територій та технологічних систем. Дослідження підтверджує практичну та теоретичну цінність інтеграції цифрових інструментів у системи управління безпекою, що забезпечує ефективну підтримку процесів захисту громад і критичної інфраструктури.

Ключові слова: безпека; цифрові моделі; інформаційні системи захисту; критична інфраструктура; безпекові бар'єри у громадах; концентратори потенційного ризику; оцінка ризику; інтегровані інформаційно-аналітичні платформи.

Вступ

Для сучасних трансформаційних процесів у сфері публічного управління характерне посилення ролі територіальних громад як ключових суб'єктів забезпечення локальної безпеки, управління ризиками та захисту життєво важливої інфраструктури. За умов зростання багатовимірних загроз – воєнних, техногенних, природних та кібернетичних – питання формування ефективних механізмів безпекового врядування на рівні громад набуває особливої актуальності. Децентралізаційні процеси, що відбуваються в багатьох країнах, враховуючи Україну, призвели до істотного розширення повноважень місцевих органів влади у сфері забезпечення громадської та інфраструктурної безпеки, що, своєю чергою, потребує нових підходів до організації управління безпековими процесами.

Одним із ключових напрямів сучасного безпекового врядування є забезпечення стійкості та захищеності критичної інфраструктури, яка становить основу функціонування соціально-економічних систем. Критична інфраструктура охоплює широкий спектр об'єктів та систем, включаючи енергетичні мережі, транспортні вузли, системи водопостачання, медичні заклади, інформаційно-комунікаційні мережі та інші об'єкти, порушення функціонування яких може призвести до значних соціальних, економічних та гуманітарних наслідків [8]. За сучасних умов ці об'єкти стають основними цілями як воєнних атак, так і техногенних аварій, що зумовлює необхідність створення комплексних систем моніторингу, прогнозування та реагування на загрози.

Водночас традиційні підходи до управління безпе-

Березовська Ніна Ігорівна, д-р філософії з економіки, доцент, кафедра публічного управління та адміністрування. **Email:** berezovska@nltu.edu.ua; https://orcid.org/0000-0003-4628-2958

Сторожук Олександр Леонідович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних систем та комп'ютерного моделювання. **Email:** storozhuk@nltu.edu.ua; https://orcid.org/0000-0001-6566-5271

Цитування за ДСТУ: Березовська Н. І., Сторожук О. Л. Цифрова трансформація ландшафту безпекового врядування громад і захисту критичної інфраструктури: потенціал технологій GIS. *Ефективність державного управління* : зб. наук. пр. Вип. 1(86). Львів: НЛТУ України, 2026. С. 64–70.

Citation APA: Berezovska, N. I., & Storozhuk, O. L. (2026). Digital transformation of the landscape of community security governance and critical infrastructure protection: the potential of gis technologies. *Efficiency of public administration, 1*(86), 64–70. https://doi.org/10.36930/508608

кою, що ґрунтуються переважно на фрагментованих інформаційних ресурсах та паперових картографічних матеріалах, виявляються недостатньо ефективними за умов високої динаміки ризиків та необхідності оперативного ухвалення управлінських рішень [12]. Це актуалізує потребу у впровадженні цифрових технологій, здатних забезпечити інтеграцію різнорідних даних, їх просторовий аналіз та візуалізацію у реальному часі. Саме цифрова трансформація безпекового врядування стає одним із визначальних чинників підвищення стійкості громад та ефективності функціонування систем захисту критичної інфраструктури [4].

Особливе місце серед сучасних цифрових технологій посідають геоінформаційні системи (Geographic Information Systems, GIS), які забезпечують комплексний аналіз просторових даних та дають змогу моделювати різноманітні сценарії розвитку небезпечних ситуацій. Використання GIS-технологій відкриває широкі можливості для створення інтегрованих інформаційно-аналітичних платформ, що підтримують процеси планування територій, управління ресурсами, оцінювання ризиків та координації дій під час надзвичайних ситуацій. Важливим аспектом є також можливість поєднання GIS із іншими цифровими технологіями, зокрема дистанційним зондуванням Землі, сенсорними мережами та системами моніторингу інфраструктурних об'єктів.

Серед сучасних програмних рішень особливу увагу привертають відкриті геоінформаційні платформи, такі як QGIS та GRASS GIS, які забезпечують широкий функціональний інструментарій для просторового аналізу, моделювання ризиків та візуалізації даних. Використання відкритого програмного забезпечення є особливо актуальним для територіальних громад, оскільки дає змогу істотно знизити фінансові витрати на впровадження інформаційних систем, забезпечити гнучкість їх налаштування та адаптацію до локальних потреб. Окрім того, функціональні можливості таких платформ дають змогу створювати комплексні цифрові карти ризиків, визначати зони потенційного ураження, аналізувати доступність критичних об'єктів та моделювати сценарії реагування на надзвичайні ситуації.

Попри значний науковий інтерес до проблем цифровізації публічного управління та розвитку GIS-технологій, питання їх комплексного використання у сфері безпекового врядування громад та захисту критичної інфраструктури залишаються недостатньо дослідженими. Наявні дослідження переважно зосереджені на технічних аспектах функціонування геоінформаційних систем або на окремих напрямах управління ризиками, тоді як інтеграційні моделі застосування GIS у контексті безпекового врядування територіальних громад потребують подальшого теоретичного осмислення та практичного обґрунтування.

Метою статті є дослідження потенціалу геоінформаційних технологій у цифровій трансформації безпекового врядування громад та обґрунтування можливостей використання сучасних GIS-платформ, зокрема QGIS та GRASS GIS, для підвищення ефективності захисту критичної інфраструктури. Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань: визначити роль цифрових технологій у сучасних системах безпекового управління; проаналізувати функціональні можливості GIS у процесах моніторингу та прогнозування ризиків; дослідити прикладні аспекти використання відкритих GIS-рішень у практиці управління безпекою громад; обґрунтувати напрями подальшого розвитку цифрових інструментів у сфері захисту критичної інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запорожець Т. [9] обґрунтовано підкреслює, що цифровізація державного управління у сфері регіонального розвитку на сучасному етапі виступає ключовим чинником розбудови ефективної та стійкої економічної системи країни. Водночас дослідниця акцентує увагу на тому, що аналітичний потенціал наявних цифрових платформ часто використовується лише частково і вибірково. Це істотно обмежує здатність держави повною мірою реалізувати територіальний потенціал. Такі обставини зумовлюють дисбаланс між наявними ресурсами регіонів та рівнем їх реальної економічної реалізації, що, своєю чергою, сповільнює зростання конкурентоспроможності регіонів і створює загрозу економічній безпеці країни загалом. Водночас головна теоретико-практична проблема нинішнього етапу полягає в тому, що цифровізацію в межах державного управління часто сприймають лише як допоміжну технологічну складову, а не як основу для фундаментальних трансформацій.

У монографії "Цифрові трансформації для забезпечення еколого-економічного розвитку та цивільного захисту", за редакцією О. В. Кубатка та В. І. Вороненка, опублікованої у 2025 р. на базі Сумського державного університету [7], подано результати комплексного наукового дослідження, в якому визначено роль цифрових трансформацій у забезпеченні сталого еколого-економічного розвитку та зміцненні системи цивільного захисту за умов воєнних, екологічних і соціальних викликів. Науковий колектив створив сучасні методики для оцінювання та прогнозування впливу цифрових технологій, зокрема штучного інтелекту, на ключові аспекти розвитку еколого-економічних систем та забезпечення національної безпеки. Монографія містить макроекономічні моделі, що адаптовані до умов післявоєнного відновлення із врахуванням викликів Індустрії 4.0, а також надає аргументовані рекомендації щодо ефективних управлінських рішень у процесі цифрової модернізації економіки. Це охоплює такі ключові галузі, як біоенергетика, IT-аутсорсинг, екосистемні послуги та безпекову інфраструктуру. Практичні аспекти роботи охоплюють впровадження інтелектуальних технологій у системи управління ризиками, оцінювання кібербезпеки та розроблення заходів для адаптації політик сталого розвитку. Ця праця є однією з найвагоміших і найґрунтовніших досліджень у сфері цифрової трансформації механізмів безпекового управління у сучасних громадах.

Шульжик Ю. та співавтори [13] зазначають, що в сучасних реаліях розвиток територіальних громад в Україні неможливий без активного використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Їх впровадження сприяє підвищенню ефективності управлінських процесів, зміцненню взаємодії між органами влади та громадянами, а також стимулює появу соціальних інновацій у країні. У статті закцентовано на стратегічній важливості цифрової трансформації та розглянуто вплив військових дій на цифрову економіку України. Автори також пропонують бачення перспектив відновлення економіки за допомогою цифрових рішень і фор-

мулюють комплексний підхід до цифрового управління територіальними громадами.

Кобилкін Д. [11] у своїй дисертації досліджує методологію управління безпековими проєктами за умов війни (на прикладі об'єктів критичної інфраструктури). Автор розробив механізм забезпечення ризикостійкості об'єктів критичної інфраструктури, заснований на інтеграції проактивних і реактивних підходів в управлінні проєктами. Для цього використано імітаційне та геопросторове моделювання територіальних систем п'яти регіонів із загальною площею понад 12 000 км², включаючи 2080 населених пунктів і понад 1450 об'єктів критичної інфраструктури. Такий підхід дає змогу скоротити час реагування на загрози та підвищити ефективність системи управління ризиками.

У статті О. Зачка та ін. [10] розглянуто застосування сучасних інформаційних технологій для забезпечення безпеки транскордонних систем. Автори проводять аналіз інструментів для управління ризиками, інформаційного моделювання та моніторингу загроз, що сприяють підвищенню ефективності ухвалення рішень у сфері забезпечення безпеки на прикордонних територіях. Основну увагу в роботі приділено управлінню безпекою регіонів, де ключовим аспектом є оперативна взаємодія та обмін інформацією. Особливий акцент зроблено на можливостях використання геоінформаційних систем, математичного моделювання, а також на впровадженні систем моніторингу й оцінювання ризиків.

Серед зарубіжних учених варто відзначити, зокрема, систематичний огляд літератури, представлений Hognogi та ін. [3]. Автори зазначають, що з погляду міжнародної співпраці, на рівні установ або країн, певні міжнародні організації зі США, Китаю та держав Центральної та Північної Європи виявляють великий інтерес до цієї теми, тоді як спостерігається низький рівень співпраці між академічною спільнотою та органами державного управління. Висновок полягає в очевидній відсутності інтерпретації результатів використання технологій БПЛА-ГІС у ширші та актуальніші контексти, наприклад, у контексті управління в цифрову епоху, а також у зниженій застосовності результатів дослідження.

Інший колектив іноземних авторів, Fischer-Preßler та ін. [2], подає огляд літератури з IT-ініціатив і цифрових проектів у галузі управління стихійними лихами та розглядає потенціал цифрової трансформації у цій сфері. Автори стверджують, що ініціативи, які виглядають "цифровими", часто призводять до поступової, довгострокової трансформації з обмеженим впливом на організаційні структури. Дослідження показали, що темпи та масштаби цифрової трансформації в управлінні стихійними лихами свідчать про існування контекстно-специфічних моделей, які відрізняються від тих, що спостерігаються в галузевому контексті.

У дослідженні вебсервісу ГІС для реагування на зсуви вчені зазначили, як ініціативи з візуалізації даних забезпечуються середовищем співробітництва, яке інтегрує дані з різних державних організацій на різних рівнях (наприклад, місцевому, регіональному) [1]. Ця ініціатива стала можливою завдяки програмним інтерфейсам для доступу до даних (наприклад, геологічним дослідженням) від інституційних структур (наприклад, Бюро геодезії та картографії). Водночас програмний доступ не завжди є надійним, оскільки базові інтерфейси прикладних програм (API) зовнішніх вебсервісів можуть змінюватися з часом.

Ramaano A. [6] досліджує ймовірну роль геоінформаційних систем у сталому туризмі, управлінні природними ресурсами на основі сільських громад (CBNRM) та інклюзивному розвитку та участі громад у країнах Африки на південь від Сахари, в Африці загалом, та в багатьох сільських районах за кордоном. Це дослідження показує можливий зв'язок між туризмом та сільськими та сільськогосподарськими підприємствами, який ГІС, її асоціативні процедури та інструменти, а також концепція CBNRM можуть посилити, одночасно підвищуючи рівень державного управління та стійкості, а також стимулюючи покращення умов життя, особливо у віддалених районах.

Хоча концептуальний аналіз стану, перспектив та потенціалу цифрової трансформації ландшафту врядування громад доволі добре представлений в науковому дискурсі, безпековому компоненту цього ландшафту та використанню відповідних цифрових технологій для його забезпечення приділяють критично мало уваги.

Методи дослідження. У межах дослідження застосовано системний підхід, який дав змогу розглядати безпекове врядування громад як складну багаторівневу систему, що охоплює об'єкти критичної інфраструктури, суб'єкти управління, інформаційні потоки та механізми реагування на загрози. Такий підхід забезпечив можливість комплексного аналізу взаємозв'язків між просторовими характеристиками територій, розміщенням інфраструктурних об'єктів та потенційними ризиками їх ураження.

Для досягнення поставленої мети використано сукупність загальнонаукових та спеціальних методів дослідження. Метод аналізу та синтезу застосовано для узагальнення наукових підходів до визначення сутності безпекового врядування громад та ролі цифрових технологій у системі захисту критичної інфраструктури. Порівняльний метод використано для оцінювання функціональних можливостей сучасних геоінформаційних систем та визначення їх прикладного потенціалу у сфері управління безпекою. Метод моделювання застосовано для побудови цифрових просторових моделей ризиків та зон впливу потенційних загроз.

Особливе місце в методології дослідження займають геоінформаційні методи, які дали змогу здійснити просторовий аналіз територій та моделювання ризиків функціонування критичної інфраструктури. Геоінформаційне моделювання виконано з використанням відкритих програмних платформ QGIS та GRASS GIS, що забезпечують широкий набір інструментів для обробки геопросторових даних, аналізу просторових взаємозв'язків та візуалізації результатів.

Отже, застосована методологія дала змогу комплексно дослідити потенціал цифрових технологій у сфері безпекового врядування громад та обґрунтувати можливості використання геоінформаційних систем як ефективного інструменту аналізу, прогнозування та управління ризиками у процесі захисту критичної інфраструктури.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням одержаних результатів

Неможливо переоцінити найважливіше значення інфраструктур просторових даних (SDI), що розвивають-

ся, в сьогоднішню епоху складних локальних і глобальних проблем. Веб-ГІС радикально змінила спосіб застосування та поширення інформації про навколишній світ, що привело до створення абсолютно нової моделі ГІС. Дані зі супутників дистанційного зондування Землі дають дуже докладну інформацію про елементи, що перебувають під загрозою, а також про рельєф місцевості, і ця інформація дуже корисна для оцінювання ризиків, пов'язаних з множинними небезпеками, і для складання високоякісних карт ризиків з метою здійснення діяльності з їхнього пом'якшення та попередження. Зокрема, системи запобігання та евакуації на основі GIS дуже корисні за реагування з урахуванням специфіки місцевості [5].

Застосування GIS дає змогу проводити інтегративний аналіз різноманітних факторів, що впливають на безпеку громад: природні умови, просторове розташування інфраструктури, демографічні особливості та потенційні сценарії надзвичайних ситуацій. Теоретичні моделі зонування ризику демонструють, що цифрові технології дають змогу визначати території з підвищеним рівнем уразливості, оптимізувати управлінські рішення та формувати превентивні стратегії захисту без необхідності розкриття чутливих даних про конкретні об'єкти.

Ключовою перевагою використання GIS у безпековому врядуванні є можливість поєднання кількісного та просторового аналізу, що дає змогу оцінювати потенційні загрози в динамічному просторі та інтегрувати результати у процеси стратегічного планування, моніторингу та реагування. Цифрові моделі, побудовані на базі GIS, сприяють підвищенню прозорості та оперативності ухвалення рішень у сфері захисту громад та критичної інфраструктури, а також дають змогу прогнозувати розвиток ризиків у різних сценаріях.

Отже, GIS-технології формують новий ландшафт безпекового врядування, де інформаційні та цифрові інструменти стають ключовим елементом для підвищення ефективності захисних та управлінських заходів на рівні громад і регіонів.

Як кейс для демонстрації потенціалу GIS у безпековому ландшафті громад, зокрема для захисту критичної інфраструктури, ми обрали моделювання зон підтоплення для Берегівського району. Вибір території для кейсу було зроблено для максимально наочної демонстрації можливостей GIS безпекового врядування громад і захисту критичної інфраструктури, з урахуванням річок Тиса і Боржава, які реально формують паводкові ризики. Берегівський район добре підходить для GIS-моделювання, з огляду на такі фактори: рівнинна територія, наявність річок і прикордонне розташування створюють багато реальних сценаріїв ризиків. Район має площу близько 1458,7 км², містить 10 громад і розташований у прикордонній зоні з Угорщиною та Румунією, що підсилює значущість інфраструктурної безпеки.

Для аналізу потенційного ризику підтоплення Берегівського району Закарпатської області було побудовано цифрову модель рельєфу (DEM) із використанням даних Copernicus DEM (30 м). DEM дала змогу оцінити висотні характеристики району та визначити низинні території, що формують потенційні зони акумуляції води, а також підвищені ділянки, які відіграють роль природного буфера. Модель було побудовано через GRASS GIS + QGIS, шляхом реалізації такої послідовності: завантаження DEM → обрізування по межі району → побудова поверхні.

Аналіз DEM показав:

- Низинні ділянки сконцентровані вздовж долин річок Тиса та Боржава, що потенційно підвищує ризик підтоплення.
- Середньовисотні простори виконують роль природного розподільника стоку, знижуючи загрозу затоплення прилеглих територій.
- Підвищені ділянки практично не піддаються затопленню, що відповідає низькому рівню ризику.

Ці дані стали основою для побудови карт зон підтоплення.

Для кількісного оцінювання потенційних зон підтоплення було визначено площу кожного рівня ризику (табл. 1).

Рис. 1 демонструє просторовий розподіл зон підтоплення по всьому району, де видно, що найуразливішими є території вздовж річкових долин та низинні площі.

Результати свідчать, що основні концентратори потенційного ризику зосереджені уздовж річкових долин, де накопичуються стічні води та формуються природні паводкові зони. Середньовисотні ділянки відіграють роль природного буфера, який пом'якшує поширення води, тоді як підвищеним територіям характерний низький ризик підтоплення. Такий просторовий розподіл зон ризику демонструє можливість використання GIS-технологій для оцінювання територіальної уразливості громад, планування заходів запобігання ризикам та інтеграції даних у систему безпекового врядування.

Результати кейсу демонструють, що GIS-технології забезпечують ефективну інтеграцію просторового та гідрологічного аналізу для оцінювання потенційних загроз підтоплення. Застосування QGIS та GRASS GIS дає змогу: 1) візуалізувати території з високим та середнім ризиком підтоплення; 2) кількісно оцінити площу зон ризику та їх відносну значущість для планування; 3) виявити природні буфери та підвищені ділянки, які можуть слугувати опорними зонами для стратегічного розподілу ресурсів; 4) забезпечити науково обґрунтовану основу для подальшого планування превентивних заходів і цифрового врядування громад. Цей кейс показує потенціал GIS як інструменту цифрової трансформації безпекового врядування, оскільки він дає можливість прогнозувати ризики, інтегрувати різні джерела даних і підвищувати ефективність управлінських рішень без розкриття чутливої інформації про критичну інфраструктуру.

Для моделювання зон підтоплення застосовано метод Flow Accumulation у GRASS GIS із визначенням трьох рівнів ризику (табл. 2).

Табл. 1. Розрахунок площ зон ризику

Рівень ризику	Площа (км²)	% від території району
Високий	210	14,4
Середній	480	32,9
Низький	768	52,7

Табл. 2. Потенційні зони підтоплення

Рівень ризику	Характеристика території
Високий	Низовинні ділянки у долинах річок, високий накопичувальний потенціал води.
Середній	Середньовисотні території, помірне накопичення води.
Низький	Підвищені ділянки, низький потенціал підтоплення.

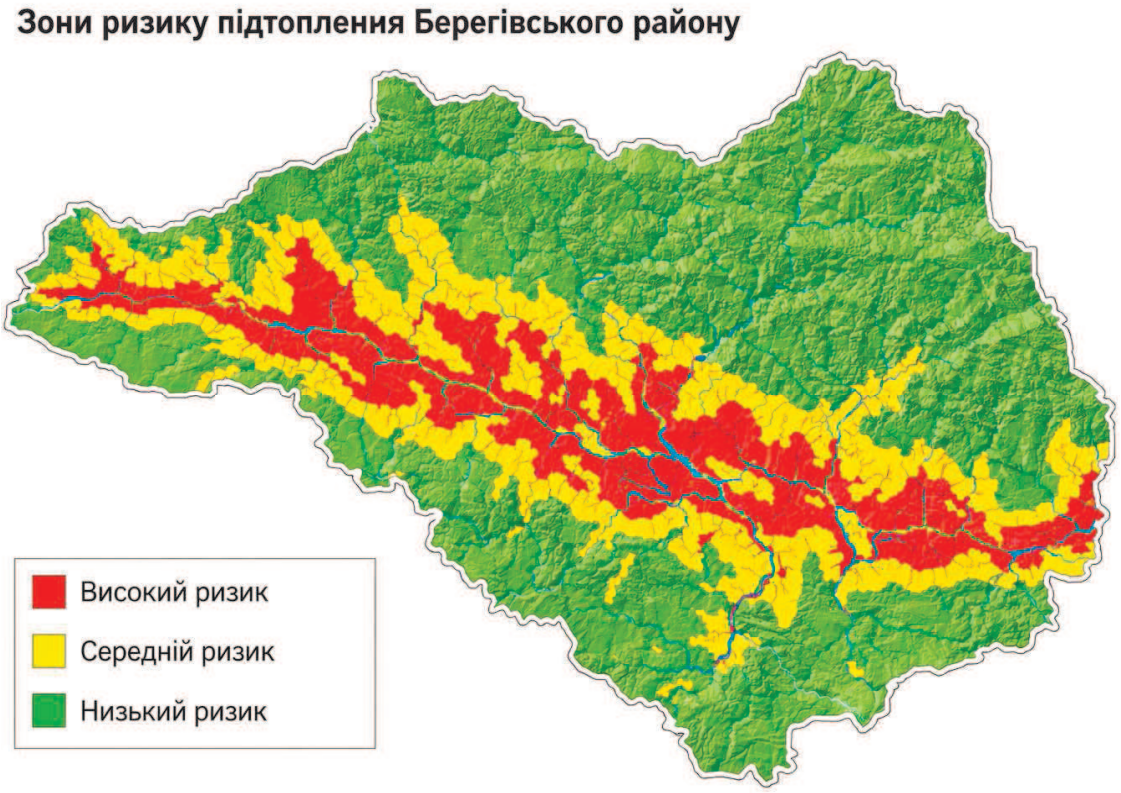

Рис. 1. Карта зон підтоплення Берегівського району, побудована на основі цифрової моделі рельєфу (DEM) та гідрологічного аналізу Flow Accumulation у GRASS GIS

* Зони розподілено на високий, середній та низький рівні ризику підтоплення. Високий ризик (червоний) – низинні території долин річок; середній ризик (жовтий) – середньовисотні ділянки; низький ризик (зелений) – підвищені території. Карта показує просторову концентрацію зон підтоплення та природні буфери району.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Дослідження показало, що цифрові технології, зокрема геоінформаційні системи (QGIS та GRASS GIS), мають значний потенціал для підвищення ефективності безпекового врядування громад та оцінювання ризиків для критичної інфраструктури. Використання GIS дає змогу інтегрувати просторовий, гідрологічний та соціально-економічний аналіз для визначення зон підвищеного ризику та планування превентивних заходів.

Цифрові моделі сприяють підвищенню прозорості, оперативності та наукової обґрунтованості управлінських рішень у сфері безпеки, забезпечуючи ефективне прогнозування та реагування на потенційні загрози. Аналіз демонструє, що інтеграція GIS у системи безпекового врядування створює основу для цифрової трансформації процесів управління та захисту територій, даючи змогу адаптувати стратегії до сучасних викликів і загроз.

Проведений просторовий аналіз рельєфу та гідрологічних характеристик Берегівського району дає можливість ідентифікувати території з різним рівнем ризику підтоплення, що є ключовим елементом безпекового врядування громад. Низинні території уздовж річкових долин формують природні концентратори ризику, тоді як підвищені ділянки забезпечують низький рівень загрози, що важливо враховувати під час планування та управління ресурсами.

Геоінформаційні технології (QGIS та GRASS GIS) демонструють потенціал для інтеграції у процеси захисту територій, прогнозування небезпечних подій та ухвалення управлінських рішень на рівні громад без розкриття чутливих даних про критичну інфраструктуру. Такий підхід до зонування підтоплення може слугувати методологічною основою для цифрової трансформації безпекового врядування громад, оскільки забезпечує науково обґрунтоване оцінювання територіальної уразливості та потенційних загроз.

References

1. Chen, W., He, B., Zhang, L., & Nover, D. (2016). Developing an integrated 2D and 3D WebGIS-based platform for effective landslide hazard management. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 20*, 26–38. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.10.003
2. Fischer-Preßler, D., Bonaretti, D., & Bunker, D. (2024). Digital transformation in disaster management: a literature review. *The Journal of Strategic Information Systems, 33*(4), 101865. https://doi.org/10.1016/j.jsis.2024.101865
3. Hognogi, G.-G., Pop, A.-M., Marian-Potra, A.-C., & Someșfălean, T. (2021). The role of UAS – GIS in digital era governance a systematic literature review. *Sustainability, 13*(19). https://doi.org/10.3390/su131911097

4. Maglaras, L., Kantzavelou, I., & Ferrag, M. (2021). Digital transformation and cybersecurity of critical infrastructures. *Applied Sciences, 11*. https://doi.org/10.3390/app11188357
5. Malakar, K., & Roy, S. (2024). *Mapping geospatial citizenship: the power of participatory GIS*. Springer, 197 p.
6. Ramaano, A. I. (2025). The essence of geographic information systems (GIS) in sustainable tourism, public leadership and inclusive community participation in remote-African rural societies. *Journal of Responsible Production and Consumption, 2*(1), 27–49. https://doi.org/10.1108/JRPC-10-2023-0013
7. Вороненко, В. І., et al. (2025). *Цифрові трансформації для забезпечення еколого-економічного розвитку та цивільного захисту*: монографія; за заг. ред. О. В. Кубатка, В. І. Вороненка. Суми: СумДУ, 195 р.
8. Євтушенко, О. (2024). Цифровізація – інструмент модернізації публічного управління в Україні. *Публічне управління та регіональний розвиток, 26*, 838–863. https://doi.org/10.34132/pard2024.26.03
9. Запорожець, Т. (2026). Цифровізація державного управління регіональним розвитком як чинник забезпечення економічної безпеки держави: виклики та можливості капіталізації територіального потенціалу. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic sciences, 1, 294–300*. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2026-350-39
10. Зачко, О. Б., Кобилкін, Д. С., & Зачко, І. Г. (2021). Інформаційні технології у менеджменті безпеки транскордонних територіальних систем. *Інформаційні технології в освіті та практиці*: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Львів, 17 грудня 2021), упорядник: Т. В. Магеровська. Львів: ЛьвДУВС, 34–35.
11. Кобилкін, Д. С. (2025). Методологія управління безпековими проєктами в умовах війни (на прикладі об'єктів критичної інфраструктури): дис. … д-ра техн. наук: 05.13.22 Д. С. Кобилкін. Львів, Львівський держ. ун-т безпеки життєдіяльності, Держ. служба України з надзвичайних ситуацій.
12. Телюк, О. В. (2025). Удосконалення механізмів реалізації державної регіональної політики на основі цифровізації. *Вісник ХНТУ, 2*(93), part 1, 235–241. https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.44
13. Шульжик, Ю. О., Квасній, З. В., Мельник, О.-А. П., & Строгуш, Ю. Б. (2025). Цифрова трансформація територіальних громад України: виклики та перспективи. *Актуальні питання економічних наук, 8*. https://doi.org/10.5281/zenodo.14942699

N. I. Berezovska, O. L. Storozhuk

National Forestry University of Ukraine, Lviv, Ukraine

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE LANDSCAPE OF COMMUNITY SECURITY GOVERNANCE AND CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION: THE POTENTIAL OF GIS TECHNOLOGIES

Introduction. Modern transformation processes in the field of public administration are characterized by strengthening of the role of territorial communities as key actors in ensuring local security, risk management, and protection of critical infrastructure. In the context of the growth of multidimensional threats of military, technogenic, natural, and cybernetic nature, the issue of forming effective mechanisms of security governance at the community level is becoming particularly relevant.

At the same time, traditional approaches to security management, based mainly on fragmented information resources and paper cartographic materials, are not effective enough in conditions of high risk dynamics and the need for prompt management decisions. This highlights the need to implement digital technologies that can ensure the integration of heterogeneous data, their spatial analysis and visualization in real time. Namely the digital transformation of security governance becomes one of the determining factors in increasing the resilience of communities and the effectiveness of critical infrastructure protection systems.

A special place among modern digital technologies is occupied by geographic information systems (GIS), which provide comprehensive analysis of spatial data and allow modeling of various scenarios of dangerous situations. Among modern software solutions, open geographic information platforms such as QGIS and GRASS GIS attract special attention, which provide a wide range of functional tools for spatial analysis, risk modeling and data visualization.

The purpose of the article is to explore the potential of geoinformation technologies in the digital transformation of community security governance and to substantiate the possibilities of using modern GIS platforms, in particular QGIS and GRASS GIS, to increase the effectiveness of critical infrastructure protection.

Materials and Methods. To achieve the set goal, a range of general scientific and special research methods was used. The method of analysis and synthesis was used to generalize scientific approaches to determining the essence of community security governance and the role of digital technologies in the critical infrastructure protection system. The comparative method was used to assess the functional capabilities of modern geoinformation systems and determine their applied potential in the field of security management. The modeling method was used to build digital spatial models of risks and zones of influence of potential threats.

Analysis of Literary Sources. Although the conceptual analysis of the state-of-the-art, prospects, and potential of the digital transformation of the community governance landscape is quite well represented in scientific discourse, the security component of this landscape and the use of relevant digital technologies to ensure it are given critically little attention.

Results and Discussion. The use of GIS allows for an integrative analysis of various factors affecting community safety: natural conditions, spatial location of infrastructure, demographic characteristics, and potential emergency scenarios. Theoretical risk zoning models demonstrate that digital technologies enable the identification of areas with increased vulnerability, optimization of management decisions, and formation of preventive protection strategies without the need to disclose sensitive data about specific objects. A key advantage of using GIS in security governance is the ability to combine quantitative and spatial analysis, which allows assessing potential threats in dynamic space and integrating the results into strategic planning, monitoring, and response processes.

As a case study to demonstrate the potential of GIS in the community security landscape, in particular for the protection of critical infrastructure, we chose the modeling of flood zones for the Beregove district. To analyze the potential risk of flooding in the Beregove district of the Transcarpathia region, a digital elevation model (DEM) was built using Copernicus DEM data (30 m).

The results show that the main concentrators of potential risk are concentrated along river valleys, where wastewater accumulates and natural flood zones are formed. Mid-altitude areas play the role of a natural buffer that mitigates the spread of water, while elevated areas are characterized by a low risk of flooding. This spatial distribution of risk zones demonstrates the possibility of using GIS technologies to assess the territorial vulnerability of communities, plan risk prevention measures and integrate data into the security governance system.

Conclusion. Digital models contribute to increasing transparency, efficiency, and scientific validity of management decisions in the field of security, ensuring effective forecasting and response to potential threats. The analysis demonstrates that the integration of

GIS into security governance systems creates the basis for the digital transformation of the processes of managing and protecting territories, allowing strategies to be adapted to modern challenges and threats.

The conducted spatial analysis of the relief and hydrological characteristics of the Beregove district allows identifying territories with different levels of flood risk, which is a key element of community security governance. Low-lying areas along river valleys form natural risk concentrators, while elevated areas provide a low level of threat, which is important to consider when planning and managing resources.

Geographic information technologies (QGIS and GRASS GIS) demonstrate the potential for integration into the processes of protecting territories, predicting dangerous events and making management decisions at the community level without disclosing sensitive data about critical infrastructure. This approach to flood zoning can serve as a methodological basis for the digital transformation of community security governance, as it provides a scientifically sound assessment of territorial vulnerability and potential threats.

Keywords: security; digital models; information protection systems; critical infrastructure; security barriers in communities; potential risk concentrators; risk assessment; integrated information and analytical platforms.