



Стаття та будь-який пов'язаний з нею опублікований матеріал поширюється за ліцензією Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).
The article and any related published material are licensed under the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).

УДК 528:004.9

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2026.97.4>

Едуард БОНДАРЕНКО, д-р геогр. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-2295-146X

e-mail: eduardbondarenko@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Тетяна ДУДУН, канд. геогр. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0002-9960-9793

e-mail: t.dudun@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ольга ЯЦЕНКО, асист.

ORCID ID: 0000-0001-5534-0211

e-mail: o_yatsenko@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ВИДИМОСТІ ТЕРИТОРІЇ ДЛЯ ПОТРЕБ ТУРИЗМУ ТА РЕКРЕАЦІЇ

Вступ. Геоінформаційне моделювання зон видимості є надзвичайно актуальним для туризму та рекреації, оскільки уможливорює проведення наукового обґрунтування привабливості територій, оптимізацію розміщення інфраструктури та забезпечення сталого розвитку ландшафтів. У сучасних умовах, особливо з огляду на необхідність післявоєнного відновлення туристично-рекреаційного потенціалу України, цей інструмент може стати одним із ключових для прийняття рішень.

Методи. Методологія геоінформаційного моделювання зон видимості території базується на синтезі методів цифрової картографії, топографії, математики та геоінформатики. В її основі лежить геометричний алгоритм трасування променів у тривимірному просторі. При цьому цифрова картографія та топографія надають вхідні дані у вигляді цифрових моделей місцевості / цифрових моделей рельєфу, що враховують забудову й рослинність досліджуваної території; математичний апарат використовує тригонометричні обчислення для визначення кутів огляду та ліній прямої видимості; геоінформатика забезпечує растрові та векторні операції, трансформацію координат і візуалізацію результатів.

Результати. Визначено, що функціонал сучасних геоінформаційних систем на основі запропонованого алгоритму його використання повною мірою дозволяє здійснити автоматизацію процесу аналізу рельєфу, побудувати геоінформаційну модель зон видимості території й розробити обґрунтування вибору точок з найкращими панорамними властивостями для потреб туризму та рекреації.

Для встановлення просторових закономірностей результатів геоінформаційного моделювання зон видимості та визначення на основі результатуючих поверхонь інших їхніх кількісних параметрів важливими є картометричні операції (розрахунок площ видимих ділянок; порівняння одержаних площ між різними варіантами розміщення оглядових майданчиків для вибору найкращого з них; проведення класифікації ландшафту засобами геопросторового штучного інтелекту для уточнення оцінки його рекреаційної привабливості у межах об'єкта дослідження).

Надані рекомендації з вибору та налаштування інформаційного забезпечення для геоінформаційного моделювання зон видимості території значно полегшують його проведення та забезпечують оптимальний результат для потреб туризму та рекреації.

Висновки. Розкрито можливості геоінформаційного моделювання зон видимості території для цілей туризму та рекреації з візуалізацією результатів на прикладі тестової ділянки високогірної частини Українських Карпат.

Ключові слова: зони видимості, геоінформаційне моделювання, туризм, рекреація, ландшафт, цифрова модель місцевості, інформаційне забезпечення, класифікація.

Вступ

Геоінформаційне моделювання на основі просторових даних як складових цифрової моделі місцевості (ЦММ) є одним із сучасних методів вирішення різноманітних прикладних завдань у середовищі географічних інформаційних систем (ГІС). Серед таких завдань – визначення зон видимості території, що передбачає встановлення ділянок місцевості, які є видимими з певної точки або лінії огляду, і навпаки – прихованих, що в цілому дозволяє аналізувати просторові закономірності, оцінювати ефективність розташування спостережних пунктів чи комунікацій, оглядових майданчиків і т. п. Наприклад, для встановлення вез мобільного зв'язку, пожежних вишок чи відеоспостереження, оптимізації планування забудови місцевості, розроблення інфраструктурних проєктів, використання території для туризму та рекреації тощо.

На теперішньому етапі розвитку спеціалізованого програмного забезпечення аналіз видимості території з позиції спостерігача входить стандартною функцією до ряду багатофункціональних ГІС, що дозволяє виконання окресленої задачі для широкого прикладного застосування, зокрема для туризму та рекреації.

Метою даної статті є демонстрація практичного алгоритму геоінформаційного моделювання зон видимості території з урахуванням рельєфу місцевості для потреб туризму та рекреації.

На основі поставленої мети доцільним є виділення таких головних завдань:

1. Формулювання вихідних положень геоінформаційного моделювання зон видимості території для потреб туризму та рекреації.

2. Опис етапів алгоритму геоінформаційного моделювання зон видимості території для потреб туризму та рекреації.

3. Подання характеристики картометричних і деяких похідних операцій з результатуючими поверхнями геоінформаційного моделювання зон видимості території.

4. Визначення ролі класифікації ландшафту у підвищенні точності оцінки його естетичності.

5. Проведення огляду доступного інформаційного забезпечення для геоінформаційного моделювання зон видимості території та надання рекомендацій з його налаштування для практичного використання.

6. Представлення практичного прикладу геоінформаційного моделювання зон видимості території для потреб туризму та рекреації.

Об'єктом дослідження є частина реальної дійсності, яка засобами ГІС описана за допомогою цифрових геопросторових даних, геоінформаційне моделювання яких щодо зон видимості/невидимості у відповідному спеціалізованому програмному середовищі дає змогу вирішувати практичні завдання різної складності.

Предмет дослідження – інструментарій геоінформаційного моделювання зон видимості території для потреб туризму та рекреації.

Огляд літератури. Для визначення відправної точки у цьому дослідженні нами обрано для аналізу ряд вітчизняних і зарубіжних джерел, у яких розглядаються можливості вирішення різних завдань прикладного характеру у середовищі ГІС на основі моделей зон видимості/невидимості території.

У постановочній статті (Чайковський, 2026) проаналізовано просторову організацію поселення Обухів-2 з акцентом на розгляд тривимірних моделей зон видимості як обов'язкового структурного елемента для контролю й оборони території. За допомогою методів геоінформаційного аналізу підтверджено, що свідомий вибір місця поселення у певний історичний період забезпечував єдину візуальну мережу між археологічними пам'ятками.

У дослідженні (Omelchuk, Kuraieva, & Splodytel, 2020) подано досвід розробки цифрових моделей рельєфу (ЦМР) території та акваторії затоки Сульської поблизу національного парку "Нижньосульський" (Полтавська область). Вихідними даними для створення ЦМР стали існуючі топографічні та батиметричні карти. Автори зазначеної роботи вказують на необхідність використання тривимірного моделювання території дослідження (яке, на нашу думку, й актуалізує завдання визначення зон видимості території), оскільки саме такі моделі краще візуалізують і пояснюють вихідні й оброблені дані. Загалом, як зазначають автори аналізованої публікації, це дозволяє обмінюватися інформацією про зміни досліджуваних об'єктів навколишнього середовища.

Доволі класичний варіант виконання завдань з визначення зон видимості території описано у статті (Даник, & Балицький, 2018), зокрема за віртуально-реалістичними моделями обґрунтовується підвищення ефективності моніторингу (зондування) місцевості із застосуванням безпілотних літальних апаратів. Для цього запропоновано методику визначення раціональних траєкторій їхнього польоту при виконанні задач зі спостереження за ділянками місцевості, а також окремими об'єктами з необхідним оперативним коригуванням. Представлено методику розрахунку введеного показника ефективності моніторингу.

У роботі (Гулько, 2023) розглянуто використання різних методів побудови ЦМР на основі автоматичної інтер-

поляції, реалізованої у вузькофункціональному програмному продукті Surfer (Golden Software, США), що містить велику кількість методів побудови поверхні за нерівномірно розподіленими у просторі даними. Зазначимо, що незважаючи на 13 реалізованих методів інтерполяції в останній версії Surfer, придатними для реального практичного використання (коректної побудови ЦМР, зокрема й щодо визначення зон видимості території) є лише декілька, які реалізовані й у повнофункціональних ГІС. Це такі методи: Кріге, зворотних зважених відстаней, триангуляції з лінійною інтерполяцією. Ще одним прикладом використання Surfer, зокрема для побудови гідрологічно коректних ЦМР, є вітчизняна публікація (Bondarenko, 2003).

Важливою щодо оцінки точності ЦМР, які застосовуються для вирішення прикладних задач, є стаття (Федорчук, 2025), метою якої стало проведення просторового аналізу відносних відхилень висот таких моделей загальносвітового рівня для території України з урахуванням особливостей рельєфу, а також визначення ступеня узгодженості між моделями й умовними середніми значеннями висот. До порівняння з використанням графічного, просторового та статистичного аналізу автором зазначеної статті були залучені моделі ETOPO2022, NASADEM, AW3D30 та SRTMGL3. Оцінювання було виконано з урахуванням впливу типу рельєфу на відносні відхилення моделей. А створені графічні візуалізації дозволили відслідкувати закономірності ЦМР у регіональному розрізі. Зазначено, що отримані результати можуть бути використані для вибору оптимальної моделі рельєфу під конкретні завдання топографічного картографування, інженерного проєктування, геодезичного забезпечення та геоінформаційного моделювання.

У роботі представлено підхід до визначення видимого об'єму, який авторами названо тривимірною зоною видимості у кожній та у всіх точках ЦМР. A. R. Cervilla, S. Tabik, J. Vías, M. Mérida та L. F. Romero (2017) розробили ефективний алгоритм з високим ступенем повторного використання даних та обчислень. Вони представили карти повної тривимірної зони видимості разом з результатами підтвердження й порівняльного аналізу.

Стаття (Cilliers et al., 2023) присвячена проведенню оцінки візуального впливу на зорове сприйняття якості ландшафту та можливостей прийняття рішень у контексті оцінки впливу на навколишнє середовище. Зазначено, що аналіз видимості часто використовується для визначення цього впливу за допомогою різноманітних підходів, що використовують різні методи та вхідні дані. Авторами зазначеної роботи на першому етапі визначено підходи до аналізу видимості, які часто використовуються в практиці оцінки візуального впливу шляхом розгляду вибірки звітів такого впливу, що представляють 11 країн. Визначені підходи потім були оцінені на точність у різних ландшафтах за допомогою 72 симуляцій. Для визначення чутливості запропонованих підходів до різних змінних у різних ландшафтних контекстах було використано дисперсійний аналіз і виявлено, що тип використаної ЦМР є найважливішою змінною, що впливає на точність у всіх ландшафтах.

У дослідженні Ruzickova, Ruzicka та Bitta (2021) зазначено, що аналіз видимості (як інструмент ГІС) використовується в багатьох сферах для оцінки як видимих, так і невидимих місць. Аналіз видимості базується на ЦМР, яка описує морфологію місцевості, включаючи положення та форми всіх об'єктів, які іноді можуть виступати як бар'єри видимості. Однак, як зауважують автори вищезазначеної статті, деякі бар'єри, наприклад рослин-

ність, можуть бути певною мірою проникними. І незважаючи на широкі дослідження та використання аналізу видимості в різних сферах, стандартні інструменти сучасних ГІС не враховують проникність. У статті "A new GIS-compatible methodology for visibility analysis in digital surface models of earth sites" K. Ruzickova, J. Ruzicka, & J. Bitta (2021) представили новий метод розрахунку видимості крізь частково проникні перешкоди, який базується на квазімоделюванні Монте-Карло зі 100 ітераціями розрахунку видимості. Кожен результат ітерації являє 1 % проникності рослинності, яка може коливатися від 1 до 100 % видимості за рослинними перешкодами. Основною перевагою методу є більша точність результатів видимості та легка реалізація в будь-якому програмному забезпеченні ГІС. Підсумовано, що включення запропонованого методу до функціоналу ГІС полегшить роботу в багатьох галузях, таких як архітектура, археологія, радіозв'язок і військова справа.

У роботі Wang et al. (2023) зазначено, що обчислення зони видимості є центральним компонентом аналізу видимості, а більшість існуючих методів обчислення зони видимості використовують ЦМР регулярної квадратної сітки, маючи обмеження щодо врахування просторових зв'язків між спостерігачами, цілями та лінією видимості. Тому, враховуючи, що видимість домінує між спостерігачами та цілями, аналізоване дослідження пропонує метод обчислення зони видимості з використанням нового типу деревоподібної структури, "дерева перегляду", яка може ефективно витягувати лінію видимості з ЦМР для обчислення зони видимості. Запропонований Z. Wang, L. Xiong, Z. Guo, W. Zhang та G. Tang (2023) метод спочатку будує дерево перегляду, використовуючи комірки у ЦМР регулярної квадратної сітки відповідно до просторових співвідношень оклюзії між комірками. Потім метод обходить дерево перегляду, щоб оцінити видимість кожного вузла дерева й отримати зону видимості. Результати дослідження показали, що метод "дерева перегляду" на 40 % швидший, ніж традиційний метод R^2 (коефіцієнт детермінації, *авт.*). Метод дерева перегляду також зменшує рівень помилок і пропусків приблизно на 60 % порівняно з популярним методом XDraw (Zhu et al., 2019).

Важливою, на наш погляд, є публікація (Zhao et al., 2024), у якій її авторами проведено систематичний огляд літератури з аналізу видимості з метою розробки комплексної системи класифікації. У цій статті аналіз видимості класифікується на 2D, 2.5D та 3D-аналізи, підсумовуючи його широкі сфери застосування й аспекти дослідження. Хронологічно розглядаються різні алгоритми, порівнюючи їхні переваги й обмеження стосовно швидкості обробки, точності та застосовності. У роботі висвітлюються такі сучасні проблеми, як динамічний аналіз сцени та обробка даних з високою роздільною здатністю; пропонуються такі стратегії оптимізації, як зменшення розмірності даних, інтеграція даних відстеження погляду та використання глибокого навчання для підвищення надійності. В огляді також запропоновано практичну систему класифікації та розуміння майбутніх тенденцій досліджень в аналізі видимості.

Отже, відібрані та проаналізовані праці дають чітке загальне усвідомлення важливості й ефективності вирішення різних завдань на основі геоінформаційного моделювання зон видимості території, оцінки точності створених моделей тощо. При цьому їхня реалізація дає кращий результат роботи виключно у варіанті тривимірного та/або віртуально-реалістичного представлення ЦММ /

ЦМР, що по суті визначає необхідність подання алгоритмічної реалізації використання таких моделей у середовищі сучасних ГІС із застосуванням для потреб туризму та рекреації.

Методи

Методологія геоінформаційного моделювання зон видимості території базується на синтезі методів *цифрової картографії, топографії, математики та геоінформатики*. В її основі лежить геометричний алгоритм трасування променів у тривимірному просторі. При цьому цифрова картографія й топографія надають вхідні дані у вигляді ЦММ / ЦМР, що враховують забудову та рослинність досліджуваної території; математичний апарат використовує тригонометричні обчислення для визначення кутів огляду та ліній прямої видимості; геоінформатика забезпечує растрові та векторні операції, трансформацію координат і візуалізацію результатів.

Ключовими параметрами моделювання, які забезпечують точність створених моделей, є врахування *висоти точки спостереження* (характеризується висотою очей людини над поверхнею огляду); висоти (висот) об'єкта (об'єктів) спостереження; горизонтального кута огляду території; обмежень перегляду вгору / вниз (вертикальних кутів); радіусу видимості (максимальної відстані, на яку розраховується видимість); кривизни Землі та рефракції, що забезпечує корекцію світлових променів на великих відстанях.

Результати

1. Вихідні положення геоінформаційного моделювання зон видимості території для потреб туризму та рекреації

Потреби туризму та рекреації щодо проектування оглядових майданчиків територій, порівняння та вибір найкращих місць щодо естетики ландшафту тощо повністю забезпечуються функціоналом ГІС, який дозволяє здійснити автоматизацію аналізу рельєфу та обґрунтувати вибір точок з найкращими панорамними властивостями й характеристиками. Основними етапами цього процесу є побудова або використання готових ЦМР території дослідження та проведення візуального аналізу топографічної ділянки.

Програмним забезпеченням обрано ArcGIS Pro як сучасний 64-розрядний наступник ArcMap, що на сьогодні стає рекомендованим стандартом і має орієнтований на проекти інтерфейс (.arx), інтегровані 2D/3D можливості та глибоке хмарне підключення (ArcGIS Pro, 2026). Повноцінне використання ArcGIS Pro обумовлене чинною ліцензією від представника ESRI (розробник ArcGIS Pro) в Україні.

Оптимальний вибір туристичних майданчиків передбачає використання спеціалізованого модуля аналізу Spatial Analyst, що дає змогу провести аналіз зони видимості (Viewshed Analysis) та дозволяє визначити всі ділянки місцевості, які видно з конкретної точки. Це в цілому дозволяє оцінити ступінь охоплення, що можна порівняти із "глибиною" перегляду та виключенням так званих "сліпих зон".

Для побудови профілю між туристом (рекреантом), який виступає в ролі спостерігача, перебуваючи в місці огляду, та зацікавленою територією або окремими об'єктами на ній, необхідним є використання функції побудови лінії видимості (Line of Sight). Аналіз стрімкості схилів допомагає вибрати безпечні й доступні місця для проведення будівництва конструкцій туристичного майданчика (у випадку потреби такої побудови).

Під час вибору найкращих видових місць щодо оцінки естетики ландшафту ГІС дозволяє перевести суб'єктивну

красу краєвиду території до формальних об'єктивних показників: ландшафтної різноманітності, вертикальної розчленованості, визначення візуальних переваг, створення віртуально-реалістичних візуалізацій.

Показник *різноманітності ландшафту* передбачає розрахунок індексів мозаїчності, що забезпечується поєднанням елементів гідрографії, різних видів рослинності та об'єктів забудови (будівель, споруд). Логічно, що у переважній більшості випадків вища естетична цінність ландшафтів характеризується вищою різноманітністю їхніх складових у зоні видимості.

Коефіцієнт *вертикальної розчленованості* (як різниця між найвищими та найнижчими точками місцевості на одиницю площі) виступає одним із ключових показників естетичної цінності ландшафту, що визначає ступінь перепаду висот на певній території. Наприклад, висока розчленованість створює світлотіньове візуальне сприйняття форм рельєфу, формує багатоплановість, що характеризується багаторівневістю перегляду, безпосередньо пов'язаною з естетичною оцінкою ландшафтів, панорамність, яка забезпечує перегляд території згори, що по суті підсвідомо сприймається туристом як безпечна та приваблива позиція. Також слід указати на психологічний ефект вертикальної розчленованості ландшафту, що відповідає принципу асоціативного сприйняття помірної посіченості із гармонією та затишком, різкої посіченості – з можливими відчуттями грандіозності, замирання або захоплення.

Візуальні переваги визначають можливості ідентифікації туристичних об'єктів-акцентів (історичних пам'яток, природних скель), які фокусують увагу відвідувача. А *віртуально-реалістичні візуалізації* створюють моделі майбутнього вигляду з майданчика для здійснення попередньої оцінки естетичного ефекту.

2. Алгоритм геоінформаційного моделювання зон видимості території для потреб туризму та рекреації

Аналіз видимості в інтерфейсі ArcGIS Pro здійснюється інструментом Viewshed та/або його вдосконаленою версією Viewshed 2 і характеризується послідовністю

наступних доволі простих етапів, які автоматизують цей процес: підготовка вихідних даних для моделювання; інтерактивне налаштування параметрів спостерігача; власне процес аналізу видимості; формування попереднього рішення на основі змодельованого результату; проведення уточненого аналізу видимості ділянки місцевості; здійснення естетичної оцінки ландшафту території тощо.

Підготовка вихідних даних для моделювання зон видимості території для потреб туризму та рекреації означає вибір ЦМР, наданий розробником або доступний як альтернатива для завантаження із зовнішніх джерел. ЦМР є растровим шаром з висотними характеристиками, що реалізований у проєкційній системі координат, тобто системі відліку, яка базується на географічній системі координат, перетворений із 3D-поверхні Землі на площину за допомогою картографічних проєкцій (приміром, універсальної поперечної циліндричної проєкції Г. Меркатора) та використовує лінійні одиниці (у нашому випадку це мають бути метри) для вимірювання відстаней і кутів на картографічному зображенні.

Прогнозовані точки огляду (туристичні оглядові майданчики) необхідно позначити на карті шляхом векторизації растру ЦМР точковими об'єктами (символами) з автоматичним формуванням атрибутивної реляційної таблиці. Кількість об'єктів залежить від конкретних завдань моделювання, тому точка огляду може бути як одна, так і декілька.

Для підвищення точності геоінформаційного моделювання зон видимості / невидимості території до атрибутивної таблиці векторних точкових об'єктів слід додати декілька полів, що визначатимуть особливості *параметрів спостерігача*, а саме: висоту спостерігача над землею поверхнею (числове значення, що відповідає рівню очей спостерігача); висоти об'єктів спостереження, які є цікавими для перегляду, власне земна поверхня відповідає нульовому значенню; максимальну відстань територіального огляду. Усі поля мають передбачати введення числових типів даних (цілих і дійсних чисел).

Покроковий процес геоінформаційного аналізу видимості демонструє структурно-графічна модель (рис. 1).

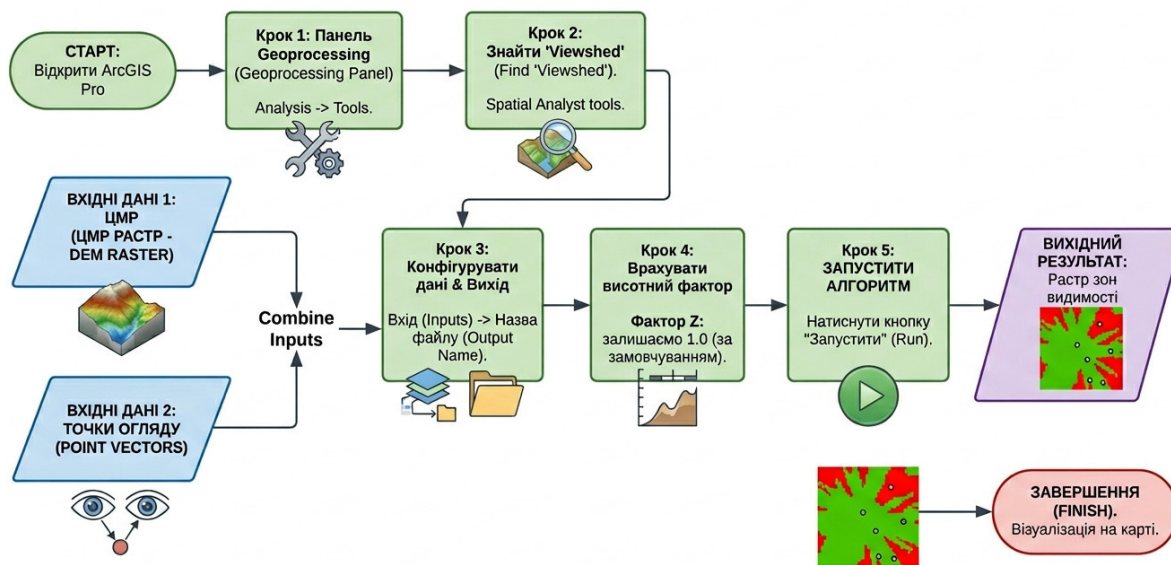


Рис. 1. Робочий процес геоінформаційного моделювання зон видимості/невидимості території в середовищі ArcGIS Pro (побудовано авторами на основі використання доступних ресурсів і власного досвіду)

Після завершення виконання алгоритму геоінформаційного моделювання зон видимості/невидимості території формується растрове зображення з відображенням видимих територій із визначених точок (значення 1 – зелений кольоровий тон) та так званих "сліпих зон" (значення 0 – червоний кольоровий тон), див. рис. 1.

Для *уточнення результатів* геоінформаційного моделювання зон видимості використання інструменту Visibility (Viewshed 2) дозволяє враховувати кривизну сферичної поверхні Землі й застосовувати аналіз позначених ліній видимості від точок огляду до обумовлених (обраних) об'єктів з генерацією профілю висот із зеленими (видимими) та червоними (невидимими) ділянками.

Естетична оцінка ландшафту передбачає визначення якісних параметрів результуючого зображення через накладання отриманої зони видимості на шар землекористування та/або кількісних характеристик у вигляді структури зображення у відсотковому співвідношенні "гідрографія – рослинність – забудова".

3. Картометричні та деякі похідні операції з результуючими поверхнями геоінформаційного моделювання зон видимості території

Важливим щодо встановлення просторових закономірностей результатів геоінформаційного моделювання зон видимості є також визначення на основі результуючих поверхонь інших їхніх кількісних параметрів, зокрема за допомогою картометричних операцій з ними та їхніми атрибутами.

До таких операцій, які можуть бути важливими для застосування у галузі туризму та рекреації, доцільно віднести: розрахунок площ видимих ділянок на основі атрибутивної таблиці геометричних об'єктів; порівняння одержаних площ видимих ділянок місцевості між різними варіантами розміщення майданчиків для вибору найкращого з них; проведення класифікації ландшафту для уточнення оцінки його рекреаційної привабливості у межах об'єкта дослідження.

Розрахунок *площі видимої зони* передбачає врахування роздільної здатності результуючого растра, що визначається розміром його пікселя. Зважаючи на те, що кожен елемент зображення займає певну площу, необхідно помножити кількість видимих клітинок на площу однієї клітинки. Розміри пікселів є частиною метаданих растрового зображення, тому їх легко визначити. Для прикладу, якщо значення (в екранній системі координат X, Y) становлять 30, 30, то площа одного пікселя – 900 кв. м.

Зміст атрибутивної таблиці растрового зображення містить записи зі значеннями 1 (видимими), 0 – невидимими та поле з кількістю пікселів (Кількість). Для розрахунку площі видимої зони створюється нове поле (умовно – *Площа видимої зони*) з типом даних, що міститиме числа із плаваючою комою. Туди будуть записані результати обчислень за формулою: [Кількість] * 900 згідно з наведеним прикладом. Для переведення одержаного значення у гектари треба його розділити на 10 000.

Під час проведення одночасного аналізу для багатьох обраних точок зі своїми ідентифікаторами атрибутивна таблиця міститиме визначену кількість записів, що дорівнює кількості виділених точок огляду. У цьому випадку передбачене групування даних за точкою та отримання загальної площі огляду для кожного майданчика. Це також найпростіший спосіб і відповідний критерій *об'єктивного вибору найкращого місця огляду* території.

Іншими критеріями для вибору найкращого варіанту оцінки результатів геоінформаційного моделювання зон видимості може бути *максимальна площа огляду*, що визначає масштабнішу панораму; *якість огляду* – для визначення конкретної точки, яка дає найбільший відсоток "цінних" для туризму та рекреації ландшафтів, наприклад, 40 % рослинності проти 10 % забудови; економічна доцільність (стосовно організації точки огляду) – точка з "гарним" видом, але на занадто стрімкому схилі, буде значно дорожчою у реалізації.

Багатоваріантність критеріїв визначає необхідність призначення кожному з них «ваги» (напр., площі – 60 %, доступності – 40 %) і використання спеціального інструмента для автоматичного визначення ідеальної точки огляду.

4. Роль класифікації ландшафту в підвищенні точності оцінки його естетичності

Класифікація ландшафту відіграє визначальну роль для підвищення точності оцінки його естетичності. Найоптимальнішими матеріалами для класифікації виступають наявні картографічні моделі покриття території дослідження (карти рослинності, зміст якої являє класифіковану територію за видами флори), базова карта краудсорсингового картографічного сервісу OpenStreetMap (цифрування якої дозволяє отримати класифіковані полігони рослинності (з розподілом на види), полілінії й полігони водних об'єктів, полігони забудованих територій) та дані дистанційного зондування Землі (спутникові знімки, обробка яких з виділенням класифікованих територій здійснюється засобами геопросторового штучного інтелекту (geoSI), вбудованого у функціонал ArcGIS Pro).

Для одержання числових значень площі кожного типу ландшафту в межах огляду необхідно перетворити векторні дані ландшафту до растрового формату з виконанням умов збігу розмірів пікселів нового растрового зображення з розміром пікселя результуючого растру Viewshed. Алгоритм класифікації растрового зображення продемонстровано на рис. 2.

Отримавши таблицю із площами за результатами класифікації (напр., рослинність у цілому – 53 га, водні об'єкти – 10 га, забудова – 2 га), можна розрахувати коефіцієнт естетичності ландшафту (K) за формулою:

$$K = (S_{\text{рослинності}} * W_1) + (S_{\text{водних об'єктів}} * W_2) - (S_{\text{збудови}} * W_3), \quad (1)$$

де S_i – площа класифікованих елементів змісту (типів рослинності, водних об'єктів, забудови), W_n – вага (для рослинності й водних об'єктів висока (+2.0), для забудови – низька або від'ємна (-1.0)).

Картографічна візуалізація на основі розрахованого коефіцієнта естетичності ландшафтів передбачає показ на карті лише тих типів ландшафтів, які потрапляють у зону видимості (приміром, з конкретно обраної точки 70 % огляду – це заповідний ліс).

5. Рекомендації з вибору та налаштування інформаційного забезпечення для геоінформаційного моделювання зон видимості території

Доступне інформаційне забезпечення для геоінформаційного моделювання зон видимості території значно спрощує вирішення поставленого завдання. Акцент тут спрямований на безкоштовні дані дистанційного зондування. Найоптимальнішими такими ресурсами, що містять безоплатні супутникові знімки, є платформи від Європейського космічного агентства (англ. абревіатура ESA) та Геологічної служби США (USGS).

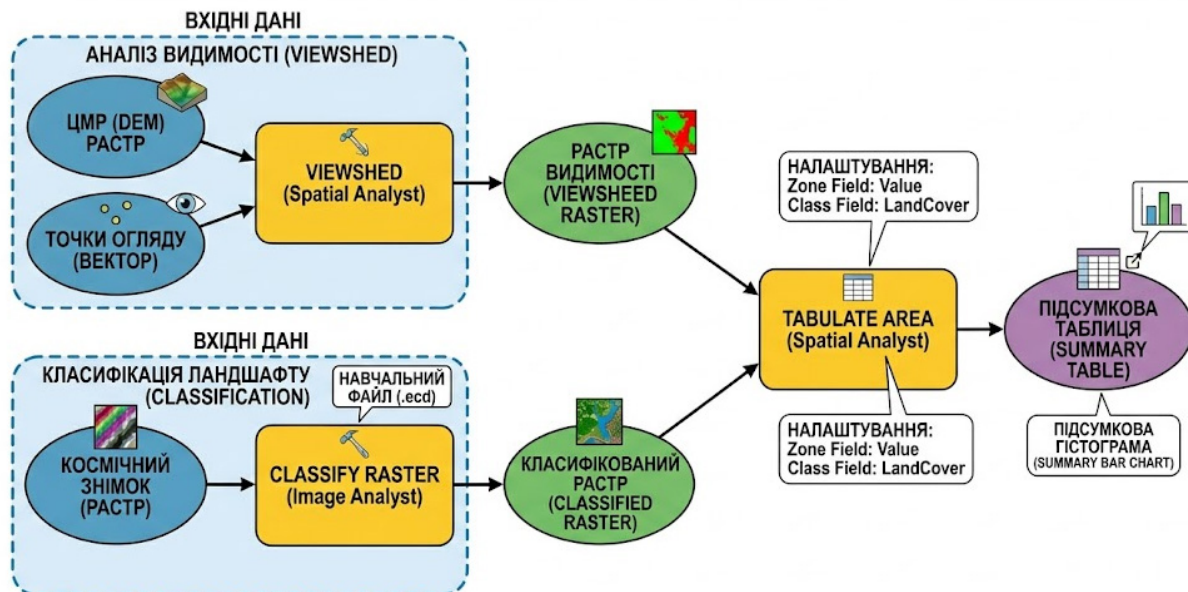


Рис. 2. Модель алгоритму класифікації ландшафту в середовищі ArcGIS Pro
(побудовано авторами на основі використання можливостей доступних ресурсів і власного досвіду)

Для проведення аналізу естетичності ландшафту доцільно використовувати супутникові знімки Sentinel-2, Landsat 8/9 або геозображення, що надаються ESRI.

Супутникові знімки Sentinel-2 мають найкращу роздільну здатність серед безкоштовних, яка становить 10 м (Соремікус Брауер, 2026). Знімки оновлюються кожні п'ять днів, що забезпечує високу достовірність одержаних результатів.

Головна перевага супутникових знімків Landsat 8/9 (EarthExplorer, 2026) полягає у наявності архіву даних за великий проміжок часу, хоча їхня роздільна здатність є нижчою порівняно із геозображеннями Sentinel-2 та становить 30 м.

У випадку відсутності достатніх компетентностей у проведенні класифікацій у процесі геоінформаційного аналізу даних, компанія ESRI полегшує цю роботу та надає класифіковані знімки на основі застосування інструментів геоШІ. Особливість растрових зображень полягає в тому, що їхні пікселі вже розподілені за класами "Гідрографія", "Рослинність", "Посівні площі сільськогосподарських культур", "Забудова".

Налаштування параметрів знімків для класифікації наведемо для геозображень з найбільшою роздільною здатністю, тобто Sentinel-2. Їхнє використання найкраще здійснювати за комбінаціями спектральних каналів, які роблять класифікаційні категорії максимально виразними. Перед налаштуванням каналів необхідно обов'язково об'єднати окремі файли каналів в один багатоканальний растр.

В ArcGIS Pro це роблять через вкладку автоматично або через мануальне налаштування. Зокрема, комбінація "Color Infrared" (Near Infrared, Red, Green) для супутників Sentinel-2 (канали B8, B4, B3) використовується для чіткого виділення рослинності, водних об'єктів і забудови. Здорова рослинність відображається яскраво-червоним кольором через високе відбиття в інфрачервоному діапазоні (B8), вода – темно-синім або чорним, а міські території – сіро-блакитними відтінками.

Комбінація "Short-wave Infrared" (канали B12, B8, B4) є найкращою для візуального розрізнення типів ландшафту. Результатом є показ рослинності зеленим

кольоровим тоном, сухої землі – коричневим, а забудованих ділянок – фіолетовим, що, по суті, є ідеальною композицією для достатньо швидкої візуальної оцінки естетичності ландшафту.

Якщо проєктований оглядовий майданчик орієнтований на гідрографію, доцільним є налаштування каналів за структурою (B3, B8, B12), у результаті чого водні об'єкти стають яскраво-синіми, що дозволяє чітко відділити їх від тіней дерев'яної рослинності чи будівель.

Математичний розрахунок густоти зелені за формулою $(B8 - B4) / (B8 + B4)$ традиційно та вже тривалий час здійснюється на основі нормалізованого вегетаційного індексу (англ. скор. NDVI). Результатом стає тематичний шар, у якому значення змінюються від -1 до 1. У такому варіанті все, що більше 0,5, є густим лісом або парком. А це, по суті, ключовий параметр естетики ландшафту.

6. Практичний приклад геоінформаційного моделювання зон видимості для потреб туризму та рекреації

Наочним результатом геоінформаційного моделювання зон видимості для потреб туризму та рекреації згідно з алгоритмом (див. рис. 2) стала частина території Рахівського району Закарпатської області, де розташований найвищий гірськолижний курорт України – Драгобрат, який знаходиться в оточенні хвойних лісів на Свидовецькому хребті Українських Карпат (перепад висот у цьому районі становить від 1300 до понад 1700 м).

Вибір об'єкта для демонстрації практичного прикладу геоінформаційного моделювання зон видимості пов'язаний із важкодоступністю зазначеної території, яка в той же час характеризується унікальністю за збереженістю природного середовища та етнокультурних традицій. Ще одним і не менш важливим чинником вибору дослідницької ділянки виступає розташування у радіусі близько 25 км від гори Стіг бази проведення польових практик студентів географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка "Ясіня", що знаходиться в с. Чорна Тиса.

Серед завдань навчальних практик студентів-географів різних освітніх програм є здобуття як туристичних компетентностей (розроблення та проходження маршрутів;

розуміння рекреаційно-туристичних ресурсів та ін.), так і дослідження природних комплексів різних типів (гірсько-схиливих, полонинних, долинних) із проведенням аналізу геоecологічних наслідків можливого господарського використання територій у басейні однойменної річки.

Для визначення зон прямої видимості логічно було обрано два майданчики. Перший розташований у межах бази практик, другий – на горі Стіг. Вони зорієнтовані для одержання площ видимих зон і визначення ваги кожної з точок щодо підтвердження якості огляду.

Відповідно до сформульованих рекомендацій з вибору та налаштування програмного забезпечення для

геоінформаційного моделювання зон видимості було опрацьовано космічні знімки на територію дослідження та встановлено ключовий параметр естетичності ландшафту для неї, який у середньому становив 0,65, що підтверджує високий коефіцієнт естетичності ландшафту.

Створена засобами ГІС ArcGIS Pro модель (рис. 3) демонструє зони прямої видимості у гірській місцевості навколо двох ключових точок і допомагає оцінити географічне розташування об'єктів, а також їхній візуальний зв'язок із навколишніми схилами.

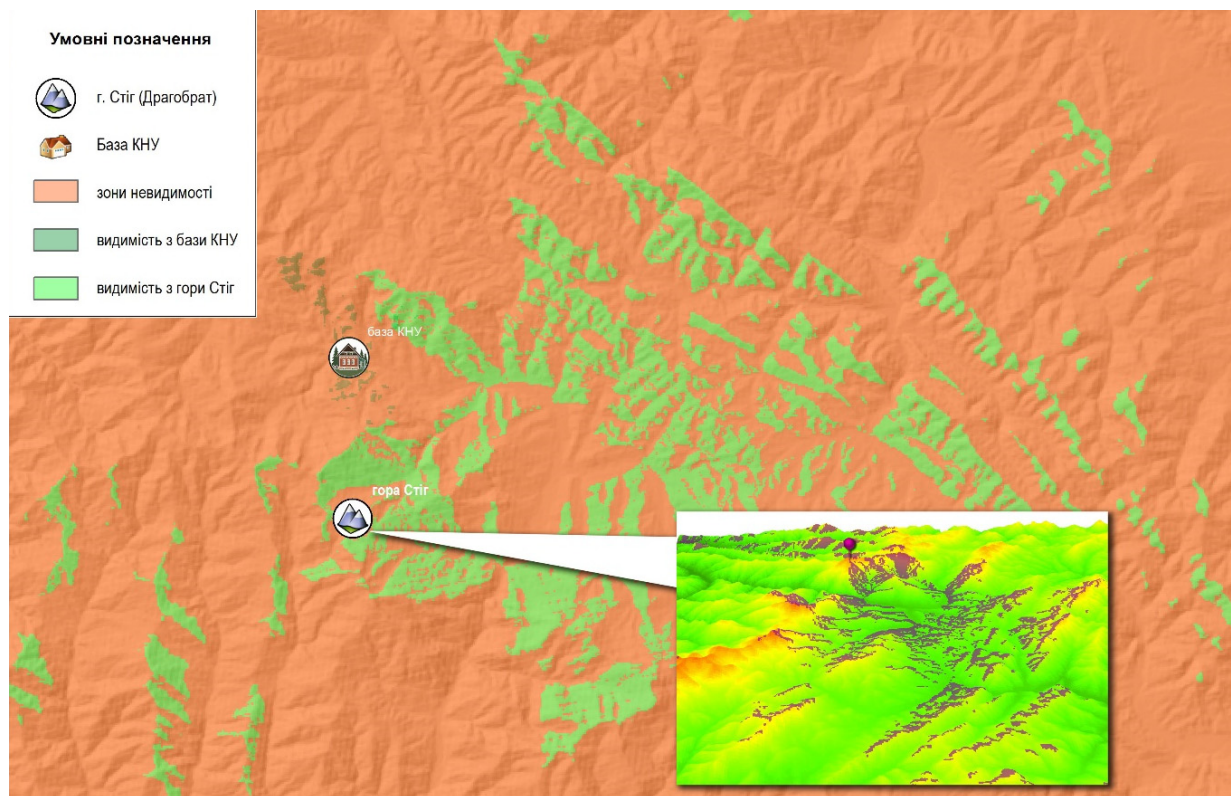


Рис. 3. Геоінформаційна модель зон видимості
(побудовано авторами у середовищі ArcGIS Pro)

Такий аналіз є важливим для подальших картографічних досліджень і проведення планування туристичних маршрутів у цьому регіоні.

На розробленій моделі зеленим кольоровим тоном позначено території, які можна спостерігати безпосередньо з бази університету, тоді як рожеві ділянки охоплюють краєвид з вершини гори. Одночасне використання супутникового знімка та тривимірної моделі рельєфу дозволяє чітко зрозуміти особливості ландшафту та перешкоди, що обмежують огляд.

Логічно, що зона видимості з університетської бази практик значно менша, ніж із гори Стіг, через особливості гірського рельєфу та різницю у висоті розташування цих об'єктів.

Гора Стіг є найвищою точкою даної місцевості, що забезпечує їй відкритий горизонт і можливість огляду навколишніх територій на велику відстань у багатьох напрямках. Натомість навчальна база розташована на значно меншій висоті та ще й у міжгір'ї, тому сусідні схили і вершини виступають як фізичні перешкоди, що перекривають лінію зору (створюючи т. зв. зони "невидимості").

На основі проведення картометричних операцій за формулою, що наведено вище, було розраховано площі видимих ділянок із двох обраних точок (майданчиків) спостереження. З майданчику на території навчальної бази практик Київського національного університету імені Тараса Шевченка площа зони видимості становила 474 га. Натомість з оглядового майданчика на горі Стіг – 30 522 га, що логічно визначає її як найоптимальнішу точку спостереження для оцінки естетики (рекреаційної привабливості) ландшафту.

Дискусія і висновки

Дискусійні питання щодо практичної частини дослідження можуть бути пов'язані з точністю та методологією розрахунків, зокрема використанням ЦММ чи лише ЦМР. У випадку, якщо модель не враховує висоту лісу, то реальна видимість може бути значно меншою, ніж теоретично розрахована. Критично важливим є також параметр висоти, на якій знаходиться "око" спостерігача над рівнем поверхні землі. Не менш значущим є питання щодо врахування висоти снігового покриву взимку.

При розрахунку видимості на великі відстані також дискусійними можуть бути питання стосовно коефіцієнтів заломлення світла в атмосфері, які можуть візуально "піднімати" об'єкти за горизонтом.

Істотною проблемою може бути обговорення доцільності використання імовірнісних моделей, які враховують туман, опади або обмежену гостроту людського зору на великих відстанях.

У цілому в результаті проведеного дослідження зроблено такі висновки:

1. Сформульовано вихідні положення геоінформаційного моделювання зон видимості території для потреб туризму та рекреації, що базуються на функціоналі ГІС, який дозволяє здійснити автоматизацію аналізу рельєфу та зробити обґрунтування вибору точок з найкращими панорамами властивостями і характеристиками.

2. Алгоритм геоінформаційного моделювання зон видимості території для потреб туризму та рекреації забезпечується послідовністю взаємопов'язаних кроків: підготовки вихідних даних для моделювання; інтерактивного налаштування параметрів спостерігача; власне процесу аналізу видимості; формування попереднього рішення на основі змодельованого результату; проведення уточненого аналізу видимості ділянки місцевості; здійснення естетичної оцінки ландшафту території тощо.

3. Картометричні операції є важливими щодо встановлення просторових закономірностей результатів геоінформаційного моделювання зон видимості та визначення на основі результатуючих поверхонь інших їхніх кількісних параметрів, зокрема розрахунок площ видимих ділянок на основі атрибутивної таблиці геометричних об'єктів; порівняння одержаних площ видимих ділянок місцевості між різними варіантами розміщення майданчиків для вибору найкращого з них; проведення класифікації ландшафту для уточнення оцінки його рекреаційної привабливості у межах об'єкта дослідження.

4. Класифікація відіграє визначальну роль для підвищення точності оцінки естетичності ландшафту, що уможливорює використання наявних картографічних моделей рослинності території дослідження, а також даних дистанційного зондування Землі.

5. Надані рекомендації з вибору та налаштування інформаційного забезпечення для геоінформаційного моделювання зон видимості території значно полегшують його проведення та забезпечують оптимальний результат.

6. Представлений практичний приклад геоінформаційного моделювання зон видимості території для потреб туризму та рекреації (на обраній ділянці території) наочно забезпечує демонстрацію можливостей сучасних ГІС-технологій.

Внесок авторів: Едуард Бондаренко – концептуалізація; методологія; написання (перегляд і редагування); Тетяна Дудун – формальний аналіз; написання (оригінальна чернетка); Ольга Яценко – практичні приклади; написання (оригінальна чернетка).

Джерела фінансування. Автори заявляють про відсутність зовнішнього фінансування для проведення цього дослідження та підготовки рукопису до публікації.

Список використаних джерел

Бондаренко, Е. Л. (2003). Аналіз функціональних можливостей програмного продукту Surfer для створення цифрових моделей рельєфу. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: наук. збірник*, 5, 359–364.

Гулько, І. (2023). Аналіз методів цифрового моделювання рельєфу на основі просторової інтерполяції (Ч. 1). *Комуніальне господарство міст. Серія: "Інформаційні технології та інженерія"*, 3(177), 74–79. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-3-177-74-79>

Даник, Ю. Г., & Балицький, І. І. (2018). Методика оцінки ефективності повітряного моніторингу місцевості із застосуванням безпілотних літальних апаратів. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, 2(32), 37–44. <https://sit.nuou.org.ua/article/view/157663/15756>

Федорчук, А. (2025). Просторовий аналіз точності рельєфу глобальних цифрових моделей рельєфу для території України. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 2(50), 69–79. <https://doi.org/10.33841/1819-1339-2-50-69-79>

Чайковський, М. (2026). "Зони видимості" як обов'язковий елемент поселенської структури (на прикладі Обухів-2). *Хроніки Обухова*. <https://obukhiv.info/news/zoni-vidimosti-yak-obovyazkoviy-element-poselenskoj-strukturi-na-prikladi-obukhiv-2/>

ArcGIS Pro. (2026). *GIS Software for Mapping and Spatial Analytics*. Esri. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>

Cervilla, A. R., Tabik, S., Vías, J., Mérida, M., & Romero, L. F. (2017). Total 3D-viewshed Map: Quantifying the Visible Volume in Digital Elevation Models. *Trans. in GIS*, 21, 591–607. <https://doi.org/10.1111/tgis.12216>

Cilliers, D., Cloete, M., Bond, A., Retief, F., Alberts, R., & Roos, C. (2023). A critical evaluation of visibility analysis approaches for visual impact assessment (VIA) in the context of environmental impact assessment (EIA). *Environmental Impact Assessment Review*, 98, 106962. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106962>

Copernicus Browser. (2026). Copernicus Browser. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>

EarthExplorer. (2026). EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Omelchuk, O. V., Kuraieva, I. V., & Splodytel, A. O. (2020, May). GIS modeling of the territory and water area of protected areas. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020*, vol. 2020, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo114>

Ruzickova, K., Ruzicka, J., & Bitta, J. (2021). A new GIS-compatible methodology for visibility analysis in digital surface models of earth sites. *Geoscience Frontiers*, 12(4), 101109. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.11.006>

Wang, Z., Xiong, L., Guo, Z., Zhang, W., & Tang, G. (2023). A view-tree method to compute viewsheds from digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Science*, 37(1), 68–87. <https://doi.org/10.1080/13658816.2022.2094385>

Zhao, J., Xu, A., Zhang, X., Zhang, Y., Cao, M., & Huang, M. (2024). Overview and Prospects of Visibility Analysis Approaches. *31st International Conference on Geoinformatics, Toronto, ON, Canada, 14–16 August 2024. Proceedings*, 110(1), 110028. <https://doi.org/10.3390/proceedings2024110028>

Zhu, G., Li, J., Wu, J., Ma, M., Wang, L., & Jing, N. (2019). HiXDraw: An Improved XDraw Algorithm Free of Chunk Distortion. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3), 153. <https://doi.org/10.3390/ijgi8030153>

References

ArcGIS Pro. (2026). *GIS Software for Mapping and Spatial Analytics*. Esri. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>

Bondarenko, E. L. (2003). Analysis of the functional capabilities of the Surfer software product for creating digital terrain models. *Hydrology, Hydrochemistry, Hydroecology: Scientific Collection*, 5, 359–364 [in Ukrainian].

Cervilla, A. R., Tabik, S., Vías, J., Mérida, M., & Romero, L. F. (2017). Total 3D-viewshed Map: Quantifying the Visible Volume in Digital Elevation Models. *Trans. in GIS*, 21, 591–607. <https://doi.org/10.1111/tgis.12216>

Chaykovskyy, M. (2026). "Visibility zones" as a mandatory element of the settlement structure (on the example of Obukhiv-2). *Chronicles of Obukhiv* [in Ukrainian]. <https://obukhiv.info/news/zoni-vidimosti-yak-obovyazkoviy-element-poselenskoj-strukturi-na-prikladi-obukhiv-2/>

Cilliers, D., Cloete, M., Bond, A., Retief, F., Alberts, R., & Roos, C. (2023). A critical evaluation of visibility analysis approaches for visual impact assessment (VIA) in the context of environmental impact assessment (EIA). *Environmental Impact Assessment Review*, 98, 106962. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106962>

Copernicus Browser. (2026). Copernicus Browser. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>

Danyk, Y. G., & Balytskyy, I. I. (2018). Methodology for assessing the effectiveness of aerial monitoring of the terrain using uncrewed aerial vehicles. *Modern information technologies in the field of security and defense*, 2(32), 37–44 [in Ukrainian]. <https://sit.nuou.org.ua/article/view/157663/15756>

EarthExplorer. (2026). EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Fedorchuk, A. (2025). Spatial Analysis of the Elevation Accuracy of Global Digital Elevation Models for the Territory of Ukraine. *Modern Advances in Geodetic Science and Production*, 2(50), 69–79 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33841/1819-1339-2-50-69-79>

Hunko, I. (2023). Analysis of methods for digital terrain modeling based on spatial interpolation (Part 1). *Municipal economy of cities. Series: "Information Technology and Engineering"*, 3(177), 74–79 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-3-177-74-79>

Omelchuk, O. V., Kuraieva, I. V., & Splodytel, A. O. (2020, May). GIS modeling of the territory and water area of protected areas. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020*, vol. 2020, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo114>

Ruzickova, K., Ruzicka, J., & Bitta, J. (2021). A new GIS-compatible methodology for visibility analysis in digital surface models of earth sites. *Geoscience Frontiers*, 12(4), 101109. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.11.006>

Wang, Z., Xiong, L., Guo, Z., Zhang, W., & Tang, G. (2023). A view-tree method to compute viewsheds from digital elevation models. *International*

Journal of Geographical Information Science, 37(1), 68–87.
<https://doi.org/10.1080/13658816.2022.2094385>

Zhao, J., Xu, A., Zhang, X., Zhang, Y., Cao, M., & Huang, M. (2024). Overview and Prospects of Visibility Analysis Approaches. *31st International Conference on Geoinformatics, Toronto, ON, Canada, 14–16 August 2024. Proceedings*, 110(1), 110028. <https://doi.org/10.3390/proceedings2024110028>

Zhu, G., Li, J., Wu, J., Ma, M., Wang, L., & Jing, N. (2019). HiXDraw: An Improved XDraw Algorithm Free of Chunk Distortion. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3), 153. <https://doi.org/10.3390/ijgi8030153>

Отримано редакцією журналу / Received: 28.02.26
 Прорецензовано / Revised: 06.04.26
 Схвалено до друку / Accepted: 30.04.26
 Опубліковано / Published: 30.05.26

Eduard BONDARENKO, DSc (Geogr.), Prof.
 ORCID ID: 0000-0002-2295-146X
 e-mail: eduardbondarenko@knu.ua
 Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Tetiana DUDUN, PhD (Geogr.), Assoc. Prof.
 ORCID ID: 0000-0002-9960-9793
 e-mail: t.dudun@knu.ua
 Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Olga YATSENKO, Assist.
 ORCID ID: 0000-0001-5534-0211
 e-mail: o_yatsenko@knu.ua
 Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

GEOINFORMATION MODELING OF VISIBILITY ZONES OF THE TERRITORY FOR TOURISM AND RECREATION

Background. Geoinformation modelling of visibility zones is extremely relevant for tourism and recreation, as it enables scientific justification of the attractiveness of territories, optimization of infrastructure placement, and sustainable landscape development. In modern conditions, especially given the need to restore Ukraine's tourism and recreational potential after the war, this tool can become a key decision-making tool.

Methods. The methodology for geoinformation modelling of the territory's visibility zones is based on the synthesis of methods from digital cartography, topography, mathematics, and geoinformatics. It is based on a geometric ray-tracing algorithm in three-dimensional space. At the same time, digital cartography and topography provide input data in the form of digital terrain models / digital relief models, which take into account the construction and vegetation of the studied territory; the mathematical apparatus uses trigonometric calculations to determine the viewing angles and lines of direct visibility; geoinformatics provides raster and vector operations, coordinate transformation, and visualization of the results.

Results. It was determined that the functionality of modern geographic information systems based on the proposed algorithm of its use fully allows for the automation of the process of terrain analysis, the construction of a geographic information model of the visibility zones of the territory, and the development of a justification for the selection of points with the best panoramic properties for the needs of tourism and recreation.

To establish spatial patterns in the results of geographic information modeling of visibility zones and determine other quantitative parameters based on the resulting surfaces, cartometric operations are important (calculation of the areas of visible areas; comparison of the resulting areas between different options for placing observation platforms to select the best one; landscape classification using geospatial artificial intelligence to refine the assessment of its recreational attractiveness within the research object).

The recommendations for selecting and configuring information support for geographic information modelling of the territory's visibility zones significantly facilitate implementation and deliver optimal results for tourism and recreation.

Conclusions. The possibilities of geoinformation modelling of visibility zones of the territory for tourism and recreation purposes are demonstrated through the visualization of results, using a test site in the highland part of the Ukrainian Carpathians.

Keywords: visibility zones, geoinformation modelling, tourism, recreation, landscape, digital terrain model, information support, classification.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; у рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study, in the collection, analysis or interpretation of data, in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.