

Картографічне моделювання просторової структурної організації краєвидів Дніпропетровської області

Олег В. Сизенко 

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, просп. Науки, 72, Дніпро, 49045, Україна

Анотація

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні та апробації методики антропоцентричної оцінки візуального ландшафтного різноманіття на прикладі Дніпропетровської області. Робота спрямована на подолання розриву між традиційним двовимірним картографуванням та особливостями сприйняття простору спостерігачем, що дозволяє кількісно оцінити візуальне різноманіття ландшафту та його структуру. В основу роботи покладено інтеграцію методів геоінформаційного моделювання. Використано цифрову модель поверхні Copernicus GLO-30 та дані про наземний покрив ESA WorldCover. Для аналізу застосовано розрахунок двох типів показників: тотальний видозбір ландшафту для оцінки загального візуального потенціалу території та кумулятивний видозбір для визначення структурних особливостей краєвидів із регулярної сітки осередків. Оцінка різноманіття здійснювалася за допомогою ландшафтних метрик (індекси Шеннона, перемішаності та когезії). Автором розроблено та обчислено інтегральний індекс візуальної гетерогенності (VHI).

У статті здійснено картографічне моделювання просторової структурної організації краєвидів регіону. Встановлено залежність фізіогномічних характеристик краєвидів Дніпропетровської області від морфології рельєфу та характеру землекористування. Встановлено, що найвищі показники візуальної гетерогенності притаманні не лише природно розчленованим територіям (Придніпровська височина), але й антропогенно трансформованим гірничопромисловим районам (Криворіжжя, Нікопольщина), які формують своєрідні «техногенні оази» візуального різноманіття на тлі монотонних агроландшафтів.

Запропонований підхід дозволяє розглядати краєвиди як об'єктивні просторові композиції. Це дає змогу здійснити кількісну характеристику краєвидів як носіїв (джерел) культурних екосистемних послуг, що є важливим кроком у реалізації положень Європейської ландшафтної конвенції. Розроблена модель враховує візуальні аспекти ландшафту та може бути використана у ландшафтному плануванні, рекреаційній оцінці території та збереженні ландшафтного ресурсного потенціалу.

Ключові слова

видозбір, краєвид, візуальна гетерогенність, наземна поверхня, фізіогномія ландшафтів, ізоплетне картографування, VHI-ізоплети.

Надійшла до редакції: 26 грудня 2025 / Прийнята: 19 січня 2026 / Опублікована онлайн: 21 січня 2026

Cartographic modeling of the spatial structural organization of landscapes of the Dnipropetrovsk region

Oleh V. Syzenko

Oles Honchar Dnipro National University, 72 Nauky Ave., Dnipro, 49045, Ukraine

Abstract

The research aims to substantiate and approve a method for the anthropocentric assessment of visual landscape diversity, using the Dnipropetrovsk region as a case study. The work addresses the gap between traditional 2D mapping and the observer's spatial perception, allowing for the quantitative evaluation of landscape visual diversity and its structure. The study integrates GIS-based modeling methods, utilizing the Copernicus GLO-30 Digital Surface Model and ESA WorldCover data. The analysis involves two types of indicators: total viewshed to evaluate the general visual potential of the territory, and cumulative viewshed to determine the structural features of scenery from a regular grid. Diversity was assessed using landscape metrics (Shannon's Diversity Index, Interspersion and Juxtaposition Index, and Cohesion Index). The author developed and calculated an Integrated Visual Heterogeneity Index (VHI). The article presents the cartographic modeling of the spatial structural organization of the region's scenery. It was revealed that the physiognomic characteristics of viewscapes in the Dnipropetrovsk region significantly depend on relief morphology and land-use patterns. It was established that the highest indicators of visual heterogeneity are inherent not only to naturally dissected terrains (Prydniprovsk Upland) but also to anthropogenically transformed mining districts (Kryvyi Rih and Nikopol areas), which form distinctive "technogenic oases" of visual diversity amidst monotonous agrolandscapes. The proposed approach treats scenery as objective spatial compositions. This enables the quantitative characterization of scenery as carriers (sources) of cultural ecosystem services, representing a significant step toward implementing the European Landscape Convention. The developed model considers the visual aspects of the landscape and can be applied in landscape planning, recreational assessment, and the conservation of landscape resource potential.

Keywords

viewshed, viewscope, visual heterogeneity, land surface, landscape physiognomy, isopleth mapping, VHI- isopleths

Received: 26 December 2025 / Accepted: 19 January 2026 / Published online: 21 January 2026

Corresponding author:

Oleh V. Syzenko, Oles Honchar Dnipro National University, 72 Nauky Ave., Dnipro, 49045, Ukraine
Email: syzenko@if.dnu.edu.ua

1. Вступ

Одним із найбільш суперечливих і неоднозначних понять сучасної геонауки є ландшафт, яке було наріжним каменем географічної академічної традиції протягом останніх століть і досі відіграє ключову роль у створенні, збереженні та укріпленні територіальних ідентичностей на усіх рівнях (Лозинський, 2020). Ландшафт став інтегративним поняттям багатьох дисциплін, а його багатоаспектність поглибила зв'язки між галузями знань і практичної діяльності. Впровадження на початку ХХІ ст. “Європейської ландшафтною конвенції” (Council of Europe Landscape..., 2000) надало нового поштовху ландшафтознавчим дослідженням та спричинило зміщення акцентів у бік візуально-естетичних властивостей ландшафтів як різновиду культурних екосистемних послуг.

Формальні методики вивчення візуальних характеристик геопростору можна знайти у різних царинах, таких як урбаністика (Yang et al., 2024), екологія (Aben et al., 2018), ландшафтне планування (Anderson et al., 2019), археологія (Van Dyke et al., 2016). Проте традиційне для географічної науки розуміння геопростору як квазидвовимірної проєкції поверхонь на площину карти зазвичай не враховує той факт, що візуальне сприйняття ландшафту залежить не лише від масштабного рівня, а й від позиції спостерігача. Хоричну впорядкованість ландшафту розкривають моделі, які ґрунтуються на відмінностях у територіальній конфігурації місць, а не на ознаках, що визначають ландшафт як територіально недиференційовану цілісність. Така принципова неузгодженість між двома дуже відмінними методологічними підходами до вивчення ландшафту призводить до різних аспектних інтерпретацій та розмиття семантичних меж цього поняття.

У той час як більшість підходів, заснованих на сприйнятті, явно мають справу з ментальними, асоціативними, ціннісними, а відповідно – суб'єктивними категоріями, краєвид, на наш погляд, є цілком об'єктивним і формується полем видимості, що визначається геопозицією спостерігача у тривимірному геопросторі та неоднорідністю поверхні, що є зовнішнім проявом динаміки геосистем. Термін *видозбір* вперше увів у науку геодезист і ландшафтний дизайнер К. Тенді (Tandy, 1967), а поступальний розвиток геоінформаційних технологій зробив моделювання видимості загальнодоступним завдяки застосуванню алгоритмів широко розповсюдженого програмного забезпечення та цифрових моделей висот, створених засобами дистанційного зондування. Так, у період з 2000 по 2019 роки англійською мовою у відкритих рецензованих виданнях було опубліковано матеріали 528 досліджень, присвячених вивченню видозбірних властивостей ландшафтів, з яких 69 % були засновані на кількісному та/або геоінформаційному аналізі (Inglis et al., 2022). На відміну від бінарного аналізу видимості, моделювання *краєвидів* фокусується на структурі огляду. Ми визначаємо такі краєвиди як просторові композиції видимої поверхні землі, що дозволяє вийти за межі простої фіксації видимих ділянок.

Незважаючи на те, що кількість публікацій, особливо у європейських країнах, стабільно зростає і в наш час, у вітчизняній науці питання залишається недостатньо розробленим. Відзначимо лише публікацію Р. Кулачковського та І. Круглова (Кулачковський та Круглов, 2016), в якій розглядаються ландшафтні видозбори, виділені на підставі морфологічних класів наземного покриття у межах форм мезорельєфу з наступною естетичною метризацією їхньої просторової структури.

Це дослідження має на меті обґрунтування та апробацію методики антропоцентричної оцінки візуального ландшафтного різноманіття, визначеного морфологією наземної поверхні, що структурує видимий геопростір та може бути змодельована засобами ГІС. Об'єктом дослідження є краєвиди Дніпропетровської області, предметом – структурна організація кумулятивних видозборів, виражена різноманіттям територіальної композиції типів наземного покриття.

2. Концептуальні основи

Видимість у широкому розумінні є математичною абстракцією, що визначається конфігурацією простору. Головним обмежувачем зони видимості на земній поверхні є її кривизна, що формує математичний горизонт, віддаль до якого залежить від висоти точки спостереження відносно поверхні. Через рефракцію світла в атмосфері реальна дальність видимого горизонту може не співпадати з математичною. Видозбір (*англ. viewshed*) є частиною геопростору, що видима з певної геопозиції (осередку) (Tandy, 1967); видозбори є географічним різновидом полігонів видимості.

Околи видозборів у ландшафті, окрім кривизни земної поверхні, обмежені рельєфом, рослинним покривом і спорудами, які є перепонами, що створюють закриті для огляду ділянки місцевості, а також окреслюють обрій. Для означення видимої поверхні суходолу, сформованої топографічною поверхнею, водами суходолу, льодовим покривом, рослинністю, створеними людиною нерухомими об'єктами пропонуємо вживати термін *наземна поверхня*; саме ця поверхня безпосередньо фіксується активними сенсорними системами дистанційного зондування. Видозбірний аналіз полягає у визначенні всіх геопозицій, що можуть бути безперешкодно з'єднаними із осередком лінією прямої видимості. Розміри і конфігурація околів видозборів визначають топографічну відкритість місцевості (Yokoyama et al., 2002) – кутовий вимір зв'язку рельєфу з відстанню до обрію.

Обмежене видозбором поле візуального огляду визначається горизонтальним та вертикальним оглядовими кутами. Горизонтальний кут залежить від фізіологічних особливостей та рухомості сенсорної системи спостерігача: у нерухомому осередку для рухомого спостерігача поле візуального огляду може охоплювати до 360° поземно, для нерухомого спостерігача – відповідно до його фізіологічно обумовленого зорового поля, що для здорової людини

в середньому становить від 94° до 104° для кожного ока, близько 180° загалом (з урахуванням периферійного зору) та близько 125° для стереоскопічного фокусування (Smythies, 1996). Переміщення самого осередку огляду звужує горизонтальний кут у напрямку руху і залежить від швидкості та оглядових характеристик транспортного засобу (якщо такий використовується). Наприклад, пішохідна прогулянка забезпечує 360° горизонтальної оглядовості, цілеспрямований рух або пробіжка – близько 124° , вело- чи мотопогулянка – близько 90° (Panero et al., 1979; Department of Transportation, 2015).

Якщо горизонтальний кут огляду визначає частину видозбору, доступну для сприйняття, вертикальний кут є ключовим для сприйняття відстані та зовнішнього вигляду об'єктів з точки зору хорологічних взаємовідносин. Залежно від повноти сенсорного сприйняття Й. Граньо

(Granö, 1929) розрізняв ближнє оточення (нім. *Nahsicht*), яке людина здатна сприймати усіма органами чуття на противагу віддаленому оточенню (нім. *Fernsicht*), що сприймається лише органами зору.

Поле візуального огляду можна умовно розділити на три плани (Antrop et al., 2017; Гродзинський, 2005): ближній, у якому можливе стереоскопічне сприйняття об'єктів місцевості в їх натуральну величину, дальній, об'єкти у якому сприймаються двовірно, та середній, що плавно поєднує ці дві різні проєкції; умовною межею між ближнім та дальнім планами є гранична відстань стереоскопічного зору. Т. Хігучі (Higuchi, 1983) пропонує обмежувати ближній план лінією, що визначається вертикальним кутом огляду, рівним -10° доземно; середній план – від -10° до обрїю, дальній – для об'єктів, що окреслюють обрїй (рис. 1).

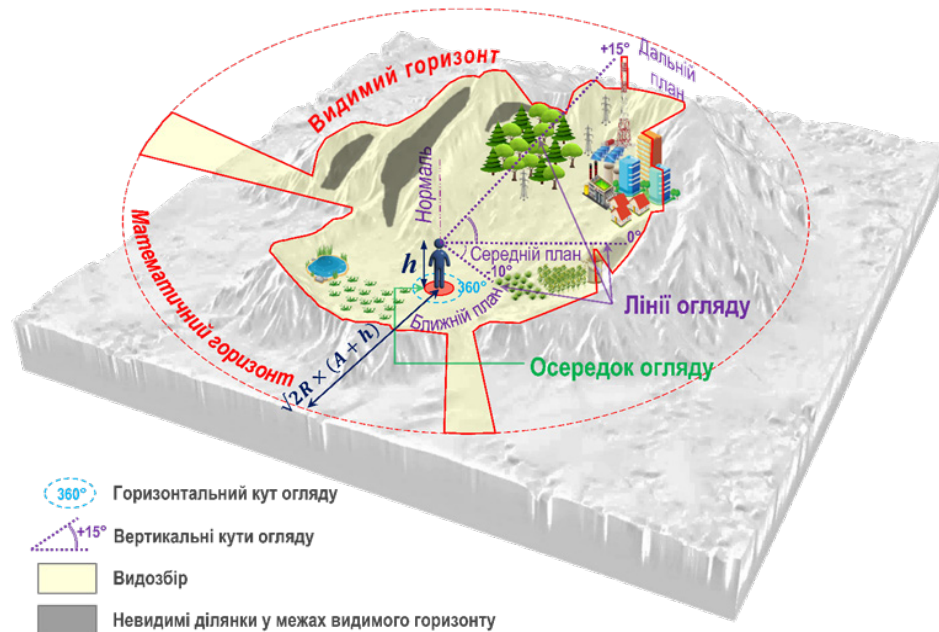


Рис. 1. Видозбір, сформований для осередку огляду топографічною поверхнею та наземним покривом
Fig. 1. Viewshed formed by topographic surface and land cover from an observation point

Околиці видозборів визначаються геопозицією осередку та можуть бути делімітовані для нескінченної кількості точок геопростору. Кумулятивний видозбір (Wheatley, 2022) території створюють шляхом багаторазового обчислення видозборів зі скінченного числа різних осередків та додавання їх методами картографічної алгебри. Добір таких осередків може здійснюватися відповідно до мети дослідження для свідомо визначених чи випадково згенерованих геопозицій. Кумулятивні видозбори є досить ефективними при оцінці сукупних видозборів доріг, що впливають на сприйняття місцевості рухомими спостерігачами (Quinn, 2022).

Іманентний (Lee et al., 1998) або ж тотальний видозбір (Inglis et al., 2022), на відміну від кумулятивного, розраховується для усієї множини геопозицій наземної поверхні, що на практиці

досягається додаванням видозборів, розрахованих для кожної комірки растрової цифрової моделі поверхні. По суті, він надає загальний опис візуальних характеристик ландшафту як продукту його топографії.

Видозбірне моделювання у його класичному розумінні дає лише бінарний результат видимих і невидимих ділянок без урахування структурного аспекту того, що саме потрапляє у поле зору. Органічним його продовженням є більш глибоке, структурне моделювання візуальних ландшафтів (англ. *visualscape*) (Llobera, 2003), або ж відових ландшафтів (англ. *viewscape*) (Vukomanovic et al., 2018; Inglis et al., 2022), які надалі пропонуємо визначати як *красвиди* – просторові композиції видимої наземної поверхні. Структурними елементами, що формують таку композицію є наземні покриви, які відображають біофізичні характеристики поверхні визначені типом сучасного рослинного

покриву (за його наявності), спорудами, поверхнею водних об'єктів та ділянками з відкритим ґрунтом (у інженерно-геологічному розумінні цього терміну). У цьому контексті, під просторовою структурною організацією краєвиду ми розуміємо взаємозв'язок його складових згідно з моделлю декомпозиції ландшафту на основі примітивів, що використовуються у його картографуванні (Antrop et al., 2017). Відповідно до цього підходу, ландшафт формується поєднанням *елементів* (дискретних об'єктів із чіткими межами, якими у даному дослідженні виступають типи наземного покриву), *компонентів* (континуальних утворень, таких як топографічна чи наземна поверхня) та *структур* (способів, за допомогою яких елементи або компоненти пов'язані між собою просторово або функціонально). Таким чином, аналізована просторова структурна організація є способом, у який морфологія наземної поверхні (як компонент, що формує видозбір) та мозаїка наземних покривів (як набір елементів) об'єднуються у цілісну просторову композицію видимого геопростору.

3. Матеріали і методи

В якості вихідних матеріалів дослідження було обрано цифрову модель поверхні (включаючи будівлі, інфраструктуру та рослинність) Copernicus GLO-30 (European Space Agency, 2019), розроблену у рамках програми Copernicus Європейського космічного агентства (ESA) на основі інтерферометричних даних, отриманих зі супутникової місії TanDEM-X з вертикальною точністю близько 4 метрів. Дані про геопросторовий розподіл наземних покривів отримано із набору ESA WorldCover v200 (Zanaga et al., 2021), створеного на основі радарних

та оптичних знімків Sentinel із використанням технологій машинного навчання. Переваги цих наборів порівняно з аналогами полягають у відкритій ліцензії, що дозволяє вільне використання у комерційних та некомерційних проєктах, а також у їх незалежній валідації, проведеній за стандартами CEOS (Committee on Earth Observation Satellites – Комітет із супутників спостереження).

Як вже зазначалося, базовим результатом видозбірною моделювання є растрова карта видимості, яка класифікує геопростір навколо точки спостереження на видимий та невидимий (істина/хиба або 1/0). На першому етапі було здійснено спробу оцінити загальний візуальний потенціал наземної поверхні, репрезентованої Copernicus GLO-30. Зважаючи на просторову розрізненість оригінальної цифрової моделі – 1 кутова секунда, що в межах території дослідження відповідає близько $30,92 \times 20,70 \pm 0,4$ метри, істотною перепоною у моделюванні тотальних видозборів є його надзвичайна ресурсоемітність. У стандартному підході для кожної геопозиції потрібно окремо проєктувати лінії огляду до всіх пікселів у заданому радіусі, що вимагає багато повторюваних розрахунків. Для вирішення цієї проблеми З. Чучкович (Čučković, 2016) пропонує спростити нескінченний набір радіальних ліній огляду з усіх геопозицій до фіксованої кількості напрямків, ідентичної для кожного пікселя, а також генералізувати відносні зсуви, що дозволяє щонайменше вдвічі зменшити обчислювальну складність процедури. У результаті для кожної комірки розраховується індекс видимості (Čučković, 2020), що обчислюється як співвідношення позитивних візуальних зв'язків: значення 1,0 або 100% означає, що точка може бути видимою з усіх сусідніх у заданому оточенні – радіусі аналізу, що визначає максимальну відстань, на яку проєктуються лінії огляду з осередків (рис. 2).

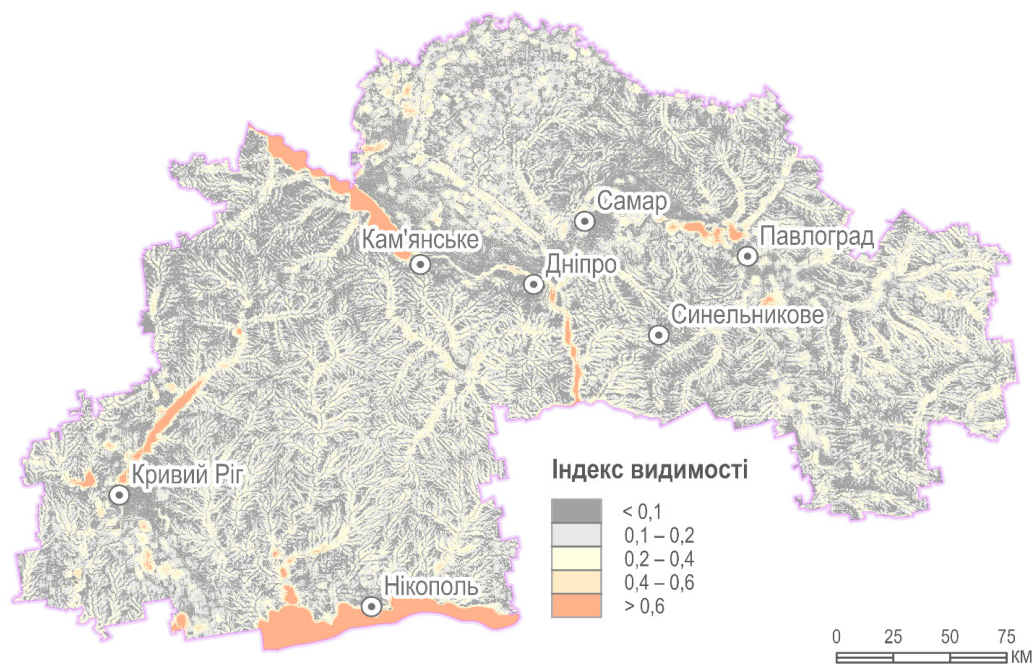


Рис. 2. Тотальний видозбір (індекс видимості) наземної поверхні Дніпропетровської області. Радіус аналізу – 3 000 м, висота спостерігача – 1,7 м
 Fig. 1. Total viewshed (visibility index) of the land surface in the Dnipropetrovsk region. Analysis radius – 3,000 m, observer height – 1.7 m

Видозбірне моделювання наземної поверхні має й інші виклики. Наприклад, найбільш вірогідною позицією спостерігача буде стояти на землі, а не оглядати довкола з верхівок дерев чи споруд, хоча в умовах урбанізованих територій цілком можлива різна оглядовість з однієї геопозиції залежно від висоти будівлі. Тому, незважаючи на більшу точність попиксельної дискретизації поверхні при визначенні тотального видозбору, більш об'єктивною репрезентацією оглядовості вважаємо кумулятивний видозбір на основі регулярної сітки осередків, розміщених виключно на топографічній поверхні.

Важливе значення має і радіус аналізу, оскільки максимально можлива віддаль до об'єкту залежить від висоти спостерігача над поверхнею еліпсоїда, що визначається нерівностями аналізованої (у даному випадку – топографічної) поверхні. Змінний радіус аналізу D розраховуємо за формулою (1):

$$D = \sqrt{2 R \times (A+h)}, \quad (1)$$

де R – середній радіус Землі (~ 6371 км), A – абсолютна висота топографічної поверхні, h – власна висота спостерігача (~ 1,7 м).

В ідеалі для отримання значень A найкраще мати цифрову модель висот, створену на основі наземного топографічного знімання місцевості. Але оскільки у відкритих джерелах такі цифрові моделі відсутні, в якості альтернативи було обрано створену дослідниками з Університету Брістоля та компанії Fathom модель FABDEM (Hawker et al., 2022). З неї шляхом накладання регулярної прямокутної сітки осередків, розміщених на відстані, кратній просторовій розрізненості після попереднього заповнення прогалів здійснено вибірку атрибуту A з наступним розрахунком змінного радіусу аналізу D (рис. 3).

Видозбірне моделювання виконувалося у середовищі ArcPRO версії 3.5.3 інструментом геодезичної взаємовидимості (*Geodesic Viewshed*) з урахуванням атмосферної рефракції та у збільшеному екстенті для уникнення крайового ефекту. Оскільки точки вибірки потенційно можуть бути взаємовидимі, атрибутивне значення отриманого растру кумулятивного видозбору може варіюватися залежно від множин перекриття. Тому, було здійснено його бінаризацію з виділенням видимих та невидимих із набору осередків вибірки ділянок наземної поверхні.

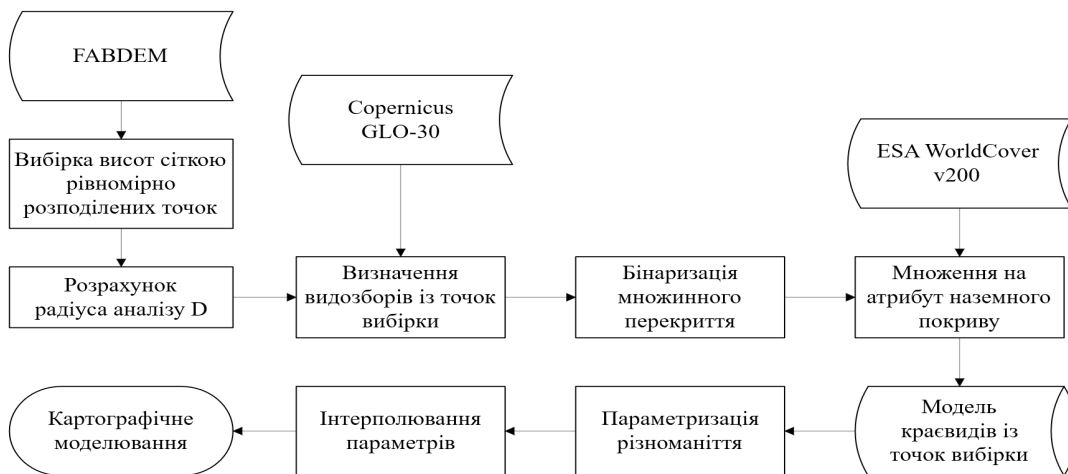


Рис. 3. Алгоритм моделювання просторової структурної організації краєвидів
 Fig. 3. Modeling workflow for the spatial structural organization of viewscape

Для моделювання структурного різноманіття краєвидів пропонуємо застосовувати локальну операцію растрової алгебри – попиксельне множення бінаризованих видозборів на атрибут наземного покриття, у результаті невидимі покриття анулюються, а видимі – зберігають свій вихідний кодовий ідентифікатор.

Таким чином, отримуємо растрову модель просторової структурної організації краєвидів кумулятивного видозбору (рис. 4).

Для оцінки її різноманіття можна застосовувати широке коло метрик, достатньо розроблених як у методологічному (Wu et al., 2000), так і у технічному аспекті (Chen et al., 2020). З-поміж них було обрано кілька різнокатегоріальних показників із акцентом на метриках різноманіття типів та конфігурації, що

відображають візуальне різноманіття типів наземних покриттів (*що саме ми бачимо*) та їхню строкатість (*як багато* різноманітних об'єктів потрапляє у видозбір). Серед композиційних метрик цілком репрезентативним є індекс рівномірності Шеннона (*SHEI*), що нормалізує індекс різноманіття Шеннона на максимальне значення для заданої кількості типів (у даному випадку – 7 типів наземних покриттів з набору ESA WorldCover).

Для конфігураційних аспектів, що відображають строкатість, обираємо індекс перемішаності та суміжності (*Interspersion and Juxtaposition Index, IJI*), який наближається до 0 при сегрегації типів і до 100 при максимальній перемішаності, що корелює з візуальною мозаїчністю. Додатково, для оцінки агрегації (зворотної строкатості) використовуємо індекс когезії (*Patch Cohesion Index, COHESION*), що

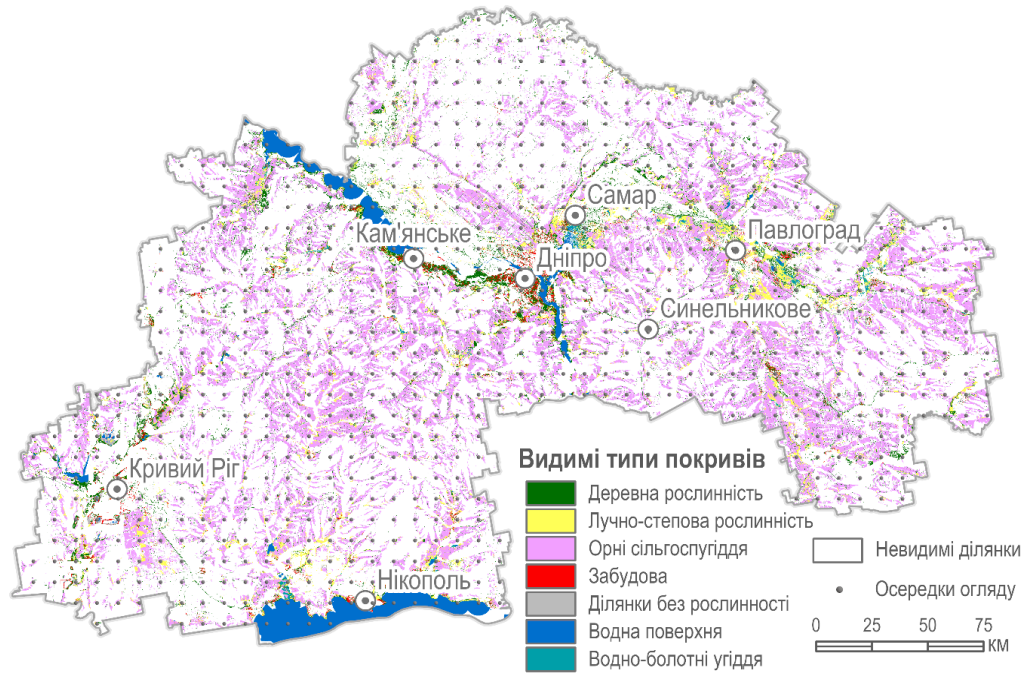


Рис. 4. Видимі типи наземних покриттів кумулятивного видозбору сітки регулярних осередків огляду 9×9 км
 Fig. 4. Visible land cover types within the cumulative viewshed of a 9×9 km regular observation grid

вимірює зв'язність патчів: високі значення вказують на агрегованість, низькі – на фрагментованість.

Розрахунок цих метрик проводиться в FRAGSTATS на растровій моделі видимих наземних покриттів (див. рис. 4), з урахуванням відсутності даних фону для фокусу на видозборах. Для інтегрального показника пропонуємо *індекс візуальної гетерогенності (Visual Heterogeneity Index, VHI)*, що поєднує загальний візуальний потенціал топографічної поверхні (тотальний видозбір) з композитним показником строкатості та різноманіття видимих наземних покриттів (2):

$$VHI = VI \times [SHEI \times (JI/100) \times (1 - COHESION/100)], \quad (2)$$

де *VHI* – індекс візуальної гетерогенності, *VI* – індекс видимості (тотальний видозбір наземної поверхні), *SHEI* – індекс рівномірності Шеннона, *JI* – індекс перемішаності та суміжності, *COHESION* – індекс когезії.

Оскільки значення *VHI*, обчислені за формулою (2), є відносно малими через множення нормалізованих метрик (зокрема, низькі значення *VI* в переважно рівнинних ландшафтах області, де видимість обмежена кривизною поверхні та рельєфом), для зручності картографічної візуалізації вони були нормалізовані шляхом множення на 1000 і виражені у проміле (‰).

Пропонований підхід поєднує загальний візуальний потенціал поверхні з різноманіттям краєвидів, де множення забезпечує синергію: високий *VHI* вимагає як доброї оглядовості, так і балансу/перемішаності типів з низькою агрегацією, а нормалізація компонентів уникає домінування однієї метрики. Отримана модель візуальної

гетерогенності, однак, потребує континуалізації, оскільки на етапі розрахунку кумулятивного видозбору геопростір був дискретизований сіткою осередків огляду. Для цього пропонуємо розрахувати усереднені значення індексу візуальної гетерогенності для тесельованих полігонів, побудованих з осередків огляду із наступним інтерполюванням на територію дослідження. У результаті отримуємо картографічну модель візуальної гетерогенності краєвидів (рис. 5).

Для унаочнення ізоплетів обрано картографічну методику К. Танаки, відому як освітлені ізолінії: товщина та колір ізоліній варіюється залежно від їх розміщення відносно умовного джерела освітлення, розташованого на північному заході. У поєднанні із градієнтним заповненням псевдоізоповерхонь це створює візуальний ефект об'єму, а також підкреслює спрощення інтерполюваної поверхні у ізоплетному картографуванні.

3. Результати

Аналіз отриманої картографічної моделі дозволяє виявити чіткі геопросторові закономірності у розподілі індексу *VHI*, що зумовлені взаємодією двох ключових чинників: морфологічними особливостями рельєфу поверхні та ступенем різноманіття наземних покриттів. Загалом Дніпропетровська область характеризується типовим для степової зони України рівнинним рельєфом, з помітними відмінностями між правобережною (західною) та лівобережною (східною) частинами. Правобережжя належить до Придніпровської височини, де абсолютні висоти сягають у середньому від 150 до 200 м, а поверхня сильно розчленована ерозійними

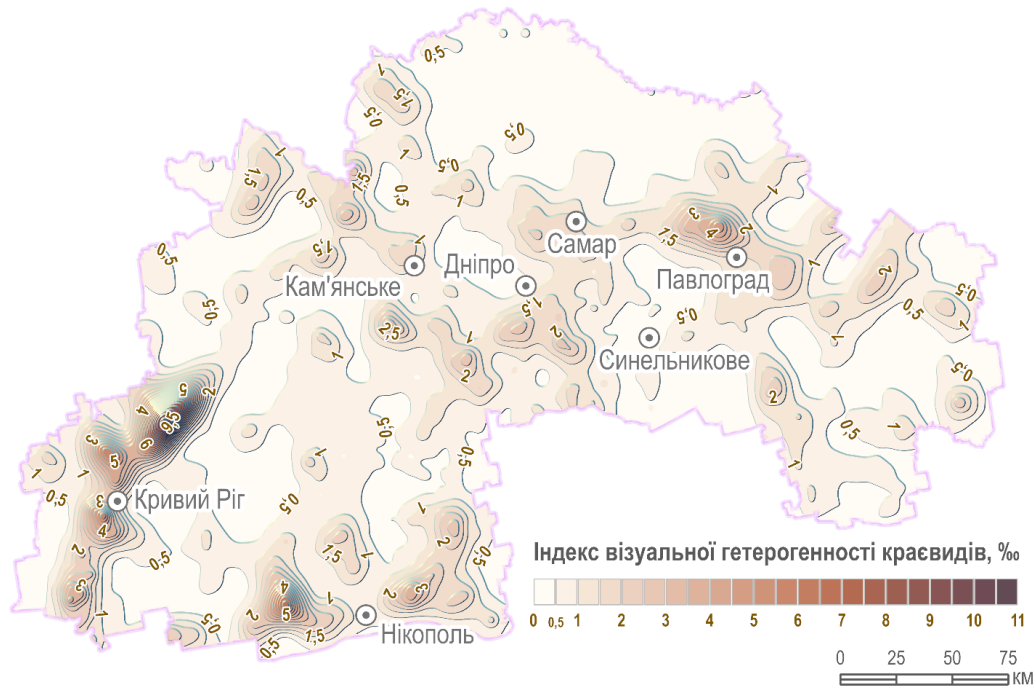


Рис. 5. – Картографічна модель візуальної гетерогенності краєвидів Дніпропетровської області
 Fig. 5. Cartographic model of the visual heterogeneity of views in the Dnipropetrovsk region

формами – ярами, балками та річковими долинами, що є наслідком тривалої ерозії на кристалічних породах Українського щита. На протигагу цьому, лівобережжя входить до складу Придніпровської низовини, із нижчими висотами (50–100 м), більш виположеним рельєфом та широкими річковими долинами, такими як Самарська, Вовчанська та Орільська. Ці топографічні відмінності безпосередньо впливають на індекс видимості (*VI*), оскільки нерівний рельєф правобережжя сприяє ширшому полю огляду та вищим значенням топографічної відкритості, тоді як плоскі ландшафти лівобережжя обмежують видимість через кривизну поверхні та відсутність значних перепадів висот.

Щодо наземних покривів, домінуючим типом по усій території області є орні сільгоспугіддя, які займають понад 70% території, що знижує композиційне різноманіття через монодомінантність. Додатковим фактором, що обмежує візуальну гетерогенність, є типова для степових агроландшафтів мережа захисних лісосмуг, які створюють *ширми* та зменшують видимість, особливо у період вегетації. Окремий вплив мають антропогенні трансформації, зокрема гірничопромислові ландшафти, де штучні форми рельєфу поєднуються із більш різноманітними покривами – від оголених ґрунтів і техногенних водойм до рекультивованої рослинності.

Максимальні значення *VHI* (до 1,6% після нормалізації) спостерігаються у гірничопромислових районах Криворіжжя, Нікопольщини та біля Павлограда. На Криворіжжі, центрі найбільшого залізрудного басейну Східної Європи, видобуток відкритим способом сформував багаторівневий рельєф з глибокими кар'єрами та високими відвалами, що значно підвищує *VI* через

збільшення кутів огляду та топографічної відкритості. Різноманіття покривів тут збагачене техногенними елементами – оголеними скелями, водоймами у кар'єрах та частково рекультивованими ділянками. Аналогічно, на Нікопольщині марганцевий видобуток створив систему відкритих копалень та підземних шахт, з результуючим рельєфом, що включає провали та відвали, підвищуючи візуальну гетерогенність через контраст з навколишніми агроландшафтами. Біля м. Павлоград вугільний видобуток (переважно підземний) призводить до поверхневих деформацій, утворення териконів та водойм, що додає рельєфної варіативності та різноманіття покривів.

Відносно високі значення *VHI* фіксуються на Верхньодніпровщині та у районі затоплених Дніпрових порогів. Верхньодніпровщина характеризується розчленованим рельєфом з численними балками та ярами, що забезпечує високу видимість і поєднується з мозаїкою природних (лісові та степові ділянки) та антропогенних покривів, дніпровське Надпоріжжя зберігає елементи скелястого рельєфу із перепадами висот, що сприяє ширшому полю огляду, а також різноманіттю покривів у заплавах та на схилах.

Найнижчі значення *VHI* притаманні півночі лівобережжя області, долині Орелі та правобережним агроландшафтам у трикутнику Кам'янське – Кривий Pіg – Нікополь. Північ лівобережжя є типовою рівниною з мінімальними перепадами висот, де домінують монокультурні орні угіддя з низьким *SHEI* та високою агрегацією, а лісосмуги додатково обмежують видимість. Долина Орелі, як широка акумулятивна заплава, має вирівняний рельєф з однорідними лучно-степовими та орними покривами, що знижує

конфігураційне різноманіття. У трикутнику Кам'янське – Кривий Ріг – Нікополь, попри промислову активність на периферії, центральні агроландшафти є плоскими полями, де низька топографічна відкритість поєднується з високою сегрегацією покривів і впливом лісосмуг. Отже, можна стверджувати, що у Дніпропетровській області антропогенні трансформації, зокрема гірничодобувна діяльність, компенсують природну рівнинність, створюючи “техногенні оази” високої гетерогенності на тлі домінуючих агроландшафтів.

4. Обговорення

Запропонована методика, що поєднує тотальний та кумулятивний видозбірний аналіз з метриками різноманіття наземних покривів, узгоджується з еволюцією підходів до вивчення візуальних ландшафтів у оглядових роботах (Llobera, 2003; Inglis et al., 2022). Зокрема, перехід від простого бінарного видозбору до структурного моделювання краєвидів як композицій видимої наземної поверхні відображає ширші тренди в ландшафтній екології, де візуальна доступність розглядається як властивість ландшафту, що підсилює культурні екосистемні послуги. (Aben et al., 2018).

Переваги методики полягають у її антропоцентричному підході, який інтегрує об'єктивні геометричні характеристики видозборів з метриками ландшафтного різноманіття, дозволяючи кількісно оцінювати візуальні властивості краєвидів. Використання відкритих даних Copernicus GLO-30 та ESA WorldCover та простих алгоритмів геоінформаційної обробки забезпечує відтворюваність і доступність. Крім того, розрахунок кумулятивних видозборів на основі регулярної сітки осередків з урахуванням змінного радіусу аналізу оптимізує обчислювальні ресурси. Порівняно з аналогічними моделями, наш підхід розширює фокус із морфологічних класів на динамічну композицію покривів, що підвищує точність та об'єктивність оцінки візуального різноманіття.

Разом з тим, запропонована методика має низку обмежень. Найменш істотним є обмеження точністю наявних цифрових моделей поверхонь та геопросторових баз даних наземних покривів. Використана модель Copernicus GLO-30 має вертикальну точність близько 4 м, що достатньо для регіонального масштабу, але може призводити до помилок у визначенні ліній видимості в урбанізованих або лісистих районах, де висота будівель чи рослинності недооцінена. Аналогічно, ESA WorldCover v200 з просторовою роздільністю 10 м, добре класифікує основні типи покривів, але ігнорує сезонні зміни вегетації чи дрібні фрагменти, як це відзначено в критичних оглядах. У нашому випадку, для Дніпропетровської області з домінуючими агроландшафтами, це призводить до переоцінки монодомінантності орних угідь, особливо у заплавах, де природна рослинність фрагментована.

Більш істотним викликом є проблема узгодження двох принципово різних поверхонь: топографічної (*bare-earth DEM*) для кумулятивного видозбору та

наземної (включаючи рослинність і споруди) для тотального індексу видимості (*VI*). Оскільки індекс видимості розраховується для усіх комірок наземної поверхні, а кумулятивний видозбір – для осередків на топографічній поверхні, таке агрегування різнорідних показників може призводити до неузгодженостей, відомих у літературі як *bare-earth bias*.

Добір відстані між осередками сітки (9×9 км) у нашій моделі є компромісом: менша сітка підвищує просторову точність кумулятивного видозбору, але вимагає значних обчислювальних ресурсів. Для Дніпропетровської області з площею понад 31 тис. км² це призводить до генералізації, де локальні варіації (наприклад, у балках правобережжя) згладжуються, а континуалізація *VHI* через інтерполяцію (рис. 5) вводить додаткові артефакти. Крім того, методика не враховує суб'єктивні аспекти сприйняття (наприклад, вертикальні кути огляду чи рух спостерігача), фокусуючись на об'єктивних геометричних параметрах, що є загальним концептуальним обмеженням усіх подібних підходів, заснованих на мережі оглядових осередків.

У цілому, запропонований підхід, попри недоліки, розширює можливості кількісної характеристики краєвидів. Перспективи подальших досліджень включають інтеграцію динамічних факторів (сезонність, освітлення) та застосування кумулятивних видозборів дорожньої мережі для оцінки екосистемних послуг. Це дозволить розвинути методику для урбанізованих регіонів, підвищуючи її практичну цінність у плануванні та охороні ландшафтів.

5. Висновки

У дослідженні було обґрунтовано та апробовано методику антропоцентричної оцінки візуального ландшафтного різноманіття на основі картографічного моделювання просторової структурної організації краєвидів Дніпропетровської області. Запропонований підхід поєднує тотальний і кумулятивний видозбірний аналіз з використанням відкритих геопросторових даних, застосовуючи растрову алгебру для інтеграції топографічної видимості з метриками композиційного та конфігураційного різноманіття наземних покривів. Розроблений індекс візуальної гетерогенності (*VHI*) дозволяє кількісно оцінювати краєвиди як об'єктивні просторові композиції, враховуючи геопозицію спостерігача та морфологію поверхні, що розширює традиційні ландшафтознавчі методи на візуально-естетичні аспекти, узгоджені з Європейською ландшафтною конвенцією. Запропонована методика демонструє потенціал для оцінки культурних екосистемних послуг краєвидів і, незважаючи на обмеження, забезпечує відтворюваність і доступність для середньомасштабних досліджень.

ORCID iD

Oleh V. Syzenko <https://orcid.org/0000-0002-9158-1693>

Список посилань

- Aben, J., Pellikka, P., & Travis, J. (2018). A call for viewshed ecology: Advancing our understanding of the ecology of information through viewshed analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(3), 624–633. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12902>
- Anderson, C., & Rex, A. (2019). Preserving the scenic views from North Carolina's Blue Ridge Parkway: A decision support system for strategic land conservation planning. *Applied Geography*, 104, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.01.008>
- Antrop, M., & Van Eetvelde, V. (2017). *Landscape perspectives: The holistic nature of landscape*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1183-6>
- Chen, B., & Iannone, B. V., III. (2020). FRAGSTATS: A free tool for quantifying and evaluating spatial patterns. *EDIS*, 2020(6), Article 9. <https://doi.org/10.32473/edis-fr431-2020>
- Council of Europe Landscape Convention (2020). Council of Europe. <https://www.coe.int/en/web/landscape>
- Čučković, Z. (2016). Advanced viewshed analysis: A Quantum GIS plug-in for the analysis of visual landscapes. *Journal of Open Source Software*, 1(4), Article 32. <https://doi.org/10.21105/joss.00032>
- Čučković, Z. (2020). Visibility index (total viewshed) for QGIS: Finally there! *Landscape Archaeology*. <https://landscapearchaeology.org/2020/visibility-index>
- Department of Transportation. (2015). *Guidelines for the visual impact assessment of highway projects* (Report No. FHWA-HEP-15-029). Federal Highway Administration. 104. https://www.environment.fhwa.dot.gov/env_topics/other_topics/VIA_Guidelines_for_Highway_Projects.pdf
- European Space Agency. (2019). *Copernicus DEM GLO-30: Global 30 m digital elevation model*. <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>
- Granö, J. G. (1929). *Reine Geographie: Eine methodologische Studie, beleuchtet mit Beispielen aus Finnland und Estland* [Pure geography: A methodological study, illustrated with examples from Finland and Estonia]. Akateeminen Kirjakauppa. [In German]]
- Гродзинський М. Д. (2005). *Пізнання ландшафту: місце і простір*. Том 2. Київський університет.
- Hawker, L., Uhe, P., Paulo, L., Sosa, J., Savage, J., Sampson, C., & Neal, J. (2022). A 30m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters*, 17(2), Article 024016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>
- Higuchi, T. (1983). *The visual and spatial structure of landscapes* (C. S. Terry, Trans.). MIT Press. <https://doi.org/10.37862/aaeportal.00164>
- Inglis, N. C., Vukomanovic, J., Costanza, J., & Singh, K. K. (2022). From viewsheds to viewscapes: Trends in landscape visibility and visual quality research. *Landscape and Urban Planning*, 224, Article 104424. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104424>
- Кулачковський, Р. та Круглов, І. (2016). Видозбірні геоекосистеми басейну витоків ріки Сян. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Географія*, 1(40), 191–200.
- Lee, J., & Stucky, D. (1998). On applying viewshed analysis for determining least-cost paths on digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(8), 891–905. <https://doi.org/10.1080/136588198241554>
- Llobera, M. (2003). Extending GIS-based visual analysis: The concept of visualsapes. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(1), 25–48. <https://doi.org/10.1080/713811741>
- Лозинський, Р. (2020). Семіотика ландшафту та його візуальний/текстуальний аналіз в англо-американській культурній географії. *Часопис соціально-економічної географії*, 28, 25–34. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2020-28-03>
- Panero, J., & Zelnik, M. (1979). *Human dimension and interior space: A source book of design reference standards*. Watson-Guptill.
- Quinn, S. D. (2022). What can we see from the road? Applications of a cumulative viewshed analysis on a US state highway network. *Geographica Helvetica*, 77(2), 165–178. <https://doi.org/10.5194/gh-77-165-2022>
- Smythies, J. (1996). A note on the concept of the visual field in neurology, psychology, and visual neuroscience. *Perception*, 25(3), 369–371. <https://doi.org/10.1068/p250369>
- Tandy, C. (1967). The isovist method of landscape survey. *Methods of Landscape Analysis*, 10, 9–10.
- Van Dyke, R. M., Bocinsky, R. K., Windes, T. C., & Robinson, T. P. (2016). Great houses, shrines, and high places: Intervisibility in the Chacoan world. *American Antiquity*, 81(2), 205–230. <https://doi.org/10.7183/0002-7316.81.2.205>
- Vukomanovic, J., Singh, K. K., Petrasova, A., & Vogler, J. B. (2018). Not seeing the forest for the trees: Modeling exurban viewscapes with LiDAR. *Landscape and Urban Planning*, 170, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.10.010>
- Wheatley, D. (2022). Cumulative viewshed analysis: a GIS-based method for investigating intervisibility, and its archaeological application. In G. Lock & Z. Stančić (Eds.), *Archaeology and geographic information systems* (pp. 171–185). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367810467-13>
- Wu, J., Shen, W., Sun, W., & Tueller, P. T. (2000). Multiscale analysis of landscape heterogeneity: Scale variance and pattern metrics. *Annals of GIS*, 6(1), 6–19. <https://doi.org/10.1080/10824000009480529>
- Yang, X., Lindquist, M., Van Berkel, D., & Grace, D. (2024). A viewshed-based approach for assessing perceived walkability in cities. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 9, 735–746. <https://doi.org/10.14627/537752068>
- Yokoyama, R., Shirasawa, M., & Pike, R. J. (2002). Visualizing topography by openness: A new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(3), 257–266.
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsendbazar, N. E., Xu, P., Ramoino, F., & Arino, O. (2021). *ESA WorldCover 10 m 2021 v200*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>

References

- Aben, J., Pellikka, P., & Travis, J. (2018). A call for viewshed ecology: Advancing our understanding of the ecology of information through viewshed analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(3), 624–633. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12902>
- Anderson, C., & Rex, A. (2019). Preserving the scenic views from North Carolina's Blue Ridge Parkway: A decision support system for strategic land conservation planning.

- Applied Geography*, 104, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.01.008>
- Antrop, M., & Van Eetvelde, V. (2017). *Landscape perspectives: The holistic nature of landscape*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1183-6>
- Chen, B., & Iannone, B. V., III. (2020). FRAGSTATS: A free tool for quantifying and evaluating spatial patterns. *EDIS*, 2020(6), Article 9. <https://doi.org/10.32473/edis-fr431-2020>
- Council of Europe Landscape Convention (2000). Council of Europe. <https://www.coe.int/en/web/landscape>
- Čučković, Z. (2016). Advanced viewshed analysis: A Quantum GIS plug-in for the analysis of visual landscapes. *Journal of Open Source Software*, 1(4), Article 32. <https://doi.org/10.21105/joss.00032>
- Čučković, Z. (2020). Visibility index (total viewshed) for QGIS: Finally there! *Landscape Archaeology*. <https://landscapearchaeology.org/2020/visibility-index>
- Department of Transportation. (2015). *Guidelines for the visual impact assessment of highway projects* (Report No. FHWA-HEP-15-029). Federal Highway Administration. 104. https://www.environment.fhwa.dot.gov/env_topics/other_topics/VIA_Guidelines_for_Highway_Projects.pdf
- European Space Agency. (2019). *Copernicus DEM GLO-30: Global 30 m digital elevation model*. <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>
- Granö, J. G. (1929). *Reine Geographie: Eine methodologische Studie, beleuchtet mit Beispielen aus Finnland und Estland* [Pure geography: A methodological study, illustrated with examples from Finland and Estonia]. Akateeminen Kirjakauppa. [In German].
- Grodzinsky, M. D. (2005). *Piznannia landshaftu: mistse i prostir* [Landscape cognition: place and space] (Vol. 2). Kyiv University. [In Ukrainian].
- Hawker, L., Uhe, P., Paulo, L., Sosa, J., Savage, J., Sampson, C., & Neal, J. (2022). A 30m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters*, 17(2), Article 024016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>
- Higuchi, T. (1983). *The visual and spatial structure of landscapes* (C. S. Terry, Trans.). MIT Press. <https://doi.org/10.37862/aaeportal.00164>
- Inglis, N. C., Vukomanovic, J., Costanza, J., & Singh, K. K. (2022). From viewsheds to viewscapes: Trends in landscape visibility and visual quality research. *Landscape and Urban Planning*, 224, Article 104424. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104424>
- Kulachkovskiy, R., & Kruhlov, I. (2016). Vydrozbirni heoekosystemy baseinu vytokiv richky Sian [Viewshed Geoecosystems Of The Sian Headwaters Basin]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Ser. Heohrafiia*, 1(40), 191–200. [In Ukrainian].
- Lee, J., & Stucky, D. (1998). On applying viewshed analysis for determining least-cost paths on digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(8), 891–905. <https://doi.org/10.1080/136588198241554>
- Llobera, M. (2003). Extending GIS-based visual analysis: The concept of visualsapes. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(1), 25–48. <https://doi.org/10.1080/713811741>
- Lozynskiy, R. (2020). Semiotyka landshaftu ta yoho vizualnyi/tekstualnyi analiz u anhlo-amerykanskii kulturnii heohrafi [Landscape semiotics and visual/textual analysis in Anglo-American cultural geography]. *Chasopys sotsialno-ekonomichnoi heohrafi*, 28, 25–34. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2020-28-03> [In Ukrainian].
- Panero, J., & Zelnik, M. (1979). *Human dimension and interior space: A source book of design reference standards*. Watson-Guptill.
- Quinn, S. D. (2022). What can we see from the road? Applications of a cumulative viewshed analysis on a US state highway network. *Geographica Helvetica*, 77(2), 165–178. <https://doi.org/10.5194/gh-77-165-2022>
- Smythies, J. (1996). A note on the concept of the visual field in neurology, psychology, and visual neuroscience. *Perception*, 25(3), 369–371. <https://doi.org/10.1068/p250369>
- Tandy, C. (1967). The isovist method of landscape survey. *Methods of Landscape Analysis*, 10, 9–10.
- Van Dyke, R. M., Bocinsky, R. K., Windes, T. C., & Robinson, T. P. (2016). Great houses, shrines, and high places: Intervisibility in the Chacoan world. *American Antiquity*, 81(2), 205–230. <https://doi.org/10.7183/0002-7316.81.2.205>
- Vukomanovic, J., Singh, K. K., Petrasova, A., & Vogler, J. B. (2018). Not seeing the forest for the trees: Modeling exurban viewscapes with LiDAR. *Landscape and Urban Planning*, 170, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.10.010>
- Wheatley, D. (2022). Cumulative viewshed analysis: a GIS-based method for investigating intervisibility, and its archaeological application. In G. Lock & Z. Stančić (Eds.), *Archaeology and geographic information systems* (pp. 171–185). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367810467-13>
- Wu, J., Shen, W., Sun, W., & Tueller, P. T. (2000). Multiscale analysis of landscape heterogeneity: Scale variance and pattern metrics. *Annals of GIS*, 6(1), 6–19. <https://doi.org/10.1080/10824000009480529>
- Yang, X., Lindquist, M., Van Berkel, D., & Grace, D. (2024). A viewscape-based approach for assessing perceived walkability in cities. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 9, 735–746. <https://doi.org/10.14627/537752068>
- Yokoyama, R., Shirasawa, M., & Pike, R. J. (2002). Visualizing topography by openness: A new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(3), 257–266.
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsendbazar, N. E., Xu, P., Ramoino, F., & Arino, O. (2021). *ESA WorldCover 10 m 2021 v200*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>