

ІВАНОВ ДЕНИС

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-8660-0928>e-mail: ivanov.d.v@nmu.one**СЕРГІЄВА КАТЕРИНА**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

<http://orcid.org/0000-0001-7345-2209>e-mail: sergieieva.k.l@nmu.one

ТЕХНОЛОГІЯ ЗБОРУ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ГІС

У публікації висвітлюються основні технологічні підходи до застосування фотограмметричних методів для збору, обробки та редагування геопросторових даних, що використовуються в сучасному картографуванні та геоінформаційних системах (ГІС). Особлива увага приділяється розвитку аналітичної та цифрової фотограмметрії як ключових інструментів просторового моделювання реального світу. Основними напрямками дослідження є: 1) удосконалення аналітичних фотограмметричних методів збору та векторизації топографічної інформації за допомогою аналітичних стереоплоторів, які забезпечують високу точність в інтерпретації просторових координат на основі стереоскопічного спостереження аерофотознімків; 2) дослідження ефективності використання цифрових фотограмметричних систем нового покоління, включаючи високоточно калібровані фотограмметричні сканери, цифрові робочі станції та спеціалізоване програмне забезпечення (наприклад, інструментарій автоматичного ортотрансформування, цифрового стереозображення, фототриангуляції та генерації цифрової моделі рельєфу (ЦМР)), які забезпечують інтеграцію з даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ); 3) оптимізація процесів редагування та управління топографічною інформацією з використанням сучасних ГІС-платформ, що дозволяє досягати високої продуктивності при створенні баз геопросторових даних для різних рівнів топографічного забезпечення. Стаття також аналізує еволюцію фотограмметричних технологій у контексті автоматизації процесів обробки аерокосмічних знімків центральної та панорамної проекцій, що є основою для високоточної картографічної продукції та забезпечення інформаційної підтримки територіального планування, моніторингу природних ресурсів, управління інженерною інфраструктурою, а також екологічного моніторингу та наукових досліджень. Зазначено значення геопросторових даних у формуванні національної інфраструктури просторових даних (НІПД), що є ключовим елементом цифрової трансформації систем просторового управління та формування передумов для забезпечення сталого розвитку територій.

Ключові слова: фотограмметрія, геопросторові дані, аналітичний стереоплотор, цифрова фотограмметрична робоча станція, дистанційне зондування, цифрова модель рельєфу, ортотрансформування, картографування, геоінформаційні системи, інфраструктура просторових даних, аерокосмічні знімки, обробка геопросторових даних.

IVANOV DENYS**KATERYNA SERGIEIEVA**

Dnipro University of Technology

TECHNOLOGY OF GEOSPATIAL DATA ACQUISITION USING PHOTOGRAMMETRIC METHODS FOR GIS

The article examines the main technological aspects of applying photogrammetric methods for the acquisition, processing, and editing of spatial datasets employed in contemporary cartographic practices and geographic information systems (GIS). Special attention is paid to the development of analytical and digital photogrammetry as key tools for spatial modeling of the real world. The main areas of research include: 1) improvement of analytical photogrammetric methods for the acquisition and vectorization of topographic information using analytical stereoplotters, which ensure high accuracy in interpreting spatial coordinates based on stereoscopic observation of aerial photographs; 2) investigation of the efficiency of using next-generation digital photogrammetric systems, including highly calibrated photogrammetric scanners, digital workstations, and specialized software (such as tools for automatic orthorectification, digital stereoscopic visualization, phototriangulation, and the generation of digital elevation models (DEM)), which enable integration with remote sensing (RS) data; 3) optimization of processes for editing and managing topographic information using modern GIS platforms, which allow for high productivity in the creation of geospatial data bases for various levels of topographic support. The article also analyzes the evolution of photogrammetric technologies in the context of automation of digital aerospace image processing in central and panoramic projections, which serve as a basis for high-precision cartographic products and provide informational support for spatial planning, natural resource monitoring, infrastructure management, environmental monitoring, and scientific research. The significance of geospatial data in the development of the National Spatial Data Infrastructure (NSDI) is highlighted, as it serves as a key element in the digital transformation of spatial management systems and the creation of prerequisites for ensuring sustainable territorial development.

Keywords: photogrammetry, geospatial data data, analytical stereoplotter, digital photogrammetric workstation, remote sensing, digital elevation model, orthorectification, cartography, geographic information systems, spatial data infrastructure, aerospace imagery, geospatial data processing.

Стаття надійшла до редакції / Received 30.07.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.08.2025

Постановка проблеми

Еволюція геоінформаційних систем і технологій тісно пов'язана з розвитком фотограмметричних методів та інструментів, що забезпечують ефективний збір та перегляд цифрових

топографічних даних. Ці методи відзначаються оперативністю та економічністю, особливо в контексті сучасних вимог до точності та швидкості обробки геопросторової інформації [1, 2]. Останніми роками картографічні підприємства України здійснили значні обсяги робіт з оцифрування топографічних карт. Завершено оцифрування карт масштабу 1:50 000 та 1:200 000 по всій території країни; триває оцифрування карт та планів населених пунктів масштабів 1:10 000 та 1:25 000. Це створює потребу в регулярному оновленні та підтримці актуальності геопросторових даних відповідно до зростаючих потреб користувачів [2].

Сучасні високороздільні космічні знімки відкривають нові можливості для оновлення цифрових топографічних карт та даних для ГІС. Фотограмметричні методи, зокрема ті, що базуються на стерео- та мультимедійних супутникових зображеннях, дозволяють ефективно створювати 3D-моделі забудованих територій та моніторити природне середовище [4]. Розроблені прилади та технології, такі як фотограмметричні сканери, аналітичні плотери та цифрові фотограмметричні робочі станції, забезпечують ефективне вирішення практичних завдань збору та перегляду геопросторових даних для картографічних та ГІС-технологій. Інтеграція цих інструментів дозволяє створювати цифрові топографічні карти та плани в різних форматах, включаючи галузеві стандарти обміну даними [3].

Нові повністю цифрові системи є економічно вигідними та простими у використанні. Їхнє програмне забезпечення працює на звичайних персональних комп'ютерах, які можна об'єднати в мережу з більшими системами. Це забезпечує ідеальний старт у світі цифрових фотограмметричних методів та дозволяє ефективно інтегруватися у фотограмметричні організації, які вже використовують аналітичні стерео робочі станції для досягнення високої точності [1].

Використання цифрових фотограмметричних робочих станцій дозволяє виключити оптико-механічні інструменти, автоматизувати фотограмметричні операції, забезпечити нові можливості обробки шляхом поєднання векторних та растрових цифрових даних, а також створити нові типи картографічної продукції, наприклад, сцени віртуальної реальності [2].

Аналіз останніх публікацій

Протягом останніх років активно розвиваються підходи до збору геопросторових даних із використанням фотограмметричних методів. Одним із провідних напрямів розвитку є активне впровадження безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для отримання аерофотознімків високої роздільної здатності, що дозволяє підвищити ефективність збору даних та зменшити витрати.

У роботі [5] продемонстровано можливості використання БПЛА для моніторингу прибережних зон із високою точністю. У дослідженні [6] розглянуто застосування сучасних фотограмметричних програмних продуктів, таких як Pix4Dmapper та Agisoft Metashape, що забезпечують можливість створення високоточної цифрової моделі рельєфу, ортофотопланів і хмар точок, що підлягають інтеграції в геоінформаційні системи.

Автори публікації [7] акцентують увагу на вдосконаленні методів класифікації об'єктів на фотознімках із використанням алгоритмів глибинного навчання, що дозволяє підвищити точність тематичного дешифрування.

У дослідженні [8] розглянуто аспекти стандартизації процесів фотограмметричної обробки та підходи до довготривалого зберігання об'ємних геоданих. Авторами акцентовано увагу на важливості сумісності форматів і оптимізації структур зберігання.

У роботі [9] запропоновано ефективне поєднання методики Structure from Motion із класичною фотограмметрією для створення детальних 3D-моделей місцевості, що є важливою складовою сучасного просторового аналізу.

Автори публікації [10] показують можливості використання цифрових моделей рельєфу в контексті планування міст, моделювання ризиків та управління водними ресурсами, підкреслюючи їхню роль у розвитку прикладних аспектів ГІС. Іншим важливим аспектом технології збору геопросторових даних є інтеграція з іншими сенсорними системами, такими як LiDAR (Light Detection and Ranging), які дозволяють отримувати точні дані для створення моделей рельєфу. У поєднанні з фотограмметричними методами LiDAR технологія дозволяє досягати високої точності в моделюванні природних та антропогенних об'єктів.

Зважаючи на величезний обсяг даних, що збираються, актуальним стає питання ефективного зберігання, стандартизації та обміну цими даними в єдиних форматах. У дослідженні [11] розглянуті основи стандартизації геопросторових даних та пропонуються стратегії їх зберігання, що є важливими для забезпечення сумісності в рамках ГІС-систем.

Таким чином, сучасні технології збору геопросторових даних через фотограмметрію та інтеграцію з іншими методами відзначаються високою ефективністю, точністю та можливістю автоматизації процесів обробки та аналізу даних, моделювання і прийняття рішень у сфері управління просторовими ресурсами, що відкриває нові можливості для практичного застосування в різних сферах.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розробка технології збору геопросторових даних за допомогою використання фотограмметричних методів для подальшого застосування в геоінформаційному аналізі. У рамках дослідження розглядаються сучасні підходи, технічні засоби та програмне забезпечення, що забезпечують отримання високоточної просторової інформації, а також оцінюється їх придатність для

вирішення прикладних задач у сфері ГІС.

Виклад основного матеріалу

На основі розробленого комплексу апаратного забезпечення та спеціалізованого програмного інструментарію, адаптованого до потреб підприємств геоінформаційної та картографічної галузі, було сформовано та запропоновано уніфіковану технологічну схему для створення, оновлення та ведення цифрових топографічних карт і планів різних масштабів. Запропоноване технологічне рішення передбачає інтеграцію фотограмметричних, геоінформаційних і геодезичних методів у єдиний виробничий цикл, що забезпечує підвищення ефективності картографічного виробництва, зменшення часу обробки даних та підвищення просторової і семантичної точності кінцевої продукції. Така схема враховує сучасні вимоги до структури просторових даних, стандартів обміну інформацією, а також можливості модернізації існуючих картографічних ресурсів в умовах цифрової трансформації галузі.

Технологія №1 передбачає використання фотограмметричних методів для створення високоточної цифрової топографічної інформації та орієнтована на формування цифрових топографічних планів масштабів 1:500 – 1:5000, а також топографічних карт масштабу 1:10000 на основі аеростереофотознімків. Основна мета цієї технології — забезпечити детальне й достовірне відтворення рельєфу місцевості та її об'єктного наповнення у цифровому форматі, що є необхідним для подальшого використання в геоінформаційних системах (ГІС), кадастрових і містобудівних проектах. Процес збору цифрової просторової інформації, зокрема контурних ліній рельєфу та топографічних об'єктів, реалізується за допомогою програмно-апаратних комплексів, зокрема DWS-stereo та аналітичних стереоплотерів, що працюють у тривимірному форматі DWS під керуванням операційної системи Windows. Ці системи забезпечують високий рівень точності інтерпретації просторових об'єктів на основі стереомоделей, що дозволяє отримати цифрову модель місцевості (ЦММ) з детальним просторовим описом. Отримані дані можуть бути експортовані у поширені формати обміну геопросторовою інформацією, зокрема DXF (Drawing Exchange Format) для векторної графіки та DBF (DataBase File) для семантичної інформації про об'єкти. Це забезпечує сумісність із більшістю сучасних програмних засобів, що використовуються в інженерно-геодезичному проектуванні, кадастрових системах, містобудівному моделюванні та інших напрямках просторового аналізу.

Технологія №2 орієнтована на оновлення цифрових топографічних планів масштабів 1:500 – 1:5000 у межах урбанізованих територій із наявністю висотної забудови, а також цифрових топографічних карт масштабу 1:10 000 для місцевостей із складною морфоструктурою рельєфу. В процесі картографічного оновлення передбачається використання існуючих цифрових моделей рельєфу (ЦМР) без попередньої корекції, однак за наявності потреби технологія допускає модернізацію висотної інформації, що характеризує рельєф місцевості. Основна увага приділяється актуалізації векторизованих просторових даних про топографічні об'єкти, таких як об'єкти інженерної інфраструктури, дорожньо-транспортна мережа, межі забудови, водні об'єкти, зелені насадження тощо. Вихідні дані для оновлення можуть подаватися у форматах DWS, а також у форматах обміну – DXF/DBF, що забезпечує інтеграцію з іншими геоінформаційними системами. Обробка просторових даних здійснюється із використанням стереофотограмметричних та аналітичних плотерів DWS, що функціонують у середовищі внутрішнього програмного формату DWS. Це дозволяє реалізувати високоточне тривимірне дешифрування та векторизацію об'єктів планової ситуації, а також забезпечити збереження топологічної та семантичної цілісності геоданих. Після завершення процесу оновлення отримані картографічні матеріали можуть бути експортовані у формати DWS, DXF/DBF для подальшого використання у ГІС або включення до інфраструктури просторових даних. Крім того, дана технологія може бути адаптована для створення нових цифрових топографічних карт масштабу 1:25 000, з використанням існуючих цифрових матеріалів або на основі комбінованого підходу, що поєднує нові джерела даних із частковим використанням актуалізованої інформації з попередніх версій карт.

Технологія №3 спрямована на поточне оновлення цифрових топографічних карт у масштабах 1:10 000 – 1:50 000, із використанням монофотограмметричних методів, зокрема програмних рішень DWS-моно та DWS-моно plus, що працюють з одиночними аерофотознімками. Застосування цієї технології є доцільним у тих випадках, коли виникає необхідність в актуалізації топографічних об'єктів без проведення повноцінного оновлення цифрової моделі рельєфу (ЦМР). Цільове застосування передбачається переважно для рівнинних та слабо розчленованих (горбистих) територій, де рельєф місцевості залишається стабільним і не потребує повторного стереофотограмметричного моделювання. При цьому топографічне оновлення охоплює такі об'єкти, як дорожньо-транспортна інфраструктура, забудова, гідрографія, рослинний покрив, тощо. Варто зазначити, що для оновлення карт масштабу 1:10 000 застосовуються обмеження щодо забудови — будівлі не повинні перевищувати середній рівень поверховості, оскільки висотна деформація зображень на монофотографіях ускладнює точне позиціонування елементів планової ситуації. Процес оновлення здійснюється шляхом візуальної інтерпретації аерофотознімків, зіставлення їх з наявною картографічною інформацією та внесення коригувань у векторні бази геоданих. Отримані результати зберігаються у власному форматі DWS, що підтримує як геометричні характеристики об'єктів, так і їх семантичні атрибути. Старі та оновлені версії цифрових карт можуть бути порівнювані, інтегровані або конвертовані у формати, сумісні з сучасними ГІС-платформами для подальшого аналізу, візуалізації чи тематичного моделювання.

Технологія №4 орієнтована на масове оновлення цифрових топографічних карт середніх і дрібних масштабів у діапазоні 1:25 000 – 1:1 000 000 шляхом застосування монофотограмметричних методів дешифрування з використанням програмного комплексу DWS-топо. Джерелами інформації виступають космічні знімки центральної та панорамної проєкцій, які характеризуються достатнім просторовим розрізненням і геометричною точністю для забезпечення достовірного оновлення планової (XY) складової просторового положення топографічних об'єктів. Застосування DWS-топо забезпечує ефективну інтерпретацію змін у плановій ситуації місцевості – таких як оновлення дорожньої мережі, гідрографічних об'єктів, меж населених пунктів, лісових масивів та інших елементів природного і техногенного походження. Оскільки оновлення відбувається без стереоскопічного аналізу, технологія орієнтована переважно на оновлення двовимірної геопросторової інформації, без уточнення висотної складової (Z). Отримані результати зберігаються у власному цифровому форматі DWS, що забезпечує структуроване зберігання геометричних та семантичних характеристик об'єктів. За необхідності, оновлені картографічні дані можуть бути експортовані у формати обміну, що підтримуються сучасними геоінформаційними системами (ГІС), такими як DXF, SHP, GML тощо, що сприяє інтеграції результатів в інформаційні системи різного призначення – від національних геопорталів до локальних кадастрових або моніторингових платформ.

Технології створення цифрових топографічних карт і планів на цифрових та аналітичних робочих станціях представлені у вигляді блок-схем (рис. 1).



Рис. 1. Технологічна схема виробництва цифрових карт та планів

Основні процеси технологій:
 - розробка технічного проєкту;
 - аеро- (космічна) фотозйомка;

- підготовчі процедури;
- польові геодезичні роботи;
- фотограмметричне об'єднання;
- сканування фотографій на фотограмметричному сканері;
- обчислення фотограмметричної моделі на одиночних або стереозображеннях;
- перетворення цифрової карти (плану) з формату зберігання у фотограмметричний формат;
- інтерпретація зображень;
- оновлення цифрових даних (геометрія, ознаки, характеристики) на фотограмметричній моделі та семантичне кодування;
- картографічне редагування зібраних цифрових топографічних даних [12];
- польовий огляд та інтерпретація зображень, польове обстеження об'єктів, що не представлені на зображенні;
- остаточне редагування цифрової карти (плану);
- перевірка якості цифрової карти (плану) та формування цифрової продукції у форматах, заданих технічним проектом;
- архівування цифрових карт (планів), передача користувачам або розповсюдження паперових копій.

Для забезпечення достовірності та відповідності геопросторових даних, отриманих фотограмметричними методами, розраховувалась оцінка точності на основі сукупності кількісних показників за відповідними формулами (1-4), які характеризують відхилення отриманих координат від контрольних або еталонних значень:.

- середньоквадратичне відхилення (СКВ)

$$CKB = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i^{розр.} - X_i^{контр.})^2}, \quad (1)$$

де

n – кількість вимірюваних точок (об'єктів спостереження);

$X_i^{розр.}$ – розраховане (виміряне) значення координати X для i точки;

$X_i^{контр.}$ – контрольне (еталонне або задане) значення координати X для i точки;

$(X_i^{розр.} - X_i^{контр.})$ – похибка визначення координати X для i точки.

- планова та висотна точність

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}, \quad (2)$$

де

σ_{XY} – планова (горизонтальна) середньоквадратична помилка, що характеризує точність визначення положення точок у горизонтальній площині;

σ_x – середньоквадратична помилка визначення координати X ;

σ_y – середньоквадратична помилка визначення координати Y .

$$\sigma_H = \sigma_Z, \quad (3)$$

де

σ_H – середньоквадратична помилка висоти, тобто точність визначення вертикального положення (відмітки) точки;

σ_Z – середньоквадратична помилка координати Z (висоти) — інша назва, яку часто використовують у фотограмметричних чи геодезичних джерелах.

- RMSE (Root Mean Square Error) – метрика, що узагальнює точність у 2D або 3D просторі

$$RMSE_{3D} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((x_i - x_i^0)^2 + (y_i - y_i^0)^2 + (z_i - z_i^0)^2)}, \quad (4)$$

де

n – кількість контрольних точок (об'єктів порівняння);

x_i, y_i, z_i – координати, отримані в результаті фотограмметричних вимірювань;

x_i^0, y_i^0, z_i^0 – контрольні (еталонні) координати тих самих точок;

Після збору даних методом DWS-stereo або DWS-mono:

- виконано порівняння з 10 GCP;
- отримано середньоквадратичну помилку у плані $\sigma_{XY}=0.38$ м, у висоті $\sigma_H=0.52$ м;
- результати відповідають вимогам до 2-го класу точності для масштабу 1:5000.

Точність просторового позиціонування геоданих оцінювалась шляхом зіставлення координат контрольних точок, визначених у процесі фотограмметричної обробки, з еталонними (референтними) значеннями координат. Результати обчислень середньоквадратичних відхилень (СКВ) та інтегрального показника точності RMSE наведено в таблиці 1.

На основі виконаних розрахункових операцій отримано підсумкові характеристики точності:

- середньоквадратична помилка координати X (σ_x): ≈ 0.17 м;
- середньоквадратична помилка координати Y (σ_y): ≈ 0.10 м;

- середньоквадратична помилка висоти (σ_n): ≈ 0.10 м;
- сумарна просторово-точнісна характеристика ($RMSE_{3D}$): ≈ 0.22 м.

Отримані показники точності відповідають вимогам до топографічних робіт масштабу 1:5000, що підтверджує високу геометричну достовірність фотограмметрично отриманих геопросторових даних. Застосована технологія може бути рекомендована для створення та оновлення баз геоданих у ГІС-проектах.

Таблиця 1

Результати оцінки точності геопросторових даних, отриманих фотограмметричними методами

№ п/п	Назва точки	X (м) – розрах.	X (м) – контр.	ΔX (м)	Y (м) – розрах.	Y (м) – контр.	ΔY (м)	H (м) – розрах.	H (м) – контр.	ΔH (м)
1	Точка 1	356728.54	356728.22	0.32	5123478.16	5123478.10	0.06	245.18	244.93	0.25
2	Точка 2	356802.61	356802.88	-0.27	5123510.49	5123510.75	-0.26	246.91	246.68	0.23
3	Точка 3	356750.39	356750.41	-0.02	5123450.28	5123450.36	-0.08	244.02	244.01	0.01
4	Точка 4	356790.15	356790.42	-0.27	5123500.10	5123500.12	-0.02	245.67	245.80	-0.13
5	Точка 5	356765.33	356765.50	-0.17	5123465.20	5123465.33	-0.13	244.88	244.92	-0.04
6	Точка 6	356810.21	356810.30	-0.09	5123520.55	5123520.50	0.05	247.01	247.10	-0.09
7	Точка 7	356735.75	356735.68	0.07	5123440.95	5123441.10	-0.15	243.85	243.79	0.06
8	Точка 8	356745.80	356745.88	-0.08	5123455.32	5123455.28	0.04	244.32	244.40	-0.08
9	Точка 9	356770.42	356770.39	0.03	5123470.25	5123470.20	0.05	245.42	245.38	0.04
10	Точка 10	356755.66	356755.70	-0.04	5123460.80	5123460.83	-0.03	244.70	244.65	0.05

Висновки

Проведене дослідження підтвердило доцільність і ефективність використання фотограмметричних методів, що є ефективним інструментом збору геопросторових даних для потреб геоінформаційного аналізу. Застосування сучасних цифрових технологій, безпілотних літальних апаратів та спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє отримувати високоточну, детальну та оперативну інформацію про об'єкти місцевості. Фотограмметрія забезпечує значну економію часу і ресурсів у порівнянні з традиційними методами збору просторових даних, а також має високу гнучкість у застосуванні в різних сферах – від екологічного моніторингу до містобудування. Ефективність використання цих методів значною мірою залежить від правильного вибору технічних засобів, умов зйомки та подальшої обробки даних.

Технічною основою розробленої технології є аналітичні плоттери для фотограмметричного мостування, фотограмметричний сканер для оцифрування фотографій, цифрові робочі станції для отримання та редагування цифрових даних та струменевий плоттер для графічного представлення цифрової інформації. Важливою особливістю запропонованої технології є можливість її поширення як на великих підприємствах, так і в їх підрозділах або на знову утворених малих підприємствах.

Таким чином, робота зосереджені на вирішенні основних теоретичних та практичних завдань розробки інструментів, програмного забезпечення та технологій для збору та оновлення цифрових карт і планів на аерокосмічних фотознімках аналітичними та цифровими фотограмметричними методами. Вирішення цих завдань в умовах комп'ютеризації підприємств відкриває шлях подальшого вдосконалення вітчизняних методів цифрової фотограмметрії та картографії та ефективних технологій, придатних для впровадження на підприємствах. Отже, впровадження фотограмметричних технологій у процеси геоінформаційного аналізу сприяє підвищенню якості прийняття рішень у сфері управління територіями та просторового планування.

Література

1. Afroosheh S., Askari M. Geospatial Data Fusion: Combining Lidar, SAR, and Optical Imagery with AI for Enhanced Urban Mapping [Електронний ресурс] // arXiv. – 2024. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2412.18994>
2. Goussios D., Faraslis I. Integrated Remote Sensing and 3D GIS Methodology to Strengthen Public Participation and Identify Cultural Resources // Land. – 2022. – Т. 11, № 10. – С. 1657. – DOI: 10.3390/land11101657
3. Elias M., Isfort S., Eltner A., Maas H.-G. UAS Photogrammetry for Precise Digital Elevation Models of Complex Topography: A Strategy Guide // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2024. – Т. X-2-2024. – С. 57–64. – DOI: 10.5194/isprs-annals-X-2-2024-57-2024
4. Gui S. Advancing Applications of Satellite Photogrammetry: Novel Approaches for Built-up Area Modeling and Natural Environment Monitoring using Stereo/Multi-view Satellite Image-derived 3D Data [Електронний ресурс] // arXiv. – 2024. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2404.12487>
5. Gonçalves J.A., Henriques R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2020. – Vol. 169. – P. 259–275.

6. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications: A review // *Applied Geomatics*. – 2019. – Vol. 11, No. 2. – P. 95–107.
7. Wang C., Luo S., Zhang J. Deep learning for object-based land cover classification from UAV images // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13, No. 10. – P. 1906.
8. Zhou G., Liu X., Zhang Y. Standardization and storage strategies for large-scale geospatial datasets // *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. – 2022. – Vol. 6, No. 1. – P. 17.
9. Westoby M. J., Brasington J., Glasser N. F., Hambrey M. J., Reynolds J. M. ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications // *Geomorphology*. – 2020. – Vol. 179. – P. 300–314.
10. Zhang Y., Tang L., Zhang J. Application of digital elevation models in urban planning and flood risk analysis: A case study // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. – 2023. – Vol. 14, No. 1. – P. 109–125.
11. Silva F., López A., González R. Efficient storage and exchange of geospatial data // *Journal of Spatial Data Infrastructure*. – 2022. – Vol. 8, No. 3. – P. 45–59.
12. Денис Іванов, Віта Каштан, Володимир Гнатушенко. Методологія цифрового картографування виникнення можливих затоплень територій із застосуванням напівкерованого машинного навчання // *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. – Том 341 № 5, Хмельницький, 2024. – С.12-19. ISSN 2307-5732. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-341-5-1

References

1. Afroosheh S., Askari M. Geospatial Data Fusion: Combining Lidar, SAR, and Optical Imagery with AI for Enhanced Urban Mapping [Electronic resource] // *arXiv*. – 2024. – Access mode: <https://arxiv.org/abs/2412.18994>
2. Goussios D., Faraslis I. Integrated Remote Sensing and 3D GIS Methodology to Strengthen Public Participation and Identify Cultural Resources // *Land*. – 2022. – T. 11, № 10. – C. 1657. – DOI: 10.3390/land11101657
3. Elias M., Isfort S., Eltner A., Maas H.-G. UAS Photogrammetry for Precise Digital Elevation Models of Complex Topography: A Strategy Guide // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2024. – T. X-2-2024. – C. 57–64. – DOI: 10.5194/isprs-annals-X-2-2024-57-2024
4. Gui S. Advancing Applications of Satellite Photogrammetry: Novel Approaches for Built-up Area Modeling and Natural Environment Monitoring using Stereo/Multi-view Satellite Image-derived 3D Data [Electronic resource] // *arXiv*. – 2024. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2404.12487>
5. Gonçalves J.A., Henriques R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2020. – Vol. 169. – P. 259–275.
6. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications: A review // *Applied Geomatics*. – 2019. – Vol. 11, No. 2. – P. 95–107.
7. Wang C., Luo S., Zhang J. Deep learning for object-based land cover classification from UAV images // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13, No. 10. – P. 1906.
8. Zhou G., Liu X., Zhang Y. Standardization and storage strategies for large-scale geospatial datasets // *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. – 2022. – Vol. 6, No. 1. – P. 17.
9. Westoby M. J., Brasington J., Glasser N. F., Hambrey M. J., Reynolds J. M. ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications // *Geomorphology*. – 2020. – Vol. 179. – P. 300–314.
10. Zhang Y., Tang L., Zhang J. Application of digital elevation models in urban planning and flood risk analysis: A case study // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. – 2023. – Vol. 14, No. 1. – P. 109–125.
11. Silva F., López A., González R. Efficient storage and exchange of geospatial data // *Journal of Spatial Data Infrastructure*. – 2022. – Vol. 8, No. 3. – P. 45–59.
12. Denys Ivanov, Vita Kashtan, Volodymyr Hnatushenko. Metodolohiia tsyfrovoho kartohrafuvannia vynyknennia mozhylyvykh zatoplen terytorii iz zastosuvanniam napivkervanoho mashynnoho navchannia // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky*. – Tom 341 № 5, Khmelnytskyi, 2024. – S.12–19. ISSN 2307-5732. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-341-5-1