



<https://doi.org/10.36023/ujrs.2026.13.1.291>

УДК 528.8:528.7:332.3

## Інтегровані геопросторові підходи до високоточного моделювання місцевості з використанням БПЛА у сфері кадастру та землеустрою

В. А. Тарнавський\*, <https://orcid.org/0000-0002-2321-6352>

Т. М. Сіроштан, <https://orcid.org/0000-0001-6791-7081>

Н. В. Комарова, <https://orcid.org/0000-0002-9347-455X>

О. В. Камінецька, <https://orcid.org/0000-0002-1576-6477>

*Білоцерківський національний аграрний університет, вул. Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, 09117, Україна*

У статті викладено інтегровану геопросторову методологію високоточного моделювання рельєфу для потреб землеустрою та кадастру, що поєднує технології БПЛА-фотограмметрії, гідрографічних вимірювань за допомогою ехолота та супутникових ГНСС-спостережень. Запропонований підхід дасть змогу підвищити точність та ефективності топографо-геодезичних робіт у складних умовах рельєфу, обмеженої видимості або утрудненого доступу до об'єктів знімання. Методологію апробовано на території Тетіївської територіальної громади Білоцерківського району Київської області, де об'єктом дослідження виступали землі водного фонду з водним об'єктом (ставком), гідротехнічними спорудами та прибережними захисними смугами. Для зондування форми дна водойми застосовано професійний ехолот, що забезпечує автоматизоване сканування рельєфу дна та побудову тривимірних моделей у режимі реального часу. Отримані результати інтегрувалися з даними БПЛА-аерофотознімання та ГНСС-вимірювань для формування єдиної цифрової моделі місцевості (ЦММ).

Інтеграція різних типів просторових даних підвищує точність побудови цифрових моделей рельєфу, дає змогу оптимізувати процес інвентаризації земель водного фонду, моніторингу стану гідротехнічних споруд, а також формування паспортної документації водних об'єктів відповідно до вимог Державного земельного кадастру.

У результаті проведених топографо-геодезичних вишукувань створено цифрову модель місцевості, тривимірну реконструкцію та двовимірне картографічне зображення в масштабі 1:1000, що забезпечує високоякісну візуалізацію рельєфу дна водойми та прилеглої території. Отримані картографічні матеріали є основою для подальшого використання в земельнопорядковому проєктуванні, просторовому плануванні, інвентаризації й паспортизації об'єктів водного фонду.

Поєднання сучасних технологій – ГНСС, ехолот, БПЛА – у межах єдиної інтегрованої системи створює нові можливості для підвищення точності, оперативності та комплексності кадастрових, топографічних і гідрографічних досліджень. Розроблений підхід може бути масштабований для різних типів землекористування, що сприятиме подальшій цифровій трансформації землеустрою та кадастрових процесів в Україні.

**Ключові слова:** безпілотні технології, водний об'єкт, аерофотознімання, гідрографічне знімання, землеустрій, топографо-геодезичні вишукування, GNSS, ехолот, кадастр, цифрова модель місцевості, ортофотоплан.

© В. А. Тарнавський, Т. М. Сіроштан, Н. В. Комарова, О. В. Камінецька, 2026

### Вступ

Земельні ресурси є одним із ключових чинників територіального розвитку, а ефективність їх використання безпосередньо залежить від якості та повноти інформаційного забезпечення. Державний земельний кадастр виступає базовим інформаційним інструментом управління земельними ресурсами, забезпечуючи систематизовані просторові та правові дані, необхідні для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Актуальність і точність кадастрових відомостей дає змогу своєчасно оцінювати стан земель, встановлювати відповідність їх використання цільовому призначенню та запобігати конфліктам між землекористувачами.

Регулярний моніторинг земель є обов'язковою складовою сучасної системи управління територіями, оскільки забезпечує оцінку екологічного стану, виявлення деградаційних процесів та оперативне реагування на зміни у структурі землекористування. В цьому контексті безпілотні технології відкривають нові можливості для отримання високодетальної інформації про стан земельних ділянок, гідрографічних об'єктів та природних комплексів.

Інтеграція безпілотних технологій з аналітичними геоінформаційними системами (ГІС), базами даних Державного земельного та Містобудівного кадастрів формує нову парадигму просторового аналізу, що підвищує об'єктивність оцінок і точність управлінських рішень (Kovanič L. et al., 2023).

\*Corresponding author / Автор для кореспонденції: V. A. Tarnavskiy / В. А. Тарнавський / [viacheslav.tarnavskiy@btsau.edu.ua](mailto:viacheslav.tarnavskiy@btsau.edu.ua)

This is an Open Access article under the CC BY licenses (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Застосування аерофотознімання з безпілотного літального апарата (БПЛА) стало важливим кроком до подолання обмежень традиційних геодезичних методів, оскільки дає змогу отримувати ортофотоплани надвисокої просторової роздільної здатності. За умов належної організації польотних завдань, інтеграції з наземними опорними мережами та сприятливих рельєфних умов такі дані мають достатню точність для потреб землеустрою та кадастрових робіт.

Порівняно невисока вартість технології БПЛА робить її доступною для реалізації локальних і регіональних завдань. Водночас, її широке впровадження супроводжується низкою викликів — методологічних, правових і технічних. Зокрема, чинне нормативно-правове забезпечення визначає вимоги до проведення кадастрових зніманих, параметрів точності, процедур юридичного визнання створених картографічних матеріалів. Важливою подією у цьому контексті стало затвердження Порядку топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 № 1675 від 17.04.2025 р. (Про затвердження Порядку..., 2025), який замінив застарілу інструкцію 1998 року (Про затвердження інструкції..., 1998) та узгодив нормативну базу з сучасними технологічними реаліями.

У межах євроінтеграційних процесів Україна орієнтується на гармонізацію з європейськими стандартами використання безпілотних технологій у геодезії та кадастрі, що сприяє підвищенню сумісності національних геопросторових даних з міжнародними системами. Це забезпечує інтеграцію України до єдиного геоінформаційного простору та формує передумови для прозорого управління земельними ресурсами.

Необхідність топографічних і гідрографічних зніманих зумовлена потребою у високоточних даних для обліку, планування та охорони земельних і водних ресурсів. Інтеграція методів GNSS-знімання, безпілотної фотограмметрії та ехолокаційних досліджень дає змогу суттєво підвищити якість цифрових моделей місцевості та об'єктів водного фонду.

Удосконалення традиційних геодезичних методів за допомогою інноваційних інструментів є логічним етапом розвитку галузі в умовах цифрової трансформації. Комбінація сучасних вимірювальних засобів – GNSS-приймачів, електронних тахеометрів, БПЛА – створює умови для оперативного отримання надточних даних, що дає змогу з високою достовірністю визначати межі земельних ділянок, контури угідь і гідрографічні особливості територій.

Інтегрована методика “GNSS – ехолот – БПЛА” дає змогу не лише підвищити точність та продуктивність кадастрових і топографо-геодезичних робіт, а й розробити більш комплексний підхід до управління територіями. Це забезпечує формування актуальних і юридично верифікованих картографічних матеріалів, необхідних для паспортизації водних об'єктів, просторової інвентаризації та екологічного моніторингу.

Завпровадження таких підходів є вкрай важливим для сучасного документування динамічних земельних процесів, коли точність просторових даних і комплексність аналізу набувають вирішального значення для сталого розвитку територіальних громад. Практична новизна нашого дослідження полягає в розробленні інтегрованого робочого процесу, що поєднує GNSS-вимірювання, фотограмметрію з БПЛА, оснащеними RTK-модулями, та ехолокаційні спостереження, що дає змогу досягати високого рівня просторової точності при мінімальних витратах.

Об'єктом дослідження є водний об'єкт, внесений до Державного земельного кадастру України як земельна ділянка (кадастровий номер 3224688200:05:016:\*\*\*\*), що належить до категорії “землі водного фонду” загальною площею 4,4051 га (Державна служба з питань геодезії, картографії та кадастру). Територія розташована у Київській області, Білоцерківському районі, Тетіївській територіальній громаді, с. Черепинка (за межами населеного пункту), та включає землі під ставками (4,3626 га), гідротехнічними спорудами (0,0425 га), які активно використовуються для риборозведення.

#### Аналіз попередніх досліджень і публікацій

Упродовж останнього десятиліття дослідження у сфері геодезії, землеустрою та кадастру все частіше зосереджуються на використанні безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Численні наукові праці свідчать, що фотограмметрія з БПЛА у поєднанні з технологіями GNSS та сучасними алгоритмами оброблення зображень забезпечує створення цифрових моделей місцевості (ЦММ) та ортофотопланів із точністю, співмірною з традиційними методами, але з меншими витратами часу та ресурсів.

Відкриті дані аерознімання лавових полів Фогу (Кабо-Верде) представили Vieira et al. (2021), що включає хмару точок, цифрову поверхневу модель і ортофотоплани, отримані за допомогою GNSS-RTK вимірювань, які можуть бути орієнтиром для кадастрових робіт (Vieira G. et al., 2022). Kovanič et al. (2023) систематизували досвід застосування БПЛА-фотограмметрії та LiDAR, розглянувши точність RTK/PPK-методів і практичні рекомендації щодо побудови ЦММ (Kovanič Ľ. et al., 2023).

Dragomir et al. (2025) запропонували інтеграцію БПЛА-фотограмметрії та SLAM-технологій для кадастрової документації в Румунії, довівши ефективність таких підходів для створення юридично значущих просторових даних. У роботі (Dai et al., 2024) описано вплив просторової роздільності ЦММ на точність аналізу змін рельєфу, що підтвердило важливість адаптивного вибору параметрів залежно від завдань землеустрою.

Iqbal et al. (2023) довели, що моделі місцевості, створені з БПЛА, перевершують за деталізацією супутникові дані, а Kersten et al. (2025) розробили методичні рекомендації з геоприв'язки та документування меж земельних ділянок. У дослідженні (Ruli et al., 2023) запропоновано підходи

до підвищення точності ортофотопланів, в яких не використовують наземні опорні точки (GCP), що є перспективним для масових кадастрових знімків.

У наших дослідженнях (Тарнавський, 2025; Тарнавський та ін., 2024; Тарнавський, Ковальчук, 2024; Тарнавський, Єрмилов, 2023) розглянуто питання інформаційного забезпечення землевпорядних та кадастрових робіт, які свідчать, що інтегровані геопросторові підходи до високоточного моделювання рельєфу за допомогою БПЛА у сфері кадастру та землеустрою відкривають нові горизонти для точного та економічного картографування.

Узагальнення наукових джерел свідчить, що БПЛА-технології мають високу наукову й практичну цінність для кадастрових робіт і топографічного моделювання. Попередні дослідження створили методологічне підґрунтя для формування інтегрованих процесів, які поєднують фотограмметрію, супутникове позиціонування та сучасні алгоритми оброблення просторових даних. Подальші розвідування мають бути спрямовані на вдосконалення правових і нормативних аспектів впровадження БПЛА в національні кадастрові системи.

## Мета статті

Метою статті є наукове обґрунтування та практична реалізація інтегрованих геопросторових підходів до високоточного моделювання рельєфу за допомогою БПЛА у поєднанні з GNSS-технологіями та іншими сучасними методами знімання. Дослідження проводяться з метою створення комплексної цифрової моделі місцевості, що забезпечує підвищену точність і достовірність просторових даних для ефективного застосування у сфері землеустрою та кадастру.

## Матеріали та методи

### Сучасний стан землеустрою та кадастру в Україні

Система землеустрою та кадастру в Україні перебуває на етапі активної трансформації, зумовленої процесами діджиталізації, євроінтеграції та зростанням потреби у високоточних геопросторових даних. Одним із ключових завдань сучасного етапу розвитку є забезпечення актуальності, повноти й достовірності кадастрової інформації, що визначає ефективність управління земельними ресурсами, просторового планування та підвищення інвестиційної привабливості територій.

Важливу роль у вирішенні цих завдань відіграє впровадження інноваційних методів геодезичного та топографічного знімання, зокрема технологій GNSS та БПЛА, які забезпечують отримання ортофотопланів високої просторової роздільної здатності та побудову цифрових моделей місцевості. Інтеграція GNSS-знімання з фотограмметрією на основі БПЛА дає змогу підвищити точність і ефективність кадастрових робіт, скоротити терміни виконання та зменшити їхню собівартість,

забезпечуючи оперативне оновлення даних у Державному земельному кадастрі.

Паралельно з розвитком аерофотознімання впроваджуються технології наземного лазерного сканування й мобільного картографування, що розширюють можливості просторової інвентаризації земель, моніторингу забудови та моделювання урбанізованих територій. Для прибережних та водних об'єктів дедалі більшого значення набувають гідролокаційні дослідження з використанням ехолотів, які дають змогу створювати детальні моделі рельєфу дна та інтегрувати їх в єдині геоінформаційні бази.

Важливим напрямом розвитку є гармонізація національних кадастрових і геодезичних систем із європейськими стандартами, зокрема INSPIRE, що забезпечує інтероперабельність та відкритість просторових даних. Застосування єдиної системи координат УСК-2000 у поєднанні з сучасними ГІС-технологіями створює основу для формування національної інфраструктури просторових даних.

Таким чином, сучасний стан землеустрою та кадастру в Україні характеризується переходом від традиційних методів до інтегрованих цифрових технологій, які забезпечують високий рівень точності, швидкодії та аналітичності даних. Подальший розвиток галузі безпосередньо пов'язаний із впровадженням інновацій дистанційного зондування Землі, цифрових моделей рельєфу та вдосконаленням нормативно-правових механізмів управління земельними ресурсами.

Під час проведення дослідження використовувалося сучасне геодезичне та гідрографічне обладнання, що забезпечує високу точність збору геопросторових даних. Основні вимірювання виконувались із застосуванням ехолота, GNSS-приймача та БПЛА. Польові матеріали опрацьовувались у спеціалізованих програмних середовищах для створення картографічних і графічних продуктів.

### Методологічний робочий процес

Зростаючі вимоги до оперативного та високоточного картографування у складних природних і антропогенних умовах зумовлюють потребу в удосконаленні методології топографо-геодезичних знімків. Традиційні кадастрові підходи, хоча й залишаються надійними, відзначаються високою трудомісткістю та недостатньою адаптивністю для територій зі складним рельєфом, великою площею чи наявністю водних об'єктів. Особливо це актуально при створенні та оновленні графічних матеріалів земель водного фонду, де складна морфологія, рослинний покрив і специфіка середовища ускладнюють виконання класичних геодезичних робіт.

Метою дослідження є розроблення, адаптація та апробація інтегрованої методології просторового картографування для моніторингу, паспортизації та внесення даних про водні об'єкти до Державного земельного кадастру України. Методика об'єднує фотограмметричні дослідження з використанням БПЛА, гідрографічні вишукування із застосуванням

ехолотів та GNSS-вимірювання в режимі реального часу (Рис. 1).

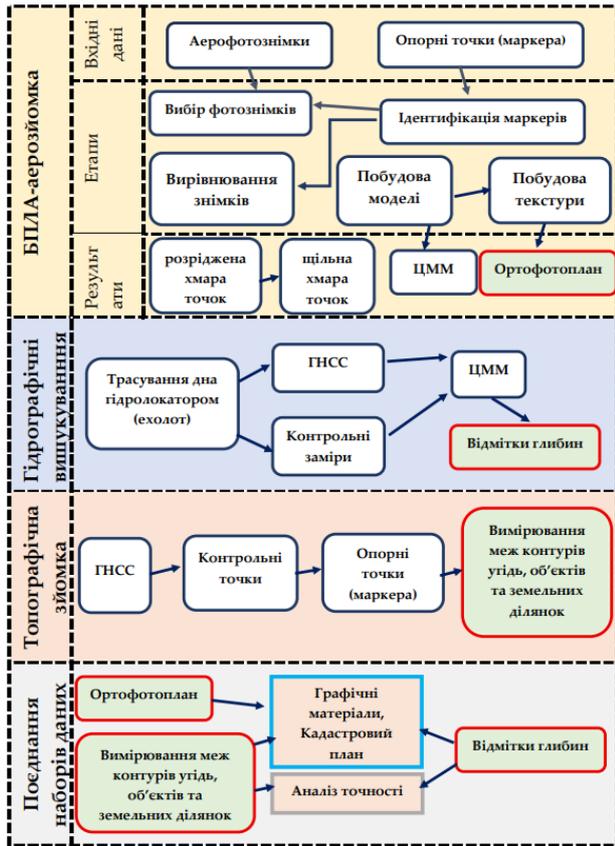


Рис. 1. Блок-схема робочого процесу оброблення даних на основі БПЛА для цифрового моделювання місцевості високої роздільної здатності та створення ортофотопланів у землеустрої та кадастрі

**Характеристика об’єкта дослідження**

Об’єктом дослідження є територія (49°24'54.0"N 29°51'42.6"E), яка охоплює земельну ділянку земель водного фонду, на якій розташовані водний об’єкт – ставок, а також дамби та гідротехнічні споруди, що забезпечують його функціонування, зокрема для рибогосподарських цілей (риборозведення).

Досліджувана ділянка землекористування розташована в Київській області, Білоцерківському районі, у межах Тетіївської територіальної громади,

поблизу села Черепинка (за межами населеного пункту).

**Інструменти, збір та оброблення даних  
Супутникові вишукування**

Супутникові вимірювання є однією з базових технологій сучасної геодезії, оскільки забезпечують високу точність визначення просторового положення точок та створюють основу для моніторингу змін рельєфу. У межах цього дослідження комплекс GNSS-вимірювань було виконано у квітні 2025 року. Для спостережень застосовувався високоточний GNSS-приймач CHCNAV i50, підключений до мережі перманентних базових GNSS-станцій компанії System Solutions, сертифікованих відповідно до чинних метрологічних стандартів (System Solution, офіційний сайт).

Перед початком польових робіт здійснено прив’язку приймача до пунктів державної геодезичної мережі згущення та калібрування обладнання. Для цього використано три контрольні пункти: М352427600 (Бурківці), М352427700 (Кашперівка) та М352428000 (Тетіїв), координати яких отримано з офіційної бази геодезичних даних ДП “Науково-дослідний і проектний інститут геодезії і картографії”.

Просторові вимірювання проводилися в системі координат УСК-2000 (6-та зона, проєкція Гауса – Крюгера), а висотні визначення – у Балтійській системі висот 1977 року, що забезпечує повну сумісність результатів із сучасними ГІС-платформами.

Супутникові дані оброблялись в режимі NRTK (Net Real Time Kinematic) із використанням точних ефемерид та поправок на тропосферні та іоносферні впливи. Отримані результати забезпечили середню точність 0,5–1,8 см по горизонталі та 0,6–2,1 см по вертикалі, що відповідає вимогам кадастрових і топографо-геодезичних робіт.

У ході GNSS-спостережень зафіксовано 234 точки, серед яких: 101 – берегова лінія та уріз водного плеса; 10 – контрольні вимірювання з використанням рейки; 24 – гідротехнічні споруди; 92 – елементи рельєфу та контури угідь навколо водойми; 7 – опорні точки (маркери) для геоприв’язки аерознімків (Рис. 2).



Рис. 2. Інструментарій, що був використаний під час збору польових даних:

- а – GNSS-знімання території – CHCNAV I50; б – GNSS-знімання наземних контрольних точок (маркерів) – CHCNAV I50; в – сканування водної поверхні та дна об’єкта за допомогою ехолота – Deeper PRO+; г – виконання польотної місії БПЛА – DJI Mavic 3

### Гідрографічні дослідження

Гідрографічні дослідження є невід’ємною складовою комплексного аналізу водних об’єктів, оскільки забезпечують отримання просторово-точних даних про морфологію дна та конфігурацію берегової лінії, що має ключове значення для інженерного проектування, екологічного моніторингу та управління водними ресурсами. Висока точність таких робіт потребує урахування комплексу чинників, здатних впливати на достовірність результатів, зокрема гідрометеорологічних умов, сезонних коливань рівня води, акустичних характеристик середовища та локальних перешкод, що можуть знижувати якість сигналу.

Суттєвим фактором, який впливає на стабільність результатів, є хвилювання поверхні води. Коливання плавзасобу під дією хвиль знижує точність фіксації глибин ехолотом, що може спричинити похибки у визначенні мікрорельєфу дна. З огляду на це, оптимальним періодом для виконання гідрографічних знімачь є зимово-весняний сезон, коли інтенсивність гідродинамічних процесів мінімальна, а швидкість поширення звуку у воді характеризується стабільністю, що позитивно впливає на точність зондування.

Важливим етапом є планування схеми профілів зондування. Для забезпечення системності збору даних використовувалася методика паралельних профілів, орієнтованих перпендикулярно до ізобат. У практиці польових вимірювань застосовано схему “газонокосарки”, що передбачає рівномірне прокладання маршрутів уздовж контурів постійної глибини. Такий підхід дає змогу досягти рівномірного розподілу точок спостережень і мінімізувати пропуски у даних щодо локальних форм рельєфу дна.

Для зондування використовувався портативний ехолот Deeper PRO+, оснащений вбудованим GNSS-приймачем із підтримкою систем GPS-NAVSTAR, BeiDou та Galileo. Це дало змогу здійснювати одночасну реєстрацію координат і глибин точок вимірювань, що є необхідною умовою для побудови тривимірної цифрової моделі дна. Знімання виконувалося з борту легкого човна, що забезпечувало високу мобільність та охоплення всієї акваторії водойми (Рис. 3).



**Рис. 3.** Гідрографічні дослідження:

- а) фотозвіт контрольних замірів за допомогою рейки території водного об’єкта; б) діалогове вікно застосунку з відображенням карти глибин; в) фотозвіт знімання рельєфу дна з борту човна за допомогою ехолота

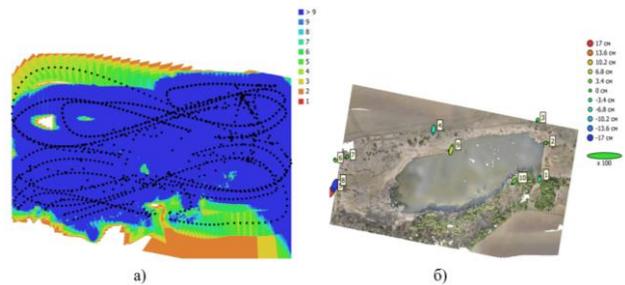
На ділянках із глибиною менше 0,7 м, де робота ехолота ускладнювалася, застосовувалися традиційні промірні методи з використанням віх. Усі отримані дані інтегрувалися з результатами GNSS-вимірювань у режимі RTK, що забезпечувало геодезичну точність просторової прив’язки. Особливу увагу приділено інвентаризації гідротехнічних споруд (дамб, шлюзів, водоскидних конструкцій), параметри яких мають вирішальне значення для оцінювання їх технічного стану та експлуатаційної надійності.

### Дистанційне зондування

Аерофотознімання належить ключове місце у сучасних дослідженнях стану земельних і водних ресурсів, оскільки забезпечує отримання високодеталізованих просторових даних для геоінформаційного аналізу. У цьому дослідженні застосовано БпЛА DJI Mavic 3, що продемонстрував високу ефективність при рекогносцируванні, моніторингу та побудові цифрових моделей місцевості.

Знімання виконано на території загальною площею 10 га, зокрема водоймі (4,4 га) та прилеглий території (5,6 га). Автоматизоване планування польотних маршрутів і зображення з роздільною здатністю до 1 см/піксел забезпечили створення матеріалів, придатних для формування цифрової моделі рельєфу (ЦМР) і місцевості (ЦММ).

Основні технічні параметри DJI Mavic 3: камера 20 МП, запис 5.1К-відео, інтегрований GNSS-приймач (GPS, Galileo, BeiDou), тривалість польоту до 46 хв і дальність зв’язку до 15 км. Такі характеристики роблять платформу універсальним інструментом для картографічних і моніторингових завдань (Рис. 4).



**Рис. 4.** Місія польоту БпЛА:

- а) розташування камер (чорні точки) та перекриття знімків;
- б) розміщення наземних опорних пунктів (точок GNSS закріплення) і чорно-білих мішеней (маркерів)

Матеріали оброблені за допомогою фотограмметричного вирівнювання з визначенням параметрів зовнішнього та внутрішнього орієнтування камери. На основі розрідженої хмари точок побудовано щільну хмару, що слугувала базою для ЦММ. Знімання здійснено в режимі PPK (Post-Processed Kinematic), а для підвищення точності використано наземні контрольні точки – маркери, координати яких визначено GNSS-приймачами.

Опорні знаки розміром 50×50 см розміщено на місцевості, польотна місія виконувалася на висоті 50 м, що дало змогу створити картографічні матеріали у масштабі 1:500.

Візуалізація результатів охоплювала побудову ортофотопланів, цифрової моделі рельєфу та 3D-моделі території. Планові похибки відображалися еліпсами, висотні – кольоровим градієнтом.

#### Камеральне оброблення польових вишукувань

Отримані у процесі польових вишукувань дані оброблялися в кількох програмних середовищах, оскільки різні види знімання потребували приведення матеріалів до єдиного формату та узгодження основних параметрів – системи координат, масштабу та проєкції.

БпЛА-фотограмметричне знімання опрацьовано в програмному комплексі Agisoft Metashape, який забезпечив формування цифрової моделі місцевості (ЦММ) та ортофотоплану досліджуваної території. У програмному середовищі проведено роботу з опорними GNSS-точками (маркерами), що дало змогу якісно орієнтувати зображення та підвищити точність геопросторових даних. У результаті було опрацьовано 1 489 знімків, використано 10 маркерів (схему їхнього розташування наведено окремо).

Результати оцінювання залишкових похибок для кожного маркера наведено в Табл. 1. Середня загальна похибка становить 13,65 см, при цьому середні похибки за осями дорівнюють 4,72 см по X, 10,10 см по Y та 7,87 см по Z.

Таблиця 1. Опорні GNSS точки (маркери)

Назва	Похибка, X (см)	Похибка, Y (см)	Похибка, Z (см)	Загальна (см)	Знімок (пікс)
1	2.6058	8.98141	-3.26343	9.90485	5.920 (25)
2	3.75917	0.371443	1.12018	3.94006	0.904 (36)
3	-0.855472	-3.52571	0.189488	3.63296	1.605 (55)
4	-1.2159	-12.6414	-6.22751	14.1445	1.368 (23)
5	8.74569	16.021	16.1351	24.3619	7.728 (16)
6	-1.12362	2.44801	1.40227	3.03672	0.745 (10)
7	-3.50534	-2.33497	-0.494136	4.24072	0.783 (10)
8	-5.60316	-15.0259	-16.4336	22.9616	8.331 (16)
9	4.69185	14.1903	5.69973	15.9958	35.719 (54)
10	-7.49902	-8.48413	1.87191	11.4769	8.077 (28)
Загальна	4.72031	10.1009	7.86975	13.6471	16.452

Отримані результати відповідають плановій точності на рівні 1:500–1:1000, що є прийнятним для великомасштабного топографічного та кадастрового картографування в межах природних і сільськогосподарських територій. Підвищені відхилення на окремих маркерах (зокрема №№ 5, 8 та 9) зумовлені різномірністю рельєфу, неоднорідністю текстури поверхні, а також частковим перекриттям мішеней на фотознімках.

Таблиця 2. Узагальнені показники точності результатів БпЛА-фотограмметрії

Параметр	Середня похибка (см)	Мінімум (см)	Максимум (см)	Стандартне відхилення (см)
X	4,72	0,85	8,75	3,12
Y	10,10	0,37	16,02	5,22
Z	7,87	0,19	16,43	4,98
Загальна	13,65	3,03	24,36	6,42

Дещо більша дисперсія похибок за віссю Y може свідчити про вплив бокового вітру під час польоту або про незначне систематичне зміщення, пов'язане з роботою інерціальної навігаційної системи (IMU). Вертикальні похибки (по осі Z) залишалися помірними – у середньому до 8 см, що підтверджує належне калібрування камери та якісне використання опорних точок. Разом з тим, цифрова модель, отримана за результатами аерофотознімання, не відображала висотні відмітки водного дзеркала, необхідні для розрахунку кількісних характеристик водойми та її паспортизації. Для уточнення цих параметрів використано дані гідролокаційних вимірювань, виконаних ехолотом Deeper+ Sonar FLDP-13. Отриману карту глибин експортовано у формат .CSV у системі координат WGS 84. Оскільки дані мали відносний характер, для їхньої трансформації у систему висот УСК-2000 застосовано програму MS Excel, де проведено обчислення геодезичних висот та побудовано карту глибин водойми.

Польові GNSS-вимірювання, отримані за допомогою приймача CHCNAV i50, експортовано у формат .DXF і опрацьовано у картографічному редакторі Delta/Digitals Professional XE. Це універсальне середовище дало змогу сформувати графічні матеріали, кадастрові плани, схеми та обмінні файли .XML, придатні для подальшого використання в системах ГІС і Державному земельному кадастрі.

Інтеграція результатів з різних джерел – БпЛА Mavic 3 Enterprise, GNSS-приймача та ехолота – дала змогу створити єдиний масив топографо-геодезичних даних, що ліг в основу повноцінної цифрової моделі місцевості. Використання комплексного підходу забезпечило високу точність, оперативність та економічність проведення робіт, що підтверджує ефективність поєднання сучасних технологій дистанційного зондування у практиці землеустрою та кадастру.

#### Результати

Експериментальні дослідження проводилися на прикладі водойми та прилеглої території в Білоцерківському районі Київської області. Аерознімання виконано БпЛА DJI Mavic 3 Enterprise (20 МП-камера, GNSS-модуль), що забезпечило створення детальної ортофотопанорами та хмари точок. Паралельно проведено GNSS NRTK-вимірювання приймачем CHCNAV i50, підключеним до мережі референсних станцій, із точністю 8 мм + 1 ppm у плані та 15 мм + 1 ppm по висоті. Гідрографічні дослідження здійснено ехолотом Deeper+ Sonar FLDP-13, що дав змогу побудувати тривимірну модель рельєфу дна з високою деталізацією, доповнену мірними рейками для мілководних ділянок.

Отримані результати включають високоточні ортофотоплани, тривимірні моделі рельєфу дна, межі ділянок та угідь, контури гідротехнічних споруд і кадастрові плани для паспортизації водних об'єктів (Рис. 5).

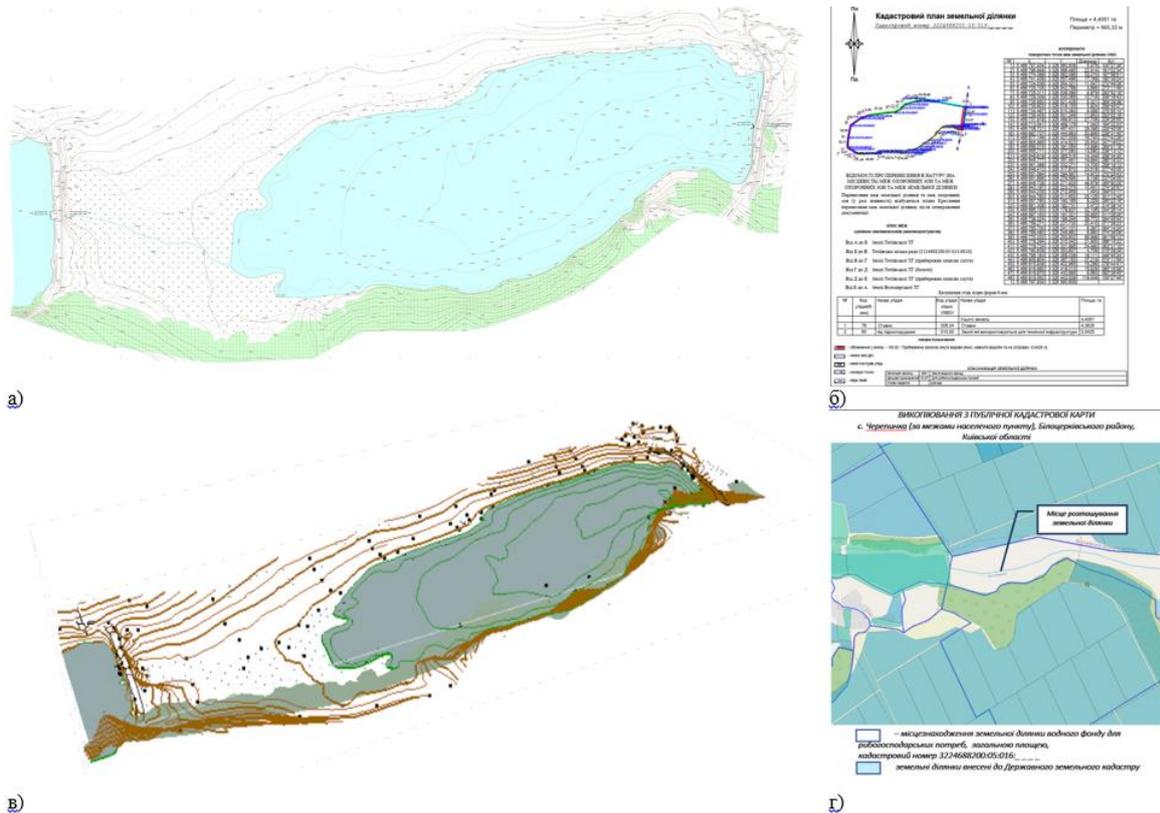


Рис. 5. Графічні матеріали:

- а) топографо-геодезичне креслення М 1:500; б) кадастровий план земельної ділянки;  
в) цифрова модель місцевості у 3-D вигляді; г) вкопіювання з індексної кадастрової карти

Запропонована методологія демонструє значне підвищення ефективності, точності та комплексності кадастрових зніманих, доводячи свою масштабованість і універсальність для вирішення ширшого кола геопросторових завдань у сфері землеустрою та управління земельними ресурсами (Табл. 3). Реалізовано підхід, що поєднує сучасні геопросторові методи – фотограмметрію з безпілотних літальних апаратів, GNSS-вимірювання та цифрове оброблення геоданих, – результатом чого стало створення високодетального кадастрового плану, який відповідає вимогам сучасних систем управління земельними ресурсами.

Таблиця 3. Порівняльний аналіз показників точності запропонованої методики

Критерій	Тахеометричне знімання	БпЛА + GNSS	Інтегрована методика (GNSS + БпЛА + ехолот)
Планова точність	3–5 см	5–10 см	4–8 см
Висотна точність	5–10 см	7–12 см	5–8 см (суходіл), 8–12 см (дно)
Щільність точок	Дискретна	Суцільна	Суцільна (поверхня + дно)
3D-модель	Часткова	Поверхнева	Повна 3D (включно з батиметрією)

Традиційно кадастрове картографування базувалося на наземних методах – тахеометричному і GNSS-зніманні, які забезпечують високу точність, але потребують значних трудових, часових та фінансових ресурсів. Впровадження цифрових кадастрових систем суттєво трансформувало цей процес, оптимізувавши збір, оброблення та

інтеграцію просторових даних. Цифрові платформи дають змогу автоматизувати перевірку координатних матеріалів, покращити візуалізацію об'єктів та забезпечити швидкий обмін даними між геодезистами, державними установами та кадастровими реєстрами.

Незважаючи на те, що чинна нормативно-правова база України наразі передбачає використання переважно двовимірних (2D) кадастрових планів, сучасні технології відкривають перспективи переходу до тривимірних (3D) моделей кадастрових даних. Використання результатів зніманих з БпЛА, цифрових моделей рельєфу та висотних відміток дає змогу формувати просторові об'єкти з вертикальною структурою, що відображають контури угідь, форми рельєфу, інженерну інфраструктуру та об'єкти нерухомості у тривимірному форматі.

Таким чином, інтеграція фотограмметричних і геодезичних методів із цифровими платформами кадастрового моделювання створює передумови для формування інтелектуальних кадастрових систем нового покоління, здатних забезпечувати точність, динамічність оновлення та сумісність із глобальними геоінформаційними мережами. У перспективі це сприятиме розвитку 3D-кадастру України як ключового елемента просторової інфраструктури держави.

## Висновки

У ході проведеного дослідження доведено, що сучасні тенденції цифрової трансформації геодезії, землеустрою та кадастру вимагають інтеграції

інноваційних технологій, здатних забезпечити високоточне, комплексне та динамічне відображення просторової інформації. Розвиток цифрових методів просторового аналізу обумовлює необхідність поєднання різних джерел геоданих – GNSS-знімання, фотограмметрії на базі БЛІА та гідролакаційних досліджень – у єдиний технологічний ланцюг оброблення. Така інтеграція є ефективним інструментом для створення цифрових моделей місцевості, ортофотопланів і тривимірних моделей рельєфу дна водних об'єктів.

Аналіз результатів підтвердив, що БЛІА-фотограмметрія у поєднанні з GNSS-вимірюваннями забезпечує просторову точність, зрівню з традиційними геодезичними методами, при суттєвому скороченні часових і фінансових витрат. Використання ехолотного зондування водних об'єктів доповнює наземні та аерофотограмметричні дані, що розширює можливості паспортизації водойм і створює передумови для інтеграції батиметричної інформації у структуру Державного земельного кадастру.

Інтеграція ехолотного зондування, GNSS-вимірювань і традиційних промірювальних методів забезпечила формування єдиного комплексного набору геопросторових даних, придатного для побудови високоточних цифрових моделей рельєфу дна. Запропонований підхід підвищує ефективність моніторингу водних об'єктів і сприяє раціональному управлінню водними ресурсами в контексті сучасного просторового планування та кадастрових робіт.

Практичну апробацію розробленої методики здійснено на прикладі водойми Київської області. Отримані результати – ортофотоплани, цифрові моделі місцевості та кадастрові карти – відповідають вимогам чинної нормативної бази, зокрема положенням Порядку топографічної зйомки № 1675 від 17.04.2025 р. Це підтверджує універсальність і придатність методики для використання на різних типах земель, включно з територіями водного фонду та природоохоронного призначення.

Наукова та практична значущість роботи полягає у формуванні інтегрованого робочого процесу “GNSS – БЛІА – ехолот”, що усуває обмеження традиційних кадастрових методів і забезпечує підвищення достовірності просторових даних. Такий підхід сприяє покращенню точності визначення меж земельних ділянок, моніторингу стану земель і водних ресурсів та підвищує ефективність управління територіями.

У перспективі гармонізація нормативно-правового забезпечення з європейськими стандартами INSPIRE та LADM стане визначальним чинником масштабного впровадження інновацій у сферу землеустрою й кадастру. Запропонована методика може слугувати науково-методичною основою модернізації системи управління земельними ресурсами України та забезпечення сталого розвитку територіальних громад.

**Внесок авторів:** Концептуалізація – В. А. Тарнавський; методологія – В. А. Тарнавський, формальний аналіз – Н. В. Комарова, О. В. Камінецька, систематизація,

візуалізація – В. А. Тарнавський, Т. М. Сіроштан, підготовка тексту статті: авторський рукопис – В. А. Тарнавський, рецензування та редагування – Н. В. Комарова, О. В. Камінецька, візуалізація – В. А. Тарнавський, Т. М. Сіроштан. Всі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

**Фінансування:** за рахунок власних коштів авторського складу.

**Доступність даних:** Дані можуть бути надані авторами за обґрунтованим запитом.

**Подяки:** Автори вдячні рецензентам і редакторам за їхні цінні коментарі, рекомендації та увагу до роботи.

**Конфлікти інтересів:** Автори заявляють, що не мають конфлікту інтересів.

**Author Contributions:** Conceptualization – V. A. Tarnavskiy; methodology – V. A. Tarnavskiy; formal analysis – N. V. Komarova, O. V. Kaminetska; systematization and visualization – V. A. Tarnavskiy, T. M. Siroshstan; writing – original draft preparation – V. A. Tarnavskiy; review and editing – N. V. Komarova, O. V. Kaminetska; visualization – V. A. Tarnavskiy, T. M. Siroshstan. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding and was conducted using the authors own resources.

**Data Availability:** Data are available from the authors upon reasonable request.

**Acknowledgments:** The authors express their gratitude to the reviewers and editors for their valuable comments, recommendations, and careful attention to this work.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

#### Література:

- Державна служба з питань геодезії картографії та кадастру. (2025). Офіційний сайт. Взято з <https://land.gov.ua>.
- Земельний кодекс України. (2024). Законодавство України : вебсайт. Документ № 4017-IX від 10.10.2024. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.
- Про Державний земельний кадастр. (2011). Закон України від 07.07.2011 р. № 3613-VI. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>.
- Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). (1998). № 56 від 09.04.98 : зареєстр. в Міністерстві юстиції України 23.06.1998 за № 393/2833. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>.
- Про затвердження Порядку з топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. (2025). № 1675 від 17.04.2025 : зареєстр. в Міністерстві юстиції України 05.06.2025 за № 868/44274. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0868-25#Text>.
- Про землеустрій. (2003). Закон України від 22.05.2003 р. № 858-IV. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>.
- Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність. (1998). Закон України від 23.12.1998 № 353-XIV. Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>.
- Тарнавський, В. А. (2025). Інноваційні методи та технології топографо-геодезичних і гідрографічних досліджень водних об'єктів. Матеріали Міжнар. конф. “Land Unity Summit 2025”. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. ISBN-978-966-694-497-2-2025.
- Тарнавський, В. А., Єрмилов, Д. А. (2023). Виконання комплексу аерознімальних робіт за допомогою безпілотних літальних апаратів методами RTK/PPK. Землепорядна галузь України: здобутки, виклики та перспективи : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Біла Церква: БНАУ.

- Тарнавський, В. А., Єрмилов Д. А. (2023). *Переваги застосування безпілотних водних апаратів при проведенні гідрографічної зйомки*. Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту : Міжнар. наук.-практ. конф. Біла Церква: БНАУ
- Тарнавський, В. А., Єрмилов, Д. А., Скорик, М. А. (2024). *Застосування лазерних сканувальних лідарних систем для потреб землеустрою*. Використання й охорона земельних ресурсів та туристично-рекреаційний потенціал територій : II Всеукраїнська наук.-практ. інтернет-конф. Львів: ЛНУП.
- Тарнавський, В. А., Ковальчук, О. М. (2024). Інформаційне забезпечення організаційно-економічного механізму використання земельних ресурсів Бориспільської територіальної громади. *Ефективна економіка*, № 12. <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.12.60>.
- Dai, W., Li, H., Zhang, Y., Wang, L., Wu, C. (2024). Effects of DEM Resolution on UAV-Based Topographic Change Detection in Human-Altered Landscapes. *Drones*, 8(5), 152. <https://doi.org/10.3390/drones8050152>.
- Dragomir, L. O., Popescu, C. A., Herbei, M. V., Popescu, G., Rotaru, O., Popescu, D. & Dobre, R. (2025). Enhancing Conventional Land Surveying for Cadastral Documentation in Romania with UAV Photogrammetry and SLAM. *Remote Sensing*, 17(13), 2113. <https://doi.org/10.3390/rs17132113>.
- Iqbal, A., Kausar, A., Akhter, G., Anwar, A., Shahzad, K., Abbas, A. (2023). Effectiveness of UAV-based Digital Terrain Models (DTM) and Satellite Data for Land Surface Mapping. *Journal of Field Robotics*, 40(7), 1241–1258. <https://doi.org/10.1002/rob.22224>.
- Kersten, T. P., Przybilla, H. J., Lindstaedt, M., Tschirschwitz, F. (2025). UAV/UAS Photogrammetry for Use in Cadastral Surveying. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLVIII-1/W1-2025, 55–62. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W1-2025-55-2025>.
- Kovanič, L., Urban, R., Gdulová, K., Výboštok, J., O'ahel', J., Vajsáblová, M. ... Fogaš M. (2023) Review of Photogrammetric and LiDAR Applications of UAV. *Applied Sciences*, 13(2), 1102. <https://doi.org/10.3390/app13021102>.
- Pro Derzhavnyi zemelnyi kadastr* (Law of Ukraine No. 3613-VI of 07.07.2011). (2011). Verkhovna Rada Ukrainy. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (in Ukrainian).
- Pro zatverdzhennia Instruksii z topografichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 (GKNTA-2.04-02-98)*. (1998). Order No. 56 of 09.04.1998. Ministry of Justice of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text> (in Ukrainian).
- Pro zatverdzhennia Poriadku topografichnoi zjomyky u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500* (Order No. 1675 of 17.04.2025). (2025). Ministry of Justice of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0868-25#Text> (in Ukrainian).
- Pro zemleustrii* (Law of Ukraine No. 858-IV of 22.05.2003). (2003). Verkhovna Rada Ukrainy. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (in Ukrainian).
- Pro topografo-heodezychnu i kartografichnu diialnist* (Law of Ukraine No. 353-XIV of 23.12.1998). (1998). Verkhovna Rada Ukrainy. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text> (in Ukrainian).
- Ruli, A., Nugraha, D. A., Lubis, A. D., Wibowo, H., Pradana, M. (2023). Improving UAV Image Acquisition Efficiency and Orthophoto Positional Accuracy without the Need for GCPs for Cadastral Mapping. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201. 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012014>.
- System Solution*. (2025). Офіційний сайт.
- Vieira, G., Mora, C., Pina, P., Fernandes, R. (2022). UAV datasets for digital surface models and orthomosaic generation: methodology and accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 43(15), 5621–5639. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2081234>.
- Vieira, G., Mora, C., Pina, P., Ramalho, R., Fernandes, R. (2021). UAV-based very high resolution point cloud, digital surface model and orthomosaic of the Chã das Caldeiras lava fields (Fogo, Cabo Verde). *Earth System Science Data*, 13, 3179–3191. <https://doi.org/10.5194/essd-13-3179-2021>.

## References

- Dai, W., Li, H., Zhang, Y., Wang, L., Wu, C. (2024). Effects of DEM Resolution on UAV-Based Topographic Change Detection in Human-Altered Landscapes. *Drones*, 8(5), 152. <https://doi.org/10.3390/drones8050152>.
- Derzhavna sluzhba z pytan heodezii, kartografii ta kadastru. (2025). Ofitsiynyi sait. Retrieved from <https://land.gov.ua> (in Ukrainian).

- management needs. In II All-Ukrainian Internet Conference “Use and Protection of Land Resources and Tourist-Recreational Potential of Territories” (pp. 69–71). Lviv: LNUP. (in Ukrainian).
- Tarnavskiy, V. A., Kovalchuk, O. M. (2024). Information support of the organizational and economic mechanism for the use of land resources of the Boryspil territorial community. *Efektivna Ekonomika*, 12. <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.12.60>. (in Ukrainian).
- Vieira, G., Mora, C., Pina, P., Fernandes, R. (2022). UAV datasets for digital surface models and orthomosaic generation: methodology and accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 43(15), 5621–5639. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2081234>.
- Vieira, G., Mora, C., Pina, P., Ramalho, R., Fernandes, R. (2021). UAV-based very high resolution point cloud, digital surface model and orthomosaic of the Chã das Caldeiras lava fields (Fogo, Cabo Verde). *Earth System Science Data*, 13, 3179–3191. <https://doi.org/10.5194/essd-13-3179-2021>.
- Zemelnyi kodeks Ukrainy* (Law of Ukraine No. 4017-IX of 10.10.2024). (2024). *Zakonodavstvo Ukrainy*. Retrieved April 9, 2025, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (in Ukrainian).

#### INTEGRATED UAV AND GEOSPATIAL APPROACHES FOR HIGH-PRECISION DIGITAL TERRAIN MODELING IN CADASTRE AND LAND MANAGEMENT

Tarnavskiy V. A., <https://orcid.org/0000-0002-2321-6352>

Siroshtan T. M., <https://orcid.org/0000-0001-6791-7081>

Komarova N. V., <https://orcid.org/0000-0002-9347-455X>

Kaminetska O. V., <https://orcid.org/0000-0002-1576-6477>

*Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna Square, Bila Tserkva, 09117, Ukraine*

This study presents an integrated geospatial methodology for high-precision terrain modelling within the domains of land management and cadastre. The proposed approach combines UAV-based photogrammetry, hydrographic surveying using sonar (echo sounder), and GNSS measurements, enabling accurate and efficient topographic and geodetic data acquisition in areas with complex relief, limited accessibility, or restricted visibility.

The methodology was tested in the Tetiyiv Territorial Community, Bila Tserkva District, Kyiv Region (Ukraine), where the research focused on water fund lands containing a pond, hydraulic structures, and protective coastal zones. Bathymetric data were obtained using a professional echo sounder capable of automated bottom scanning and real-time three-dimensional (3D) model generation. The collected data were integrated with UAV aerial imagery and GNSS ground control points to produce a comprehensive Digital Elevation Model (DEM) and high-resolution orthophotomap.

The integration of multisource spatial datasets significantly enhances the accuracy and detail of the terrain model, supporting effective inventory, monitoring, and documentation of water fund lands and hydraulic infrastructure. The resulting cartographic materials, including 3D terrain reconstructions and 2D maps at a 1:1000 scale, provide a reliable spatial basis for cadastral registration, environmental monitoring, and spatial planning.

The proposed “GNSS – Sonar – UAV” integrated methodology establishes a scalable and cost-effective framework for the modernization of cadastral and land management workflows. It contributes to the digital transformation of spatial data infrastructures in Ukraine by improving the precision, efficiency, and interoperability of topographic, cadastral, and hydrographic surveying processes.

**Keywords:** unmanned aerial technologies, water body, aerial survey, hydrographic survey, land management, topographic and geodetic surveys, GNSS, sonar, cadastre, digital elevation model, orthophoto.

*Рукопис статті отримано 15.11.2025*

*Находження остаточної версії: 05.03.2026*

*Публікація статті: 30.03.2026*

*Received 15.11.2025*

*Revised 05.03.2026*

*Accepted 30.03.2026*