Ukrainian Journal of Remote Sensing
journal homepage: www.ujrs.org.ua

https://doi.org/10.36023/ujrs.2026.13.3.301

УДК 528.7:528.94:631.4

Моніторинг та картографування сільськогосподарського землекористування із застосуванням супутникових та безпілотних технологій

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 обґрунтовано та представлено інтегровану геопросторову методологію моніторингу й картографування сільськогосподарського землекористування для потреб землеустрою та кадастру, що базується на поєднанні супутникових GNSS-спостережень та фотограмметричних знімань із використанням безпілотних літальних апаратів (БпЛА). Запропонований підхід спрямований на підвищення точності, інформативності та оперативності топографо-геодезичних робіт в умовах складного рельєфу, обмеженої доступності територій і фрагментарності традиційних джерел просторових даних.

Методологічні положення дослідження апробовано в межах Тетіївської міської територіальної громади Білоцерківського району Київської області, де об'єктом аналізу виступали землі сільськогосподарського землекористування, включно з господарськими будівлями та дворами, ґрунтовими дорогами. Отримані супутникові дані інтегровано з матеріалами БпЛА-аерофотознімання з метою формування єдиної узгодженої цифрової моделі місцевості.

Інтеграція різнорідних просторових даних забезпечує підвищення точності побудови цифрових моделей рельєфу, оптимізацію процесів картографування та моніторингу земель сільськогосподарського призначення, відповідно до вимог управлінських рішень та Державного земельного кадастру. У результаті виконаних топографо-геодезичних вишукувань створено цифрову модель місцевості, тривимірну реконструкцію та двовимірні картографічні матеріали у масштабі 1:1000, що забезпечують високий рівень деталізації та візуалізації рельєфу територій.

Поєднання сучасних супутникових та безпілотних технологій у межах єдиної інтегрованої системи формує нові можливості для підвищення точності, комплексності та аналітичної цінності кадастрових і землевпорядних досліджень. Запропонований підхід є універсальним і може бути масштабований для різних типів сільськогосподарського землекористування, що сприятиме подальшій цифровій трансформації землеустрою та кадастрових процесів в Україні.

Ключові слова: безпілотні технології, БпЛА-фотограмметрія, землеустрій, територіальні громади, GNSS, кадастр, цифрова модель місцевості, ортофотоплан, сільськогосподарське землекористування, моніторинг, картографування.

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

Вступ

Земельні ресурси сільськогосподарського призначення є одним із визначальних чинників соціально-економічного та просторового розвитку територіальних громад, а ефективність їх використання безпосередньо залежить від якості, актуальності та повноти інформаційного забезпечення.

Важливою складовою сучасної системи управління територіями є регулярний моніторинг земель, який забезпечує виявлення змін у структурі землекористування, оцінку екологічного стану та фіксацію деградаційних процесів. У цьому контексті застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА) суттєво розширює можливості отримання оперативної та високодетальної просторової інформації про стан сільськогосподарських угідь.

Інтеграція даних, отриманих за допомогою БпЛА, із геоінформаційними системами, а також інформаційними ресурсами Державного земельного та Містобудівного кадастрів формує сучасну парадигму просторового аналізу, що ґрунтується на поєднанні різнотипних джерел геоданих. Такий підхід підвищує об'єктивність оцінок і точність управлінських рішень, насамперед у сфері моніторингу та картографування сільськогосподарського землекористування. БпЛА-фотограмметрія за умови коректного планування польотів, використання наземних опорних мереж і дотримання вимог до точності дає змогу отримувати ортофотоплани надвисокої просторової роздільної здатності, придатні для виконання землеустрою та кадастрових робіт.

*Corresponding author / Автор для кореспонденції: V. A. Tarnavskyi / В. А. Тарнавський / viacheslav.tarnavskyi@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/)

Відносно низька вартість та висока мобільність безпілотних технологій зумовлюють їх привабливість для розв'язання локальних і регіональних завдань. Водночас широке впровадження БпЛА супроводжується низкою методологічних, технічних і нормативно-правових викликів, пов'язаних із регламентацією точності знімань, процедурою юридичного визнання результатів та інтеграцією отриманих матеріалів у офіційні кадастрові системи. Важливим кроком у цьому напрямі стало оновлення нормативної бази шляхом затвердження сучасного Порядку виконання топографічних знімань, який узгоджує вимоги до картографічних робіт з можливостями новітніх геопросторових технологій.

Удосконалення традиційних геодезичних методів шляхом інтеграції інноваційних інструментів є закономірним етапом розвитку галузі в умовах цифрової трансформації. Комбіноване застосування GNSS-приймачів, БпЛА та інших сучасних вимірювальних засобів створює передумови для оперативного отримання високоточних геоданих, що забезпечує достовірне визначення меж земельних ділянок, структури угідь та особливостей територій.

Інтегрований підхід «GNSS – БпЛА» формує методологічну основу для підвищення точності, продуктивності та комплексності кадастрових і топографо-геодезичних робіт. Це забезпечує створення актуальних і юридично верифікованих картографічних матеріалів, необхідних для просторової інвентаризації, моніторингу сільськогосподарського землекористування та екологічного оцінювання територій. Практична новизна дослідження полягає в розробленні інтегрованого робочого процесу, який поєднує супутникові та безпілотні технології з наземними вимірюваннями, забезпечуючи високий рівень просторової точності за умов оптимізації часових і фінансових витрат.

Об'єктом дослідження є сільськогосподарське землекористування, а саме категорія земель – код 100 – землі сільськогосподарського призначення, цільове призначення земельної ділянки, що внесена до Державного земельного кадастру України (кадастровий номер 3224610100:06:019:****) код 01.02.– для ведення фермерського господарства, загальною площею 8,1537 га, категорія угідь – рілля (Держгеокадастр, 2025) Територія розташована в Київській області, Білоцерківському районі, Тетіївській територіальній громаді, м. Тетіїв (за межами населеного пункту), на південній околиці міста поблизу господарських будівель і споруд.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій

Проблематика моніторингу та картографування сільськогосподарського землекористування із застосуванням супутникових і безпілотних технологій набула значного розвитку у вітчизняних та зарубіжних наукових дослідженнях останніх років. Це зумовлено зростаючою потребою в оперативному отриманні високоточної просторової інформації, необхідної для управління аграрними територіями, контролю стану угідь, оцінювання земельних ресурсів, наповнення різноманітних застосунків та актуалізації відомостей Державного земельного кадастру України.

У наукових працях українських дослідників значна увага приділяється практичним аспектам застосування безпілотних літальних апаратів у геодезії та землеустрої. Зокрема, Дорожко та ін. (2025) обґрунтовують ефективність використання БпЛА для високоточного геодезичного знімання, акцентуючи на можливостях формування ортофотопланів і цифрових моделей місцевості з точністю, що відповідає вимогам кадастрових робіт.

Технічні та експлуатаційні особливості застосування БпЛА коптерного типу розглянуті в роботах Коломійцева та ін. (2024), де акцент зроблено на виборі платформ, сенсорів і параметрів польоту залежно від завдань картографування. Автори відзначають, що правильне планування місій БпЛА є критичним чинником для отримання якісних даних дистанційного зондування, зокрема під час моніторингу стану сільськогосподарських угідь і агроландшафтів.

Важливим доповненням до тематики є дослідження, присвячені оптимізації маршрутів польоту дронів. Кучеренко та Вакалюк (2024) у своєму огляді систем побудови маршрутів БпЛА підкреслюють роль алгоритмів планування польотів у підвищенні ефективності збору даних і зменшенні енергетичних витрат. Такі підходи безпосередньо впливають на якість та економічну доцільність використання БпЛА для моніторингу великих масивів сільськогосподарських земель.

Питання точності GNSS-вимірювань у режимах RTK і PPK широко висвітлюються в дослідженнях, присвячених порівняльному аналізу комерційних і некомерційних мереж поправок. Зокрема в роботі Д. П. Побігайло та ін., (2025) наголошується, що стабільність і достовірність результатів GNSS-вимірювань безпосередньо впливають на якість фотограмметричного опрацювання та коректність просторового позиціонування об'єктів землекористування.

Зарубіжні дослідники, традиційно багато уваги приділяють розвитку безпілотних технологій, зокрема (Martínez-Carricondo et al., 2021) аналізують точність RTK/PPK UAV-проєктів, використовуючи диференційні поправки від кількох GNSS-базових станцій, доводячи можливість досягнення сантиметрової точності без значної кількості маркерів (GCP).

У роботі (Štroner et al., 2021) зазначено, що застосування БпЛА, оснащених GNSS RTK-модулями, дає змогу отримувати ортофотоплани та цифрові моделі поверхні, придатні для кадастрових і землевпорядних завдань. Автори наголошують, що такі підходи є перспективними для регулярного моніторингу землекористування, зокрема в сільському господарстві, де необхідна висока оперативність оновлення даних.

Так, (Vieira et al., 2021, 2022) представили відкритий набір аерофотограмметричних даних лавових полів острова Фогу (Кабо-Верде), що

включає хмари точок, цифрові поверхневі моделі та ортофотоплани, створені за допомогою GNSS-RTK-вимірювань, які можуть слугувати методичним орієнтиром для кадастрових і землевпорядних робіт. (Kovanič et al., 2023) систематизували досвід застосування БпЛА-фотограмметрії та LiDAR-технологій, приділивши особливу увагу оцінюванню точності RTK/PPK-методів і формуванню практичних рекомендацій щодо побудови високоточних ЦММ.

У дослідженні (Dragomir et al., 2025) запропоновано інтеграцію БпЛА-фотограмметрії та технологій SLAM для створення кадастрової документації в умовах Румунії. (Dai et al., 2024) проаналізували вплив просторової роздільної здатності цифрових моделей місцевості на точність аналізу змін рельєфу, підтвердивши необхідність адаптивного вибору параметрів моделювання залежно від завдань землеустрою та моніторингу земель.

(Iqbal et al., 2023) встановили, що моделі місцевості, сформовані на основі БпЛА-знімань, перевершують супутникові дані за рівнем просторової деталізації, що є критично важливим для інвентаризації сільськогосподарських угідь. (Kersten et al., 2025) розробили методичні рекомендації щодо геоприв'язки та документування меж земельних ділянок за допомогою БпЛА, що підвищує надійність кадастрової інформації. Водночас (Ruli et al., 2023) запропонували підходи до підвищення точності ортофотопланів, не застосовуючи наземні опорні точки (GCP), що є перспективним напрямом для масштабних кадастрових знімань у сільській місцевості.

У наших попередніх дослідженнях (Тарнавський, 2025; Тарнавський, Єрмилов, 2023) розглянуто питання інформаційного забезпечення землевпорядних і кадастрових робіт та доведено, що інтегровані геопросторові підходи до високоточного моделювання рельєфу з використанням БпЛА створюють нові можливості для точного, оперативного та економічно ефективного картографування сільськогосподарських територій.

Узагальнення результатів попередніх досліджень свідчить, що супутникові та безпілотні технології формують надійну науково-методичну основу для сучасного моніторингу й картографування сільськогосподарського землекористування. Водночас, з аналізу літератури виявлено небагато комплексних досліджень, спрямованих на інтеграцію супутникових даних, БпЛА-фотограмметрії та GNSS-вимірювань у єдину методологію, орієнтовану саме на потреби аграрного землекористування та кадастрового забезпечення. Це зумовлює актуальність і наукову новизну цієї статті.

Мета статті

Метою статті є наукове обґрунтування та практична апробація інтегрованих геопросторових підходів до моніторингу й картографування сільськогосподарського землекористування на основі поєднання супутникових, безпілотних технологій та інших сучасних методів просторових знімань. Дослідження спрямоване на формування картографічних матеріалів, комплексної цифрової моделі територій сільськогосподарського призначення, що забезпечує підвищену точність і достовірність геопросторових даних та створює надійне інформаційне підґрунтя для ефективного застосування в землеустрої, кадастрі та управлінні сільськогосподарськими земельними ресурсами.

Матеріали та методи

Сучасний стан моніторингу сільськогосподарського землекористування в Україні

Сільськогосподарське землекористування в Україні характеризується активною трансформацією системи землеустрою та кадастру під впливом процесів цифровізації, євроінтеграції та зростаючої потреби у високоточних та оперативних геопросторових даних. Ключовим завданням на цьому етапі є забезпечення актуальності, повноти та достовірності інформації про сільськогосподарські землі, що безпосередньо визначає ефективність управління земельними ресурсами, просторового планування, контролю за використанням угідь та підвищення інвестиційної привабливості аграрних територій.

Вагому роль у розвитку системи моніторингу відіграє впровадження супутникових технологій (GNSS) та БпЛА, які формують технологічну основу сучасного картографування сільськогосподарського землекористування. Застосування БпЛА забезпечує отримання ортофотопланів надвисокої просторової роздільної здатності та побудову детальних цифрових моделей місцевості, що є критично важливим для ідентифікації меж угідь, оцінювання стану посівів, аналізу структури землекористування та виявлення змін у межах агроландшафтів. Інтеграція GNSS-вимірювань з фотограмметричним опрацюванням даних БпЛА суттєво підвищує точність кадастрових і моніторингових робіт, скорочує терміни їх виконання та забезпечує оперативне оновлення відомостей Державного земельного кадастру.

Поряд із розвитком аерофотознімання, у практику просторового моніторингу впроваджуються технології наземного лазерного сканування та мобільного картографування, що розширюють аналітичні можливості дослідження територій, зокрема в зонах інтенсивного сільськогосподарського використання та на межі з урбанізованими ландшафтами.

Важливим напрямом розвитку моніторингу сільськогосподарських земель є гармонізація національних геодезичних і кадастрових систем з європейськими стандартами, зокрема вимогами директиви INSPIRE, що забезпечує інтероперабельність, відкритість і сумісність просторових даних. Використання єдиної державної системи координат УСК-2000 в поєднанні із сучасними ГІС-платформами створює методологічну основу для формування національної інфраструктури просторових даних та інтеграції результатів супутникового й безпілотного моніторингу.

Отже, сучасний стан моніторингу сільськогосподарського землекористування в Україні визначається переходом від традиційних інструментів обліку до інтегрованих цифрових технологій дистанційного зондування Землі, які забезпечують високий рівень точності, оперативності та аналітичної інформативності геоданих. Подальший розвиток цієї сфери безпосередньо пов'язаний із розширенням застосування супутникових і безпілотних технологій, удосконаленням цифрових моделей рельєфу та землекористування, а також адаптацією нормативно-правового забезпечення до сучасних викликів управління аграрними територіями.

У межах проведеного дослідження для реалізації завдань моніторингу та картографування сільськогосподарського землекористування застосовувалося сучасне геодезичне обладнання, що забезпечує високоточний збір просторових даних. Основні вимірювання виконувалися за допомогою GNSS-приймача CHCNAV i50, БпЛА DJI Mavic 3, польові матеріали опрацьовувалися у спеціалізованих програмних середовищах, таких як Agisoft Metashape Professional та Delta\Digitals XE^{R} for Windows Professional з метою формування цифрових моделей, картографічних і аналітичних продуктів.

Методологічний робочий процес

Зростання потреб в оперативному та високоточному картографуванні сільськогосподарського землекористування в умовах складної просторової структури територій і підвищеного антропогенного навантаження актуалізує необхідність удосконалення методологічних засад топографо-геодезичних знімань. Традиційні кадастрові підходи, попри їхню нормативну усталеність і надійність, характеризуються значною трудомісткістю та обмеженою адаптивністю до великих за площею ділянок, неоднорідного рельєфу й наявності водних об'єктів у межах сільськогосподарських угідь. Особливої складності набуває формування та актуалізація графічних матеріалів земель водного фонду, інтегрованих у структуру агроландшафтів, де морфологічна складність, рослинний покрив і гідрологічні чинники істотно ускладнюють застосування класичних геодезичних методів.

Метою дослідження є розроблення, адаптація та експериментальна апробація інтегрованої методології моніторингу й картографування сільськогосподарського землекористування на основі поєднання супутникових і безпілотних технологій для забезпечення актуалізації кадастрових та облікових даних. Запропонований підхід ґрунтується на синергії БпЛА-фотограмметрії, GNSS-вимірювань у режимі реального часу з використанням VRS-базових станцій, що дає змогу отримувати комплексну просторову інформацію про компоненти агроландшафтів.

Експериментальні дослідження виконано на прикладі водного об'єкта, інтегрованого у структуру сільськогосподарських земель Білоцерківського району Київської області. Аерофотознімання здійснювалося із застосуванням БпЛА DJI Mavic 3 Enterprise, оснащеного камерою з роздільною здатністю 20 МП та вбудованим GNSS-модулем, що забезпечило формування детальних ортофотопланів і фотограмметричних хмар точок. Просторове згущення та контроль точності виконувалися за допомогою GNSS NRTK-вимірювань приймачем CHCNAV i50, підключеним до мережі референцних станцій, з досягнутою точністю до 8 мм + 1 ppm у плановому положенні та 15 мм + 1 ppm за висотою, при цьому використовувалися VRS-технології.

Отримані результати подані у вигляді високоточних ортофотопланів, цифрових і тривимірних моделей рельєфу суходолу, уточнених меж земельних ділянок і угідь, контурів будівель і споруд, а також кадастрових планів, придатних для моніторингу, проєктних рішень та подальшого використання в системі управління сільськогосподарським землекористуванням.

Запропонована інтегрована методологія підтвердила свою ефективність з погляду підвищення точності, комплексності та оперативності геопросторових досліджень, а також продемонструвала масштабованість та універсальність для вирішення широкого спектра завдань моніторингу та картографування сільськогосподарських територій з використанням супутникових і безпілотних технологій (Рис. 1).

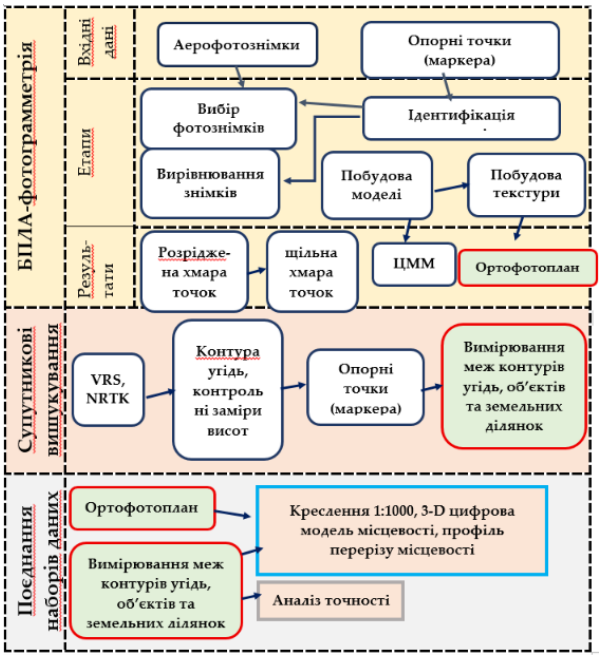


Рис. 1. Технологічна схема поєднання БпЛА-фотограмметрії та супутникових вишукувань території сільськогосподарського землекористування

Характеристика об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження є територія (49°21′17.53″ N, 29°40′14.29″ E), яка охоплює земельну ділянку, категорія земель сільськогосподарського призначення, з цільовим призначенням: для ведення фермерського господарства (Рис. 2).

Досліджувана ділянка сільськогосподарського землекористування розташована в Київській області, Білоцерківському районі, у межах Тетіївської територіальної громади, м. Тетіїв (за межами населеного пункту).





Рис. 2. Схема розташування об'єкта дослідження

Територія, де розміщений масив, належить до 07 Сквирського природно-сільськогосподарського району VI Бузько-Середньо-Дніпровського округу, ЛСг Лісостепової Правобережної провінції, ЛС Лісостепової природно- сільськогосподарської зони. Клімат району помірно-континентальний. Середньорічна температура повітря +7 °С. Абсолютний мінімум температури повітря становить –30 °С, максимум +40 °С. Найбільш високі температури бувають у липні, серпні, найбільш низькі – в січні, лютому.

Вегетаційний період триває 200–205 днів. Сума активних температур за період з середньодобовою температурою вище 10 °С становить 2600–2660 °С. Середня протяжність безморозного періоду – 165 днів. Ранні осінні заморозки спостерігаються у вересні, останні весняні – до половини травня.

Кількість опадів за місяцями розподіляється нерівномірно. Основна кількість опадів випадає в теплий період року (310–320 мм). У літній період, особливо в червні–липні, опади випадають у вигляді злив, іноді з градом, що обумовлює інтенсивну ерозію ґрунтів, а також вилягання і загибель посівів.

Зими, як правило, теплі, але в окремі роки бувають і холодними. Стійкий сніговий покрив зберігається протягом 90 днів. Середня глибина промерзання ґрунту 57 см, максимальна – 150 см. Середня товщина снігового покриву дорівнює 12–16 см.

Панівні вітри району зимою західні і північно-західні, весною – східні і південно-східні. Кількість днів із сильними вітрами (більше 15 м/с) – в середньому 20 за рік. Найчастіше такі вітри спостерігаються в холодний період року. Середня кількість днів з атмосферною засухою і суховіями за теплий період року – 35, зокрема днів із слабкою засухою – 26, із середньою та інтенсивною – 9. (Проєкт землеустрою…, ФОП Тарнавський В. А., 2023).

Інструменти, збір та опрацювання даних

Супутникові вишукування

Супутникові вимірювання сьогодні є основною технологією сучасної геодезії, оскільки забезпечують високу точність визначення просторового положення точок та створюють високоточну основу для моніторингу угідь, рельєфу. У межах цього дослідження комплекс GNSS-вимірювань було виконано у листопаді–грудні 2025 року. Для спостережень застосовувався високоточний GNSS-приймач CHCNAV i50 (CHCNav I50, офіційний сайт, 2026), підключений до мережі перманентних базових GNSS-станцій компанії rtk.kyivstar.ua (Рис. 3), сертифікованих відповідно до чинних метрологічних стандартів.

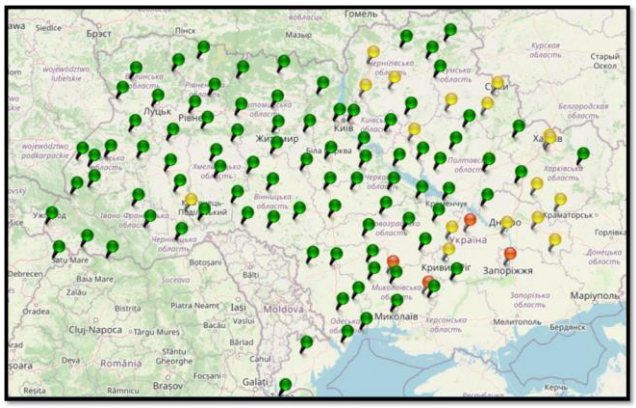


Рис. 3. Карта розміщення перманентних (базових) станцій мереж в Україні (mAgri.RTK, офіційний сайт, 2026)

Сьогодні в Україні, в умовах воєнного стану, перебоїв з електроенергією, постійними повітряними тривогами, перед фахівцями-геодезистами та землевпорядниками постає багато проблем, з якими ніхто в світі не стикався. Одним із варіантів підвищення якості RTK-мережі є технологія VRS. Якщо поруч немає базової станції, або ж вона не функціонує через розряджені акумулятори, відключення світла, вийшла з ладу через військову агресію рф, чи з будь-яких інших причин, натомість є ціла мережа базових станцій, з'єднаних в єдину систему. Завдяки цій мережі програмне забезпечення створює для вас віртуальну базу – наче вона стоїть

просто поруч із вашим приймачем. Це і є VRS – Virtual Reference Station (Побігайло та ін., 2025).

Приймач отримує поправки не від якоїсь однієї реальної станції, а від віртуальної, що розрахована спеціально під ваше місцезнаходження. Це дає змогу значно підвищити точність, навіть якщо до найближчої реальної бази десятки кілометрів.

Для контролю точності GNSS-ровера перед початком польових робіт здійснено контрольні вимірювання на пунктах державної геодезичної мережі М352427600 (Бурківці), М352427700 (Кашперівка) та М352428000 (Тетіїв), номенклатурні координати яких отримано з офіційної бази геодезичних даних ДП «Науково-дослідний і проєктний інститут геодезії і картографії».

Просторові вимірювання проводилися в системі координат УСК-2000 (6-та зона, проєкція Гаусса – Крюгера), а висотні визначення – у Балтійській системі висот 1977 року, що відповідає нормативно-правим актам та інструкціям, забезпечує сумісність результатів з картографічними матеріалами, даними Державного земельного кадастру України та іншими діючими геоінформаційними системами.

Супутникові дані опрацьовувались у режимі NRTK (Net Real Time Kinematic), використовуючи точні ефемериди та поправки на тропосферні й 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 328 точок, серед яких: 102 – контури будівель та угідь; 222 – елементи рельєфу та контури угідь всередині сільськогосподарського землекористування; 4 – опорні точки (маркери) для геоприв'язки аерознімків (Рис. 4).

Отримані дані свідчать, що поєднання GNSS-вимірювань з БпЛА-фотограмметрією забезпечує комплексність, точність, цілісність та ефективність топографо-геодезичної та кадастрової інформації для вирішення різноманітних проблем та прийняття управлінських рішень в ході господарської діяльності юридичних осіб, органів місцевого самоврядування та державних організацій.

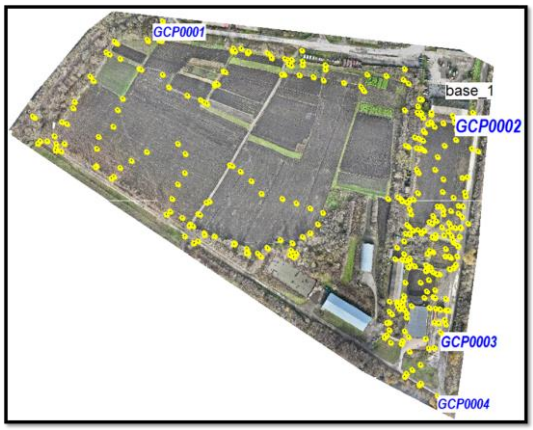


Рис. 4. Схема GNSS-вишукування за технологією NRTK з використанням VRS (base_1)

Дистанційне зондування. БпЛА-фотограмметрії належить ключове місце в сучасних дослідженнях стану земельних ресурсів сільськогосподарського призначення, оскільки вона забезпечує отримання високодеталізованих просторових даних для геоінформаційного аналізу. В цьому дослідженні застосовано БпЛА DJI Mavic 3, що характеризується бюджетністю, має невеликі розміри, що спрощує транспортування та високу ефективність при рекогносцируванні, моніторингу, побудові цифрових моделей місцевості та ортофотопланів.

Аерофотознімання було виконано на території загальною площею 22 га, зокрема незабудована територія – сільськогосподарські угіддя – рілля (8,2 га) та забудована територія – господарські споруди і двори, під'їзні шляхи, автодороги та вулиці (13,8 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), ортофотоплану (Рис. 5).

Основні технічні параметри DJI Mavic 3: камера 20 МП, запис 5.1K-відео, інтегрований GNSS-приймач (GPS, Galileo, Beidou), тривалість польоту до 46 хв і дальність зв'язку до 15 км (DJI, 2026). Такі характеристики роблять платформу універсальним інструментом для картографічних і моніторингових завдань.

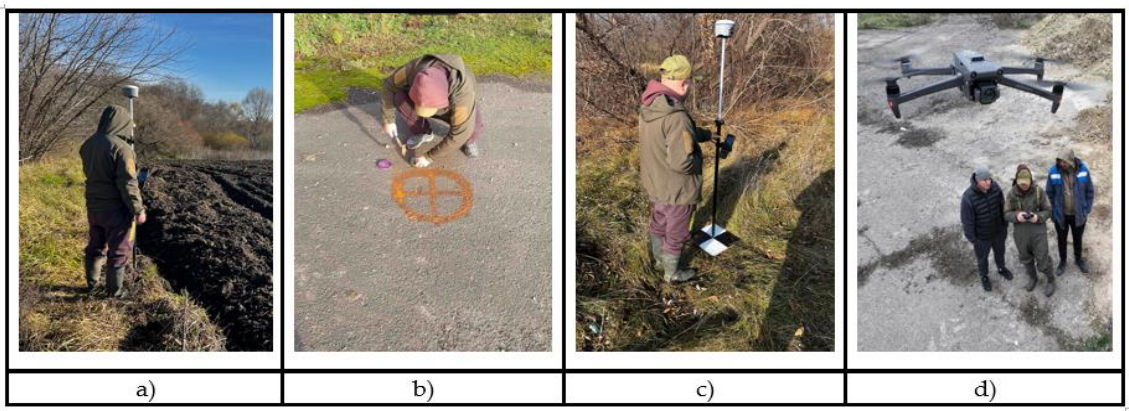


Рис. 5. Інструментарій, що був використаний під час збору польових даних:
a) виконання ГНСС-знімання території; b) створення висотного планового обґрунтування за допомогою опорних точок-маркерів (ICP); c) ГНСС-знімання для опорних точок-маркерів (GCP) для забезпечення точності геоприв'язки; d) виконання місії БпЛА (*фото зроблене з БпЛА, квадрокоптер на фото зображений за допомогою ШІ для кращої візуалізації процесу*)

Матеріали опрацьовані 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.

Опорні знаки (ground control point) розміром 50×50 см були розміщені та зафіксовані на місцевості за допомогою фарби та чорно-білих знаків. Польотна місія (Pilot mission) БпЛА виконувалася на висоті 50 м, що надалі дало змогу створювати картографічні матеріали в різних масштабах, починаючи з 1:500 до 1:5000.

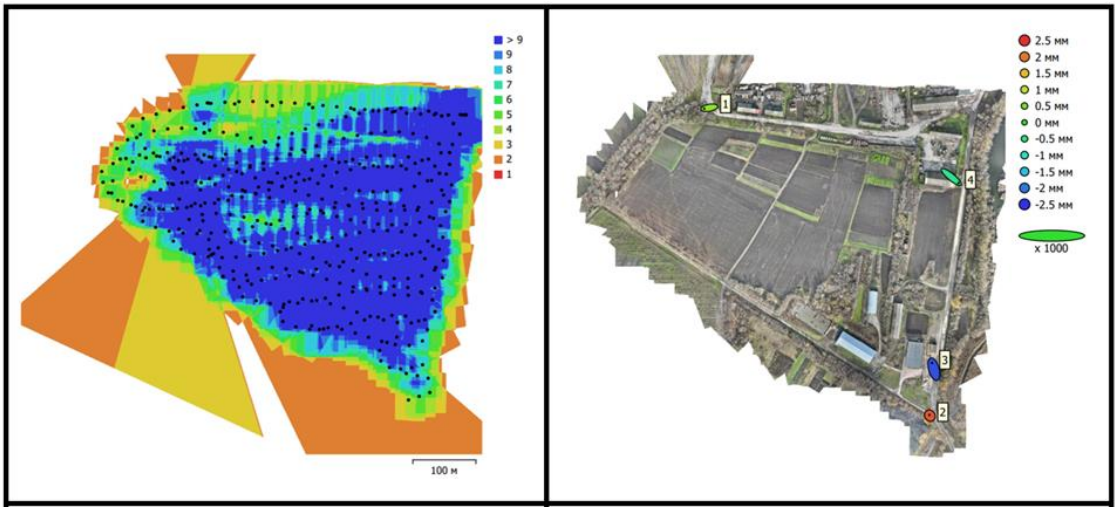
Візуалізація результатів охоплювала побудову ортофотопланів, цифрової моделі місцевості, отримання контурів висот. Планові похибки відображалися еліпсами, висотні – кольоровим градієнтом.

Інтегроване використання БпЛА, GNSS-приймачів та фотограмметричного програмного забезпечення дало змогу отримати високоточну та актуальну геодезичну інформацію, що створює надійну основу для аналізу території, поєднання кадастрових даних, моніторингу стану природних ресурсів і підтримки процесів просторового планування у сфері містобудування, землеустрою та кадастру.

Камеральне опрацювання польових вишукувань

Результати, отримані в ході польових топографо-геодезичних вишукувань, опрацьовувались за допомогою декількох спеціалізованих програмних середовищ, що зумовлено різнорідністю вихідних даних та застосованих методів знімання. Такий підхід забезпечив приведення усіх матеріалів до уніфікованого формату й узгодження ключових просторово-математичних параметрів, зокрема систем координат, масштабів і картографічних проєкцій, що є необхідною умовою коректної інтеграції та подальшого аналізу геопросторової інформації.

БпЛА-фотограмметричне знімання опрацьовано у програмному комплексі Agisoft Metashape, який забезпечив формування цифрової моделі місцевості (ЦММ) та ортофотоплану досліджуваної території. У програмному середовищі проведено роботу з опорними GNSS-точками (GCP), що дало змогу якісно орієнтувати зображення та підвищити точність геопросторових даних. У результаті було опрацьовано 488 фотознімків, використано 4 маркери (схему їхнього розташування наведено окремо (Рис. 6). Створено ортофотоплан високої деталізації об’єктів та роздільної здатності (Рис. 7).



а) б)

Рис. 6. Місія польоту БпЛА:
а) розташування камер (чорні точки) та перекриття знімків;
б) розміщення опорних точок-маркерів (GCP)



Рис. 7. Ортофотоплан сільськогосподарського землекористування, отриманий за допомогою БпЛА-аерофотознімання

Результати оцінювання залишкових похибок для кожного маркера наведено в Табл. 1. Середня загальна похибка становить 1,82 см, при цьому середні похибки за осями дорівнюють 1,31 см по *X*, 1,26 см по *Y* та 0,17 см по *Z*, по *XY* – 1,81 см.

Таблиця 1. Оцінювання точності результатів БпЛА-фотограмметрії на основі GNSS-контрольних точок (опорних точок-маркерів)

Назва	Похибка, *X* (см)	Похибка, *Y* (см)	Похибка, *Z* (см)	Загальна (см)	Знімок (пікс)
1	–1.45395	–0.268062	0.0706677	1.48014	15.822 (2)
2	–0.124574	0.187962	0.223424	0.317438	0.693 (8)
3	–0.521976	1.80248	–0.227507	1.89027	0.676 (8)
4	2.10046	–1.72238	–0.0665855	2.71715	0.900 (19)
Загальна	1.30517	1.25725	0.166662	1.81987	3.762

Просторова точність результатів БпЛА-фотограмметричного знімання оцінювалася на основі аналізу нев'язок координат опорних GNSS-точок (GCP), які не використовувалися безпосередньо для калібрування моделі та слугували контрольними точками. Для кожної точки було визначено похибки за плановими координатами *X*, *Y* та за висотою *Z*.

Похибки координат обчислювалися як різниця між координатами, отриманими за результатами фотограмметричного опрацювання в програмному комплексі Agisoft Metashape, та еталонними значеннями, визначеними GNSS-вимірюваннями в системі координат УСК-2000.

Середні абсолютні похибки для кожної координатної складової визначалися за формулою (Побігайло, Д.,та ін., 2025):

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta X_i, \quad \overline{\Delta Y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta Y_i, \quad \overline{\Delta Z} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta Z_i$$

де n – кількість контрольних точок; ΔX_i, ΔY_i, ΔZ_i – індивідуальні похибки відповідних координат.

Планова точність:

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum(X_i^2 + Y_i^2)},$$

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{(1.45395^2 + 0.268062^2) + ... + (2.10046^2 + 1.72238^2}{4}}.$$

$RVSE_{xy} \approx 1.88$ см.

Висотна точність:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n}\sum Z_i^2}.$$

$RMSE_z = 0.17$ см.

Просторова точність:

$$RMSE_{3D} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2 + RMSE_z^2}.$$

$RMSE_{3D} = 1.82$ см.

Середня похибка репроєкції – 3.76 пікселів.

Для масиву з обмеженою кількістю опорних точок це значення є прийнятним, але вказує на доцільність: збільшення кількості опорних точок-маркерів (GCP); вирівнювання їх просторового розподілу; використання RTK/PPK-підтримки.

Отримані узагальнені показники точності свідчать, що результати БпЛА-фотограмметрії забезпечують сантиметрову планову ($RMSE_{xy} \approx 1.9$ см) та субсантиметрову висотну точність ($RMSE_z \approx 0.17$ см). Просторова точність цифрової моделі місцевості становить $RMSE_{3D} \approx 1.8$ см, що відповідає вимогам чинних нормативних документів до топографічного знімання масштабів 1:500–1:2000 та підтверджує доцільність застосування БпЛА-фотограмметрії для кадастрових і землевпорядних робіт.

Польові GNSS-вимірювання, отримані за допомогою приймача CHCNAV I50, експортовано у формат .DXF і опрацьовано в картографічному редакторі Delta/Digitals Professional XE. Це універсальне картографічне середовище дало змогу сформувати графічні матеріали, такі як: топографо-геодезичне креслення М 1:1000 сільськогосподарського землекористування; поперечний профіль рельєфу території; цифрова модель місцевості та цифрова модель рельєфу (Рис. 8).

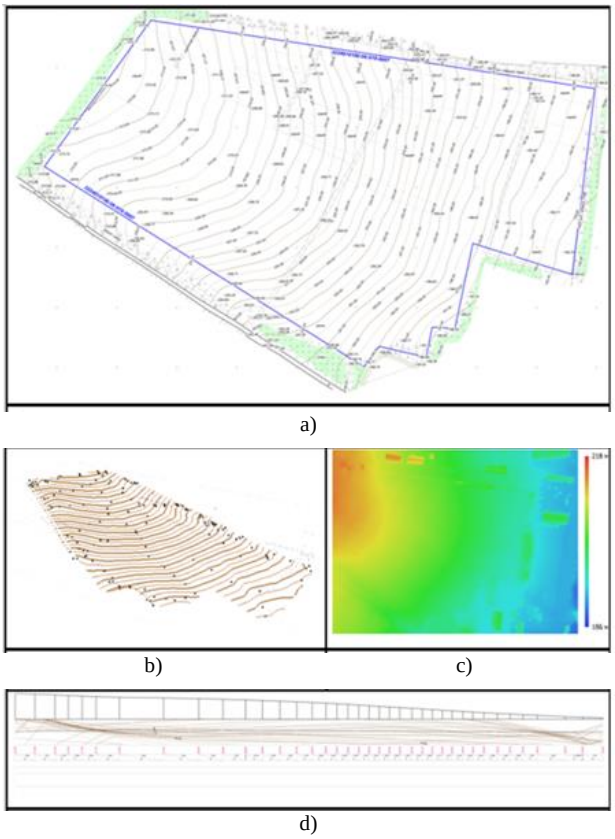


Рис. 8. Графічні матеріали:
a) – топографо-геодезичне креслення М 1:1000;
b) – цифрова модель місцевості у 3-D вигляді;
c) – розрахована цифрова модель місцевості (гіпсометрична візуалізація);
d) – профіль місцевості 1 м в плані до 1 по висоті, із заходу на схід

Інтеграція результатів, отриманих з різнорідних джерел даних, зокрема БпЛА DJI Mavic 3 Enterprise та GNSS-приймача CHCNAV I50, забезпечила формування єдиного узгодженого масиву топографо-геодезичної інформації. Сформований набір даних став основою для побудови повноцінної цифрової моделі місцевості, а також створення картографічних і схематичних матеріалів, придатних для використання у землевпорядній та кадастровій практиці. Застосування комплексного інтегрованого підходу дало змогу досягти високого рівня

просторової точності, підвищити оперативність виконання робіт і зменшити витрати ресурсів, що підтверджує доцільність та ефективність поєднання сучасних технологій дистанційного зондування і супутникових вимірювань у сфері землеустрою та кадастру.

Результати

Кадастрові плани є одним із базових інструментів у системі моніторингу та управління сільськогосподарським землекористуванням, оскільки забезпечують точне просторове відображення меж земельних ділянок, правового статусу та режимів їх використання. В умовах інтенсифікації аграрного виробництва й трансформації земельних відносин вони виконують ключову функцію інформаційної основи для контролю за дотриманням цільового призначення земель, обґрунтованого оподаткування, планування сівозмін та прийняття управлінських рішень на рівні територіальних громад і держави.

У межах цього дослідження реалізовано підхід, орієнтований на потреби моніторингу сільськогосподарського землекористування, що поєднує супутникові дані, фотограмметрію з БпЛА, GNSS-вимірювання та цифрове оброблення геопросторової інформації. Застосування цих технологій дало змогу сформувати високодетальні кадастрові та картографічні матеріали, придатні для аналізу структури угідь, оцінювання стану земель та оперативного оновлення відомостей Державного земельного кадастру.

Традиційні підходи до кадастрового картографування, засновані переважно на наземних геодезичних методах, зокрема тахеометричному та GNSS-зніманні, забезпечують високу точність координат, протее, є малоефективними для регулярного моніторингу великих масивів сільськогосподарських земель через значні витрати часу та ресурсів. Використання супутникового дистанційного зондування та БпЛА істотно розширює можливості просторового аналізу, забезпечуючи швидке отримання актуальних ортофотопланів і цифрових моделей місцевості з високою просторовою роздільною здатністю.

Впровадження цифрових кадастрових і геоінформаційних систем сприяє інтеграції результатів супутникових і безпілотних знімань з наявними кадастровими базами даних. Це дає змогу автоматизувати перевірку координатних матеріалів, підвищити якість візуалізації сільськогосподарських угідь, а також забезпечити оперативний обмін інформацією між землевпорядниками, органами державного управління та аграрними користувачами земель.

Незважаючи на домінування двовимірних (2D) кадастрових моделей у чинній нормативно-правовій базі України, застосування супутникових і безпілотних технологій створює передумови для переходу до тривимірного (3D) представлення сільськогосподарського землекористування. Використання цифрових моделей рельєфу, висотних характеристик та спектральної інформації дає змогу повніше відображати морфологію угідь, ерозійні процеси, меліоративну інфраструктуру й просторову неоднорідність земель.

Отже, інтеграція супутникових і безпілотних технологій із GNSS-вимірюваннями та цифровими платформами кадастрового моделювання формує науково-методичну основу для створення сучасної системи моніторингу та картографування сільськогосподарського землекористування. Такий підхід забезпечує підвищення точності та актуальності просторових даних, підтримує прийняття обґрунтованих управлінських рішень і створює передумови для розвитку інтелектуальних кадастрових систем нового покоління в аграрному секторі України.

Висновки

У межах дослідження з проблематики моніторингу та картографування сільськогосподарського землекористування із застосуванням супутникових і безпілотних технологій обґрунтовано, що сучасний етап цифрової трансформації геодезії, землеустрою та кадастру зумовлює необхідність упровадження інноваційних технологічних рішень, здатних забезпечити високоточне, комплексне та динамічне відображення просторової інформації. Активний розвиток цифрових методів просторового аналізу актуалізує потребу інтеграції різнорідних джерел геоданих – GNSS-вимірювань, фотограмметричних знімань із використанням БпЛА – у єдиний узгоджений технологічний цикл оброблення та аналізу даних. Такий підхід створює методичну основу для формування цифрових моделей місцевості, високодетальних ортофотопланів сільськогосподарського землекористування.

Результати проведеного аналізу свідчать, що застосування БпЛА-фотограмметрії у поєднанні з NRTK-вимірюваннями забезпечує просторову точність, зіставну з показниками традиційних геодезичних методів, водночас суттєво скорочуючи часові та фінансові витрати на виконання робіт.

Практичну апробацію запропонованої методики здійснено на прикладі сільськогосподарського землекористування, що розташоване в межах Тетіївської МТГ Білоцерківського району Київської області. Отримані результати у вигляді ортофотопланів, цифрових моделей місцевості, кадастрових карт та топографічних креслень відповідають вимогам чинної нормативно-правової бази, зокрема положенням Порядку виконання топографо-геодезичних робіт, затвердженого наказом № 1675 від 17.04.2025 р, (Про затвердження Порядку…, 2025). Це підтверджує універсальність і практичну придатність методики для застосування на різних категоріях земель, у тому числі землях сільськогосподарського призначення.

Наукова й практична значущість дослідження полягає у формуванні інтегрованого робочого процесу типу «GNSS – БпЛА», який дає змогу подолати обмеження традиційних кадастрових підходів та підвищити достовірністт та актуальність просторових даних. Реалізація такого підходу сприяє зростанню точності визначення меж земельних

ділянок, удосконаленню моніторингу стану земельних ресурсів, а також підвищенню ефективності управління територіями сільськогосподарського призначення.

У перспективі ключовим чинником масштабного впровадження інноваційних технологій у сферу землеустрою та кадастру є гармонізація національного нормативно-правового забезпечення з європейськими стандартами INSPIRE та LADM. Запропонована методика може бути використана як науково-методична основа для 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.

Розкриття інформації про ШІ: Під час підготовки цього рукопису автори використовували ChatGPT-4 для редагування «Рис. 5d) Виконання місії БпЛА» – фото зроблене з БпЛА, квадрокоптер на фото зображений за допомогою ШІ для кращої візуалізації процесу.

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. Окремо хочемо подякувати Силам оборони України, в особі сержанта Тарнавського Володимира Анатолійовича, завдяки щоденній героїчній службі якого ми можемо працювати над науковими проєктами та розвиватись у професійній сфері.

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

Author Contributions: Conceptualization – V. A. Tarnavskyi; Methodology – V. A. Tarnavskyi; Formal analysis – N. V. Komarova, O. V. Kaminetska; Systematization and visualization – V. A. Tarnavskyi, T. M. Siroshtan; Writing – original draft preparation – V. A. Tarnavskyi; Review and editing – N. V. Komarova, O. V. Kaminetska; Visualization – V. A. Tarnavskyi, T. M. Siroshtan. 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.

Disclosure of AI use: While preparing this manuscript the authors used ChatGPT-4 for editing. In Fig. 5(d) «UAV Mission Execution», the photograph was taken using a UAV, while the quadcopter depicted in the image was generated with the assistance of artificial intelligence to improve the visualization of the process.

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. We would also like to express our special gratitude to the Defense Forces of Ukraine, represented by Sergeant Volodymyr Tarnavskyi, whose daily heroic service enables us to work on scientific projects and continue developing professionally.

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

Література

Державна служба з питань геодезії картографії та кадастру. (2026). Офіційний сайт. Взято з https://land.gov.ua.

Дорожко, Є., Ситник, О., Кравчук, М. (2025). Використання безпілотних літальних апаратів (БпЛА) для високоточного геодезичного знімання. *Просторовий розвиток,* 11, 597–610. doi:10.32347/2786-7269.2025.11.597-610.

Земельний кодекс України. (2001). № 2768-III від 25.10.2001. Взято з https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14.

Коломійцев, О., Комаров, В., Катунін, А., Рудаков, І., Балабуха, О., Качуровський, Г. … Максимов, М. (2024). Особливості застосування безпілотних літальних апаратів коптерного типу. *Collection of Scientific Papers «ΛΌГОΣ»,* 188–198. doi:10.36074/logos-16.08.2024.038.

Кучеренко, О. І., Вакалюк, Т. А. (2024). Огляд досліджень щодо систем побудови маршрутів дронів. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки,* 35(74)(1), 178–184. doi:10.32782/2663-5941/2024.1.1/27.

CHCNAV. (2026). Підтримка для CHCNAV i50. https://www.chcnav.com/.

DJI. (2026). Підтримка для DJI Mavic 3. https://www.dji.com/support/product/mavic-3.

Побігайло, Д., Камбуров, А., Мітченко, Д. (2025*).* Оцінка точності GNSS-вимірювань у режимі RTK із використанням комерційних та некомерційних мереж поправок. *Технічна інженерія*, 1(95), 194–205. doi:10.26642/ten-2025-1(95)-194-205.

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.

Проєкт землеустрою, що забезпечує еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь землекористування ФГ «М-АГРО», що розташоване на території Тетіївської міської ради (Тетіївської ТГ) Білоцерківського району Київської області. (2023). ФОП Тарнавський В.А. Тетіїв. 48 с.

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.* Землевпорядна 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

ТОВ «Аналітика». (2026). Delta\Digitals XE for Windows version Professional. Офіційний сайт. Взято з http://www.vinmap.net.

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. doi:10.3390/drones8050152.

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. doi: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. doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W1-2025-55-2025.

Kovanič, Ľ., Urban, R., Gdulová, K., Výbošt'ok, J., Oťaheľ, J., Vajsáblová, M. … Fogaš M. (2023) Review of Photogrammetric and LiDAR Applications of UAV. *Applied Sciences*, 13(2), 1102. doi:10.3390/ app13021102.

mAgri.RTK (2025). Official site. https://rtk.kyivstar.ua/ Map/SensorMap.aspx.

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. doi:10.1088/1755-1315/1201/1/012014.

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. doi: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. doi:10.5194/essd-13-3179-2021.

References

Analytics LLC. (2026). Delta\Digitals XE for Windows, Professional version [Computer software]. Retrieved from https://www.vinmap.net

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. doi:10.3390/drones8050152.

Derzhavna sluzhba z pytan heodezii, kartohrafii ta kadastru. (2025). Ofitsiinyi sait. Retrieved from https://land.gov.ua (in Ukrainian).

Dorozhko, Ye., Sytnyk, O., Kravchuk, M. (2025). Use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for high-precision geodetic surveying. *Prostorovyi rozvytok,* 11, 597–610. doi:10.32347/2786-7269.2025.11.597-610 (In Ukrainian).

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. doi: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. doi: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. doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W1-2025-55-2025.

Koliomiitsev, O., Komarov, V., Katunin, A., Rudakov, I., Balabukha, O., Kachurovskyi, H. … Maksymov, M. (2024). Features of the application of multicopter-type unmanned aerial vehicles. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, 188–198. doi:10.36074/logos-16.08.2024.038 (In Ukrainian).

Kovanič, Ľ., Urban, R., Gdulová, K., Výbošt'ok, J., Oťaheľ, J., Vajsáblová, M. … Fogaš M. (2023) Review of Photogrammetric and LiDAR Applications of UAV. *Applied Sciences*, 13(2), 1102. doi:10.3390/ app13021102.

Kucherenko, O. I., & Vakaliuk, T. A. (2024). Review of studies on drone route planning systems. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriia: Tekhnichni nauky*, 35(74)(1/1), 178–184. doi:10.32782/2663-5941/ 2024.1.1/27 (in Ukrainian).

mAgri.RTK (2025). Official site. https://rtk.kyivstar.ua/ Map/SensorMap.aspx.

Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F. (2021) Accuracy assessment of RTK/PPK UAV-photogrammetry projects using differential corrections from multiple GNSS fixed base stations. *Remote Sensing*, 13(7), 1336. doi:10.3390/rs13071336.

Pobihaillo, D., Kamburov, A., Mitchenko, D. (2025). Accuracy assessment of GNSS measurements in RTK mode using commercial and non-commercial correction networks. *Tekhnichna inzheneriia*, 1(95), 194–205. doi:10.26642/ten-2025-1(95)-194-205 (in Ukrainian).

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 Instruktsii z topohrafichnoho 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 topohrafichnoi zjomky 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 topohrafo-heodezychnu i kartohrafichnu 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. doi:10.1088/1755-1315/1201/1/012014.

Štroner, M., Urban, R., Seidl, J., Reindl, T., Brouček, J. (2021) Photogrammetry Using UAV-Mounted GNSS RTK: Georeferencing Strategies without GCPs. *Remote Sensing*, 13(7), 1336. doi:10.3390/rs13071336.

Support for CHCNAV i50. (2026). Official website. https://www.chcnav.com/.

Support for DJI Mavic 3. (2026). Official website. https://www.dji.com/support/product/mavic-3.

Tarnavskyi, V. A. (2023). *Proiekt zemleustroiu shcho zabezpechuie ekoloho-ekonomichne obgruntuvannia sivozminy ta vporiadkuvannia uhid zemlekorystuvannia FG «M-AGRO», roztashovanoho na terytorii Tetiiv City Council (Bila Tserkva District, Kyiv Region)* [Land management project providing ecological and economic justification of crop rotation and land-use arrangement of FG «M-AGRO»]. Sole Proprietor Tarnavskyi V. A. (in Ukrainian).

Tarnavskyi, V. A. (2025, September). *Innovative methods and technologies of topographic, geodetic and hydrographic research of water bodies*. In Proceedings of the International Conference “Land Unity Summit 2025” (pp. 34–38). Ivano-Frankivsk: IFNTUOG. ISBN 978-966-694-497-2. (in Ukrainian).

Tarnavskyi, V. A., Yermylov, D. A. (2023, March). *Performance of aerial surveying using UAVs with RTK/PPK methods.* In Land Management Sector of Ukraine: Achievements, Challenges and Prospects: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (pp. 75–77). Bila Tserkva: BNAU. (in Ukrainian).

Tarnavskyi, V. A., Yermylov, D. A. (2023, October). *Advantages of using unmanned water vehicles in hydrographic surveys*. In International Scientific and Practical Conference «Agrarian Education and Science: Achievements, Role, Growth Factors» (pp. 74–76). Bila Tserkva: BNAU. (in Ukrainian).

Tarnavskyi, V. A., Yermylov, D. A., Skoryk, M. A. (2024, May). *Application of LiDAR scanning systems for land 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).

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. doi: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. doi: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).

MONITORING AND MAPPING OF AGRICULTURAL LAND USE USING SATELLITE AND UNMANNED AERIAL TECHNOLOGIES

Tarnavskyi 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

The article substantiates and presents an integrated geospatial methodology for monitoring and mapping agricultural land use to support land management and cadastral applications. The proposed approach is based on the integration of satellite GNSS observations and photogrammetric surveys acquired using unmanned aerial vehicles (UAVs). It is aimed at improving the accuracy, informational value, and operational efficiency of topographic and geodetic works under conditions of complex terrain, limited accessibility of territories, and fragmentation of conventional spatial data sources.

The methodological framework was tested within the Tetiyiv urban territorial community of the Bila Tserkva district, Kyiv region, where the objects of analysis included agricultural land use areas comprising farm buildings and yards, as well as unpaved roads. Satellite-based positioning data were integrated with UAV aerial imagery to generate a unified and internally consistent digital terrain model.

The integration of heterogeneous spatial data sources enhances the accuracy of digital terrain modeling and optimizes land mapping and monitoring processes for agricultural areas in accordance with the requirements of land-use planning and the State Land Cadastre. As a result of the conducted topographic and geodetic surveys, a digital terrain model, three-dimensional reconstruction, and two-dimensional cartographic products at a scale of 1:1000 were produced, ensuring a high level of spatial detail and visualization of the study area.

The combination of modern satellite-based and unmanned technologies within a single integrated system creates new opportunities to increase the accuracy, comprehensiveness, and analytical value of cadastral and land management studies. The proposed approach is universal and scalable to various types of agricultural land use, thereby facilitating the further digital transformation of land management and cadastral processes in Ukraine.

Keywords: unmanned technologies, UAV photogrammetry, land management, territorial communities, GNSS, cadastre, digital terrain model, orthophoto map, agricultural land use, monitoring, mapping.

Рукопис статті отримано 11.05.2026
Надходження остаточної версії: 31.08.2026
Публікація статті: 30.09.2026
Received 11.05.2026
Revised 31.08.2026
Accepted 30.09.2026