

**Олена Леонтіївна Герасимчук¹, Василь Васильович Гой²,
Владислав Вікторович Харів³**

¹кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри наук про Землю
Державний університет «Житомирська політехніка» (Житомир, Україна)
E-mail: kgt_gol@ztu.edu.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1279-1888>

²кандидат економічних наук, докторант
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова (Харків, Україна)
E-mail: vasssgoi@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1822-4478>

³аспірант
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова (Харків, Україна)
E-mail: v.khariv@ukr.net. ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-7937-5324>

**ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОЦІНКИ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ
У ВІДДАЛЕНИХ РАЙОНАХ**

У статті досліджено сучасні геодезичні технології, які використовуються для проведення оцінки земельних ресурсів у віддалених та важкодоступних районах, зокрема глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), безпілотні літальні апарати (БПЛА), лідарні технології та методи гібридного позиціонування. Оцінено потенціал застосування GNSS для точного координування та визначення меж земельних ділянок незалежно від погодних умов або доступності території. Розроблено підходи до використання БПЛА для виконання аерофотознімання з високою роздільною здатністю, що дозволяє оперативно отримувати дані про стан земельних ресурсів та об'єктів. Обґрунтовано переваги застосування лідарних технологій для створення тривимірних моделей рельєфу, особливо у складних умовах, таких як густі ліси або гірські райони. Запропоновано методи гібридного позиціонування, які поєднують GNSS з інерційними навігаційними системами (INS), що гарантує безперервний збір даних навіть за відсутності супутникового сигналу. Досліджено етапи обробки геодезичних даних, включно з фільтрацією, геоприв'язкою, системним аналізом і цифровою візуалізацією, які забезпечують високу якість кінцевих результатів. Обґрунтовано необхідність інтеграції даних із різних джерел для створення комплексних ГІС, що дозволяє враховувати широкий спектр параметрів при оцінці стану земель.

Ключові слова: геодезичні технології; земельні ресурси; землеустрій; геодезичний пошук; геодані; земельний моніторинг; цифрова візуалізація.

Рис.: 4. Табл.: 2. Бібл.: 14.

Актуальність дослідження. Технології та заходи оцінювання стану земельних ресурсів є ключовим елементом у процесах планування, управління та використання земельних ділянок, особливо у віддалених районах, де природні умови, відсутність інфраструктури та недостатнє фінансування часто ускладнюють проведення традиційних геодезичних робіт. В умовах глобальних кліматичних змін, швидкого розвитку самих геодезичних технологій і зростаючих потреб у раціональному використанні земель, формується потреба імплементації нових геодезичних методів оцінювання, які можуть забезпечити високий рівень точності, ефективності й доступності для найвіддаленіших регіональних утворень та їх земельних фондів.

Постановка проблеми. Провідні та найбільш сучасні геодезичні технології, такі як глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), безпілотні літальні апарати (БПЛА), лідарні технології та геоінформаційні системи (ГІС), надають поштовху для моніторингу та проведення геодезичної оцінки стану і якості земельних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Згідно з дослідженнями В. Чабанюк, К. Поливач [1], використання GNSS забезпечує високу точність визначення координат у будь-якому місці земної кулі, що робить цей метод незамінним для оцінки земельних ресурсів у віддалених районах.

Зокрема, дослідження К. Фей, К. Рехбергер, К. Войт [2] показали, що GNSS має певні переваги в порівнянні з традиційними методами геодезії, такими як тахеометрія, оскільки дозволяє знизити витрати на проведення робіт та зменшити час, необхідний для збору даних. Згідно з результатами Дж. Вільянуева, А. Бланко [3], використання БПЛА

для геодезичного знімання дозволяє значно скоротити витрати на польові роботи, а також мінімізувати ризики для геодезистів у небезпечних або важкодоступних умовах. Водночас В. Македон, О. Байлова [4] відзначають, що БПЛА обладнані фотокамерами, інфрачервоними сенсорами та лідарними системами, що дозволяє збирати широкий спектр даних, необхідних для оцінки земельних ресурсів. Дослідження П. Міхно, І. Лісовенко, Д. Бушуєв, І. Риженко [5] підтверджують, що лідарні системи є надзвичайно ефективними у складних географічних умовах, таких як густі ліси, гористі райони або території з неоднорідним рельєфом.

Використання сучасних геодезичних технологій відіграє ключову роль у проведенні оцінки земельних ресурсів, особливо у віддалених районах. Наприклад, як зазначають В. Гой, В. Харів, І. Бурвіков [6], застосування дистанційного зондування і геодезичних методів дозволяє отримувати точні дані про стан земельної власності, оцінювати її перспективи та вирішувати проблеми землекористування. Іншим прикладом є використання геодезичного й дистанційного моніторингу земель для спеціалізованих цілей, таких як сонячні електростанції. Цей підхід забезпечує високий рівень точності даних, необхідний для ефективного управління земельними ресурсами [7]. Також важливим напрямом є моніторинг використання земель у сучасних умовах, що дозволяє оптимізувати їх розподіл та планування, що підтверджено в роботі М. Лапшій, О. Гулько [8]. Як вказує М. Пілічева [9], то застосування сучасних технологій землеустрою і кадастру відкриває нові можливості для автоматизації процесів оцінювання земель. Використання ГІС-технологій значно спрощує управління земельними ресурсами, забезпечуючи візуалізацію даних та інтеграцію інформації з різних джерел [10], а дослідники Р. П. Федоренко, О. В. Кравченко [11] зазначають про те, що впровадження таких рішень є перспективним для ефективного оцінювання земельних ресурсів в Україні.

Таким чином, надане обґрунтування та огляд наукових публікацій свідчить про високий рівень актуальності поточного дослідження, що повністю зумовлено складовими, спрямованими на удосконалення методів оцінювання земельних ресурсів для віддалених районів з урахуванням новітніх технологічних розробок у сфері геодезичних пошуків.

Мета і задачі дослідження. Метою є проведення комплексного дослідження ефективності й доцільності використання провідних геодезичних технологій для оцінки якісних параметрів земельних ресурсів віддалених районів і територій.

Завдання дослідження:

- проаналізувати рівень розвитку геодезичних технологій, що можуть потенційно використовуватись для оцінювання якості земельних ресурсів;
- оцінити рівень ефективності поєднання геодезичних технологій у сфері віддаленого землекористування для забезпечення точності та надійності їх оцінювання;
- сформулювати пропозиції щодо впровадження і використання цифрових геодезичних технологій, направлених на скорочення технологічних операцій та підвищення точності результатів оцінювання.

Виклад основного матеріалу. Для оцінки земельних ресурсів у віддалених районах сучасні геодезичні технології дозволяють створювати деталізовані карти, які відображають макроструктуру агроландшафтів, їх геометричні параметри та просторове розташування. У випадках необхідності проводиться уточнення внутрішньої структури цих агроландшафтів на основі інформації, отриманої від сільськогосподарських підприємств і офіційних реєстрів. Визначається кількість агроландшафтів, які мають повний або частковий захист лісовими насадженнями, а також тих, що залишаються незахищеними, після чого обчислюються їхні площі та розміри.

Детальний аналіз рельєфу територій, розташованих поблизу досліджуваних агроландшафтів, базується на геостатистичних характеристиках, які фіксуються в табличній формі. Завдяки поєднанню даних про агроландшафти, рельєф і ґрунтові карти створюються моделі, що допомагають розподіляти поля відповідно до їх потенційної продуктивності. Використання аерокосмічного моніторингу аграрних угідь забезпечує виконання комплексу заходів, зокрема:

1. Виконання супутникового знімання аграрних територій із застосуванням знімків високої та надвисокої роздільної здатності в оптимальні періоди, такі як рання весна або літо.
2. Побудова космічних карт досліджуваної місцевості за допомогою електронних геодезичних приладів і програмного забезпечення QGIS.
3. Виділення макроструктури агроландшафтів у ГІС-середовищі на основі космічних знімків та відповідних баз даних.
4. Формування векторної карти, яка відображає розташування аграрних угідь, включно із захищеними та незахищеними лісовими насадженнями агроландшафтами.
5. Обчислення площ і розмірів земельних ділянок за допомогою ГІС-інструментів, що забезпечує точність просторового аналізу.

Створені тематичні бази даних містять всі доступні характеристики кожного поля, які реєструються та доповнюються векторними шарами, що демонструють ґрунтові контури й потенційну продуктивність угідь. Інтеграція цих даних дозволяє проводити детальний аналіз стану агроландшафтів, оцінювати рівень їхньої деградації, а також загальний екологічний стан території, що є основою для прийняття стратегічних рішень у сфері управління земельними ресурсами.

Реалії нашого часу засвідчують те, що земельні ресурси мають більш ніж провідну роль у розвитку економіки, забезпеченні продовольчої безпеки та збереженні природного середовища країни. Оцінювання земельних ресурсів у віддалених районах – це процес визначення характеристик, стану та вартості земельних ділянок, розташованих у територіях з обмеженим доступом, складним рельєфом або недостатньо розвинутою інфраструктурою. Сама оцінка включає в себе збір, обробку та аналіз геодезичних, екологічних, економічних і правових даних з метою формування комплексного уявлення про якість та придатність земельних ресурсів для їх подальшого використання, охорони або розвитку. Основна мета оцінювання земельних ресурсів у віддалених районах полягає у наданні точної та актуальної інформації про землі, що дозволяє ефективно планувати землекористування, визначати потенційні ризики та можливості для сільськогосподарського, промислового або рекреаційного використання.

Геодезичні технології мають ключове значення в аспекті точного й ефективного моніторингу та проведення методичного оцінювання виділених територіально земельних ресурсів, особливо для віддалених та важкодоступних територій. Традиційні та сталі методи геодезичного пошуку, що ґрунтуються на традиційних підходах вимірювання та використання обмежених інструментів, сьогодні вже значно поступаються за рівнем точності, швидкості й масштабності цифровим технологічним рішенням. Так, треба зауважити, що такі технології, як глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), безпілотні літальні апарати (БПЛА) та лідарні технології утворюють нове поле досліджень і формують сучасну практику у сфері сталого землевпорядкування, управління земельними ресурсами та просторового планування тощо [12].

1. Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), шляхи та складові їх застосування. Так сьогодні GNSS вже здатні забезпечити максимально точне позиціонування та координування в будь-якому місці земної кулі, незалежно від умов місцевості чи погодних умов. Технічні рішення по GNSS містять ряд поширених систем і програмних рішень, найвідомішими з яких є: GPS (США), Galileo (ЄС) та BeiDou (Китай). Відмічені

системи стабільно надають цільові можливості для отримання геофізичних даних про просторове розташування з точністю до декількох сантиметрів, що стало принциповою вимогою для здійснення геодезичних досліджень (рис. 1) [12].

Технічні рішення GNSS утворюють можливості по ефективному використанню спектра завдань, що щільно пов'язані з оцінкою стану земельних ресурсів, таких як: кадастрове знімання, моніторинг змін земного покриття, визначення меж земельних ділянок та виділення факторів прикладного землекористування.



Рис. 1. Цифрова візуалізація міської забудови та частини віддалених районів, отримане за допомогою GNSS

Джерело: [13].

2. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) та їх використання для проведення геодезичного знімання. Безпілотні літальні апарати (БПЛА), або дрони, вже мають широке поле використання в прикладній геодезії, і це відбулося завдяки відповідним унікальним можливостям для збирання даних на великих площах землі та у важкодоступних місцевостях і територіях [3]. Імплементация технології БПЛА надає доступ до виконання цифрового аерофотознімання з високою роздільною здатністю, що здатне забезпечити найбільш точну візуалізацію поверхні земельних ділянок та розташованих на них об'єктів (рис. 2.).



Рис. 2. Приклад цифрового матеріалу стану земельних ресурсів отриманого за допомогою БПЛА

Джерело: [14].

Технології БПЛА системно обладнані різноманітними датчиками, такими як фотокамери, інфрачервоні сенсори та лідари. Цей набір технічних інструментів, дає можливості для збору великих обсягів різноманітних даних поверхні землі у дійсно короткі терміни та цей факт є принциповим стосовно віддалених районів і земельних ділянок, коли швидкий і точний збір даних є критично швидким і необхідним. Використання засобів БПЛА надає можливості зменшення рівня витрат на окремі або групові геодезичні роботи та утворює базу для мінімізації всіх ризиків для геодезистів, які працюють у складних або небезпечних умовах [15]. Крім того, завдяки можливостям регулярного та частого моніторингу земельних ресурсів і планів, самі БПЛА здатні швидко сприяти забезпеченню більш оперативного реагування на зміни в землекористуванні.

3. Лідарні технології та їх ефективність у складних географічних умовах. Лідар (Light Detection and Ranging) – технологія дистанційного зондування, яка використовує лазерне випромінювання для вимірювання відстаней до об'єктів. Лідарні системи сьогодні встановлюють на літаках, на БПЛА або на наземні транспортні засоби. Лідарні системи забезпечують формування і цифровий контент високоточних тривимірних моделей поверхні землі, що є проривом в питанні оцінки корисності земельних ділянок і ресурсів. Ефективність лідарних технологій особливо проявляється у складних географічних умовах, таких як густі ліси, гористі райони або території з неоднорідним рельєфом і, крім того, лідарні системи забезпечують процеси проникнення крізь листяний покрив та дають точні цифрові карти виділеної (досліджуваної) поверхні землі, що було б неможливим для традиційних методів фотограмметрії (рис. 3) [16].

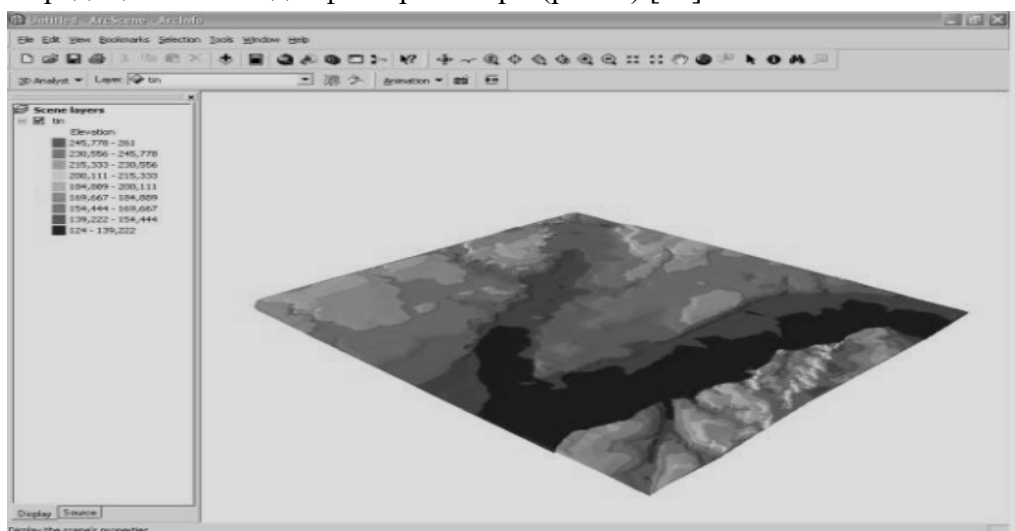


Рис. 3. Моделювання стану земельних ресурсів та території за допомогою лідарної технології

Джерело: [17].

Також слід відзначити, що лідари використовують в геодезії для виявлення стрибкоподібних змін земельного покриву або рельєфу, ерозійних процесів, видимих зсувів або інших деградаційних процесів, що впливають на якість земельних ресурсів і територій.

Саме завдяки високому рівню точності та швидкості збору цифрових даних, лідарні технології вже масово використовуються для всіх видів геодезичних робіт і досліджень у напрямку оцінювання стану земель у віддалених районах. Це необхідно для отримання цифрових геоданих високої якості у найкоротші терміни. Лідарні знімки можна інтегрувати з даними інших джерел, таких як GNSS або БПЛА, для створення комплексних геоінформаційних систем, що забезпечують багатовимірний підхід до оцінки земельних ресурсів.

4. Гібридне позиціонування – метод, що направлений на визначення місцеположення в земельному ареалі, який використовує комбінацію (парні поєднання) різних геотехнологій, таких як глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), інерційні навігаційні системи (INS), наземні радіолокаційні системи, а також різноманітні сенсори (лідар, камери, ультразвукові датчики). Основна мета такого підходу полягає у забезпеченні високої точності та надійності даних у випадках, коли одна з технологій не може повністю задовольнити вимоги до точності виконання геодезичних робіт або відбувається втрата внутрішніх технологічних можливостей через зовнішні фактори [18]. Подібні речі можливі при поганих погодних умовах або в умовах урбанізованих територій, де супутниковий сигнал може бути заблокований (невільований) (рис. 4).

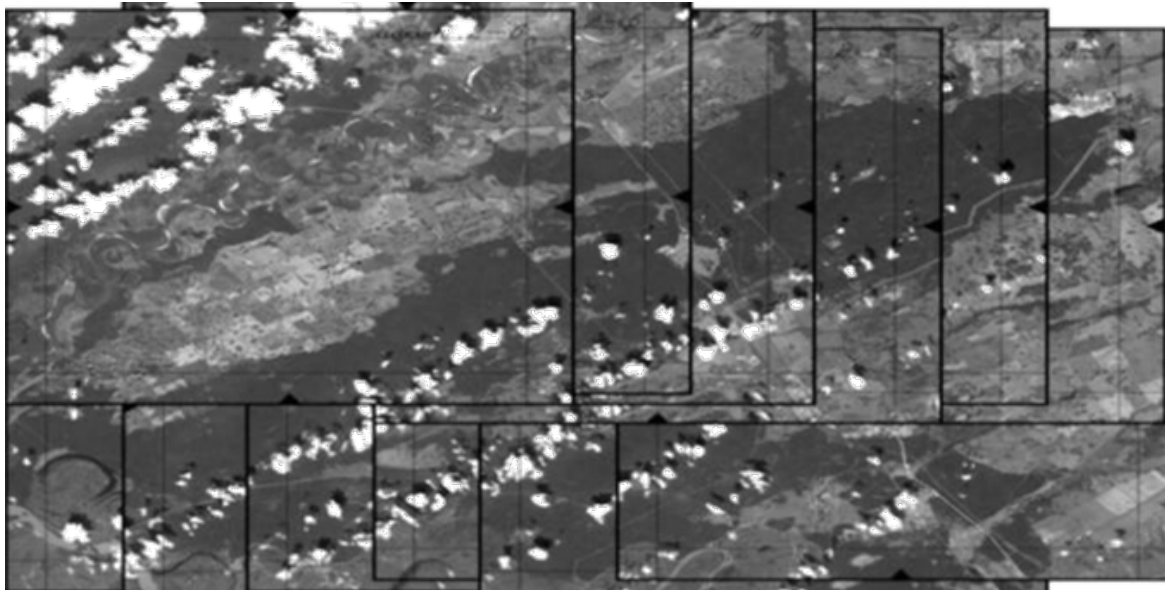


Рис. 4. Невільована цифрова модель земельного ареалу за допомогою техніки гібридного позиціонування [19]

Джерело: [19].

Констатуємо, що використання технології GNSS технічно формує можливість точного визначення координат в умовах відкритого простору, однак у густо забудованих міських районах або в умовах лісових масивів точність GNSS може значно знижуватися. У таких ситуаціях гібридне позиціонування використовує INS, яка здатна забезпечити безперервність даних про положення та рух об'єкта, навіть коли супутниковий сигнал тимчасово відсутній. Парна інтеграція двох технологій GNSS та INS здатна утворити прецедент компенсації недоліків від кожної окремої системи та забезпечити безперервний моніторинг місцеположення для віддалених земельних територій з високим рівнем точності.

Гібридне позиціонування в геодезичній оцінці земельних ресурсів у ряді віддалених районів формує ключові напрямки використання через створення кадастрових карт та оновлення геодезичних даних у реальному часі. Для віддалених районів, де існують проблеми з доступом до стабільного супутникового сигналу, гібридне позиціонування це вихід з проблемної ситуації, тому що може бути технічно продовжений збір геоданих без необхідності зупинки виконуваних геодезичних робіт [20]. Подібні технічні рішення фактично утворюють нову цифрову ефективність виконання геодезичних робіт, та знижують операційні витрати на проведення будь-яких видів геодезичного знімання і пошукових робіт тощо. У табл. 1 наведено інформаційне узагальнення для досліджених геодезичних технологій, що використовуються для формування комплексної оцінки земельних ресурсів у віддалених районах.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз використання геодезичних технологій для проведення комплексної оцінки земельних ресурсів у віддалених районах

Геодезична технологія	Визначальна характеристика	Провідна перевага використання	Наявний геодезичний ефект	Оцінка цифрової спрямованості
1. Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS)	Точне позиціонування та координування в будь-якому місці земної кулі	Висока точність і незалежність від погодних умов	Ефективне виконання кадастрового знімання та моніторинг змін земельного покриву	Висока
2. Безпілотні літальні апарати (БПЛА)	Аерофотознімання з високою роздільною здатністю	Збирання даних на великих площах та у важкодоступних місцевостях	Зменшення витрат на геодезичні роботи та мінімізація ризиків	Висока
3. Лідарні технології	Використання лазерного випромінювання для вимірювання відстаней до об'єктів	Створення високоточних тривимірних моделей поверхні землі	Виявлення змін рельєфу та інших процесів, що впливають на стан земельних ресурсів	Висока
4. Технологія гібридного позиціонування	Інтеграція різних технологій для забезпечення високої точності	Компенсація недоліків окремих систем позиціонування	Забезпечення безперервного моніторингу з високою точністю	Дуже висока
5. Інерційні навігаційні системи (INS)	Забезпечення безперервності даних про положення та рух об'єкта	Робота без необхідності супутникового сигналу	Підтримка точності в умовах обмеженого доступу до супутникових сигналів	Середня

Джерело: сформовано авторами.

Отже, обґрунтовані та виділені геодезичні технології здатні значно розширити технології надання оцінки якісного стану виділених земельних ресурсів, особливо у віддалених районах з обмеженим рівнем доступу або наявними складними географічними умовами. Після збору даних у віддалених районах постає необхідність їх обробки та інтерпретації і тут самі процедури обробки геодезичних даних мають принципово містити ряд етапів, а саме: а) попередня обробка, б) геоприв'язка, в) системний аналіз, г) цифрова візуалізація геодезичного контенту тощо. Кожен із цих етапів містить принципові та одноосібні особливості, залежно від типу геодезичних даних та взятих технологій для проведення геодезичних досліджень.

Отже, на першому етапі здійснення попередньої обробки слід провести фільтрацію зібраних геодезичних даних, видалити всі «шуми» та візуальні помилки проведених вимірювань. Для цього доцільно запровадити практику застосування спеціалізованих програмних пакетів, які дозволяють автоматизувати більшість рутинних процесів та забезпечити високу точність розрахункової й візуальної обробки первинних даних. Це можуть бути зібрані дані з лідару, і вони мають «шуми» через віддзеркалення цифрового сигналу від листя або дрібних об'єктів на земній поверхні, і саме тому перед аналізом їх необхідно очистити.

Наступним, другим етапом є геоприв'язка даних, що передбачає встановлення їх відповідності з певною системою координат. Цю роботу можна виконати за допомогою технології GNSS або іншого джерела геоданих, і також принциповим є технічне забезпечення, щоб всі дані були правильно скомпоновані та відповідали єдиній системі координат, для формулювання основи для точного зіставлення і ведення подальшого аналізу отриманих цифрових геоданих.

Системний аналіз геодезичних даних (третьій етап) включає вивчення отриманих вимірювань, їх моделювання та інтерпретацію. У принциповому полі зору вказаний процес має використовувати методи: математичного моделювання, статистичного аналізу та машинного навчання для виявлення тенденцій, змін рельєфу земельних ділянок (територій)

або інших характеристик виділеної місцевості. Усі геодані, які отримані з лідарів, слід брати за основу для створення цифрових моделей рельєфів територій, виявлення змін земного покриття або визначення обсягів переміщення ґрунту.

Цифрова візуалізація є останнім четвертим етапом обробки даних і включає представлення результатів у зручній для дослідників і інженерів формі, такій як цифрові карти, 3D-моделі місцевості або інтерактивні геоінформаційні системи (ГІС) у землекористуванні, і такі цифрові інструменти утворюють практичну і досконалу зручність при перегляді зібраних геоданих, порівняльному аналізі їх у контексті інших зібраних просторових даних тощо.

По-перше, традиційні методи геодезії зазвичай передбачають тривалі та трудомісткі польові роботи, що включають вимірювання на місцевості, обробку даних та їх аналіз, проте суцільне використання сучасних технологій, таких як GNSS та БПЛА, дозволяє значно зменшити час на виконання подібних робіт. Зазначаємо, що використання БПЛА дозволяє виконувати аерофотознімання великих площ у короткі терміни, що може замінити дні або тижні роботи на місцевості всього кількома годинами польотних робіт і знімання. Також не відстають і лідарні технології, які можуть вдало сприяти скороченню часу на проведення земельної оцінки, оскільки дозволяють швидко й точно збирати дані про рельєф місцевості, навіть у густо зарослих лісами або гірських (віддалених) районах. Завдяки можливості одночасного отримання великої кількості точок даних, лідара забезпечують більш швидко і точну оцінку, що знижує потребу в додаткових виїздах на досліджувану місцевість та скорочує витрати на проведення додаткових геодезичних вимірювань.

По-друге, нові геодезичні технології вже досить вдало забезпечують значне підвищення точності та надійності результатів у порівнянні з традиційними методами. Використання інструментарію GNSS надає геодезістам технічну можливість отримувати геодані з точністю до кількох сантиметрів, що є важливим для визначення меж земельних ділянок, створення кадастрових карт та моніторингу змін земного покриття. Завдяки GNSS геодані можна вільно збирати в режимі «онлайн», що зменшує ймовірність помилок і неточностей, пов'язаних з ручним введенням даних або іншими людськими крос-факторами.

Лідарні системи надають можливість отримувати тривимірні моделі поверхні землі з високою деталізацією, що є незамінним для аналізу змін рельєфу, виявлення зсувів, ерозії або інших геоморфологічних процесів. Вже сама висока точність лідарних технологій забезпечується за рахунок використання лазерного випромінювання, саме воно дозволяє проводити контрастні вимірювання навіть у важкодоступних місцевостях, віддалених районах, де традиційні методи фотограмметрії або оптичного знімання матимуть прогнозовано обмежені технічні можливості.

Впровадження самих БПЛА з різноманітними електронними сенсорами, що включають і фотокамери, інфрачервоні датчики та лідари, прогнозовано сформує широту можливостей отримання різноманітних геоінформаційних даних з високою роздільною здатністю, що підвищуватиме рівень точності аналізу та надасть перспективу постійно враховувати більше параметрів при оцінці стану земельних ресурсів. Завдяки можливості регулярного та частого моніторингу БПЛА мають потенціал для сприяння своєчасному виявленню змін на місцевості та можуть гарантовано забезпечити оперативне прийняття рішень на основі актуальних геоінформаційних даних. БПЛА технічно літають на великих відстанях і можуть виконувати завдання в умовах, що є небезпечними або непридатними для людей, так це актуально у гірських районах, зонах зсувів, або в місцях з високим ризиком природних катастроф. Зазначені складові є принциповими при утворенні моделі безпеки інженерного персоналу, але й зменшує ймовірність помилок, пов'язаних з людським фактором, таких як неправильно зібрані геодані або ненавмисні відхилення від методики збору і вимірювання (табл. 2).

Таблиця 2 – Інтеграційно-оціночна характеристика сучасних методів дослідження стану земельних ресурсів для віддалених районів

Рівень розвитку методу	Оцінка рівня автономності й універсальності	Нестандартні формати використання	Головна перевага системного використання
Високий (GNSS)	Висока автономність, універсальність для будь-яких умов	Використання в умовах обмеженого супутникового сигналу	Точність і незалежність від погодних умов
Середній (БПЛА)	Середня автономність, висока універсальність у відкритих просторах	Аерофотознімання великих площ у важкодоступних районах	Швидкість збору даних і зменшення витрат
Високий (Лідар)	Висока автономність, обмежена універсальність (ефективність у складних рельєфах)	Створення тривимірних моделей у лісистих та гористих районах	Висока точність даних і деталізація
Дуже високий (Гібридне позиціонування)	Дуже висока автономність, інтеграція різних технологій	Поєднання різних систем для забезпечення точності в складних умовах	Комплексність даних та безперервний моніторинг
Середній (INS)	Середня автономність, використання в умовах відсутності GNSS сигналу	Інерційне позиціонування в закритих або глибоких місцях	Забезпечення безперервності даних у складних умовах

Джерело: сформовано авторами.

Широка автоматизація процесу збору даних за допомогою сучасних технологій також зменшує ймовірність помилок, пов'язаних з ручним введенням даних, що сприяє підвищенню точності та надійності результатів.

Прикладна важливість застосування методів оцінки земельних ресурсів у віддалених районах полягає в оптимізації управління і використання земельних ділянок, забезпеченні екологічної стабільності та економічної ефективності. Методи дозволяють точно визначати стан земель, виявляти та попереджувати екологічні ризики, такі як ерозія чи деградація ґрунтів, а також відстежувати зміни землекористування. Результати дослідження сприятимуть створенню точних кадастрових карт, забезпеченню правової визначеності меж ділянок і розвитку інфраструктури. Застосування виділених методів формує базу ефективного планування сільськогосподарського, промислового або рекреаційного використання земель, що дозволяє підвищити продуктивність та захистити природні ресурси у важкодоступних територіях.

Висновки. Було досліджено техніко-організаційні можливості впровадження сучасних геодезичних технологій, таких як: глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), безпілотні літальні апарати (БПЛА), лідарні технології та методи гібридного позиціонування для формування потоку точного оцінювання стану і якості земельних ресурсів віддалених та важкодоступних районів і територій. Було встановлено, що ці технології значно перевищують традиційні методи за точністю, швидкістю збору даних та зручністю інженерного і програмного використання. Було сформовано організаційні складові щодо імплементації ряду геодезичних технологій для геодезичної оцінки земельних ресурсів залежно від специфіки місцевості. Також було оцінено вплив сучасних геодезичних технологій на скорочення часу та витрат на формування процесу оцінки стану земельних ресурсів виділених територій.

Було обґрунтовано пропозицію по інтеграції даних, отриманих з різних цифрових джерел, для підвищення точності та надійності результатів при проведенні оцінювання земельних ділянок і рельєфу територій. Базою стає використання даних з GNSS, лідарів та БПЛА для створення комплексних геоінформаційних систем (ГІС), які і забезпечують багатовимірний підхід до землекористування та екологічного стану земельних ресурсів важкодоступних територій.

Список використаних джерел

1. Chabaniuk, V. Critical properties of modern geographic information systems for territory management / V. Chabaniuk, K. Polyvach // Cybernetics and Computer Engineering. – 2020. – № 3(201). – Pp. 5-32. DOI:10.15407/kvt201.03.005.

2. Fey, C. Remote sensing-based deformation monitoring and geological characterisation of an active deep-seated rock slide (Tellakopf/Cima di Tella, South Tyrol, Italy) / C. Fey, C. Rechberger, K. Voit // *Bull Eng Geol Environ.* – 2023. – № 82. – P. 85. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03101-x>
3. Villanueva, J. K. S. Optimization of ground control point (GCP) configuration for unmanned aerial vehicle (UAV) survey using structure from motion (SfM). *The International Archives of Photogrammetry / J. K. S. Villanueva, A. C. Blanco // Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* – 2019. – № 42. – Pp. 167-174. DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W12-167-2019.
4. Македон, В. В. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств / В. В. Македон, О. О. Байлова // *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки».* – 2023. – Вип. 47. – С. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3.
5. Міхно, П. Особливості застосування сучасних геодезичних технологій у будівництві / П. Міхно, І. Лісовенко, Д. Бушуєв, І. Риженко // *Технічні науки та технології.* – 2022. – №3(29). – С. 198-209. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-3\(29\)-198-209](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-3(29)-198-209).
6. Гой, В. Проблеми та перспективи оцінки земельної власності геодезичними методами / В. Гой, В. Харів, І. Бурвіков // *Просторовий розвиток.* – 2024. – № 8. – С. 391-404. DOI: 10.32347/2786-7269.2024.8.391-404.
7. Козяр, В. Геодезичний і дистанційний моніторинг земель, відведених під сонячні електростанції / В. Козяр // *Технічні науки та технології.* – 2021. – №3(29). – С. 198-209. DOI: 10.25140/2411-5363-2022-3(29)-198-209.
8. Лапшій, М. Моніторинг використання земель у сучасних умовах в Україні / М. Лапшій, О. Гулько // *GeoTerrace-2018 : міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених, 13–15 грудня 2018 р., Львів, Україна.* – 2018. – С. 218-220 URL: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper/monitoring-vikoristannya-zemel-u-suchasni-umovah-v-ukrayini>.
9. Пілічева, М. Сучасні технології землеустрою та кадастру [Електронний ресурс] / М. Пілічева. – Харківський : Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2024. – Режим доступу: https://gis.kname.edu.ua/images/ONP_2023/Obov'yazkovi_onovlenna2024/RP_OK7_PhD_24_25_plan23_Piliceva.pdf.
10. Толчевська, О. Є. ГІС технології в землеустрої [Електронний ресурс] / О. Є. Толчевська, Ю. Г. Коняєв // *Екологічна безпека та природокористування.* – 2018. – С. 168-169. – Режим доступу: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/4b4e849c-5a04-484b-8daf-59e6cc2d83ed/download>.
11. Федоренко, Р. П. Оцінка земель в Україні: сучасний стан та перспективи розвитку [Електронний ресурс] / Р. П. Федоренко, О. В. Кравченко // *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції.* – 2023. – С. 179–182. – Режим доступу: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/37543/1/MMNPK_Planning_and_use_of_territories_within_the_context_of_inclusive_development_2023-179-182.pdf.
12. Digital Technology-and-Services-Driven Sustainable Transformation of Agriculture: Cases of China and the EU [Electronic resource] / T. Qin, L. Wang, Y. Zhou, L. Guo, G. Jiang, L. Zhang // *Agriculture.* – 2022. – №12. – P. 297. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/agriculture12020297>.
13. All Maps : U.S. Geological Survey [Electronic resource] // USGS.gov : Science for a changing world. – Mode of access: <https://www.usgs.gov/products/maps/all-maps>
14. Digital Outcrop Modelling and Geological Mapping: Shaping the Future of Geology [Electronic resource] // VRGS by VRGeoscience Limited. – Mode of access: <https://www.vrgeoscience.com/shaping-the-future-of-geology/>.
15. Каліна, І. І. Концептуальні засади побудови цифровізації аграрного сектору [Електронний ресурс] / І. І. Каліна // *Ефективна економіка.* – 2019. – № 10. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8232>.
16. The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine / B. Hablovskiy, N. Hablovskaya, L. Shtohryn, D. Kasiyanchuk, M. Kononenko // *Journal of Ecological Engineering.* – 2023. – №24(7). – Pp. 254-262. <https://doi.org/10.12911/22998993/164753>.
17. Landsat Next Defined: Landsat Science [Electronic resource] // Landsat Science: A joint NASA/USGS Earth observation program. – Mode of access: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/landsat-next-defined>.

18.Македон, В. В. Управління внутрішніми інвестиційними проектами в регіональному промисловому кластері підприємств / В. В. Македон, О. Г. Михайленко // Підприємництво та інновації. – 2022. – Вип. 25. – С. 56-63. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9>.

19.Nikolayeva, O. Cartographic support for ecological monitoring / O. Nikolayeva, L. Romashova, O. Volkova // InterCarto. InterGIS. – 2013. – №1. – Pp. 84-86. 10.24057/2414-9179-2013-1-19-84-86.

20.Raising the level of financial security of the enterprise based on the basic risks differentiation / K. Pajak, V. Omelyanenko, V. Makedon, V. Shevchenko, I. Ovcharenko // Journal of Security and Sustainability Issues. – 2020. – № 10(1). – Pp. 115-130. DOI: [https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1\(9\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1(9)).

References

1. Chabaniuk, V., Polyvach, K. (2020). Critical properties of modern geographic information systems for territory management. *Cybernetics and Computer Engineering*, 3(201), 5–32. DOI: 10.15407/kvt201.03.005.

2. Fey, C., Rechberger, C., Voit, K. (2023). Remote sensing-based deformation monitoring and geological characterisation of an active deep-seated rock slide (Tellakopf/Cima di Tella, South Tyrol, Italy). *Bull Eng Geol Environ*, 82, 85. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03101-x>.

3. Villanueva, J. K. S., & Blanco, A. C. (2019). Optimization of ground control point (GCP) configuration for unmanned aerial vehicle (UAV) survey using structure from motion (SfM). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 167–174. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W12-167-2019.

4. Makedon, V.V., Bailova, O.O. (2023). Planuvannya i orhanizatsiya vprovadzhennya tsyfrovyykh tekhnolohiy v diyal'nist' promyslovykh pidpryyemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises. Scientific Bulletin of Kherson State University]. *Series "Economic Sciences"*, Issue 47, 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3.

5. Mikhno, P., Lisovenko, I., Bushuiev, D., & Ryzhenko, I. (2022). Osoblyvosti zastosuvannya suchasnykh heodezychnykh tekhnolohiy u budivnytstvi [Features of application of modern geodesic technologies in constructing]. *Technical Sciences and Technology*, 3(29), 198–209.

6. Hoi, V., Khariv, V., Burvikov, I. (2024). Problemy ta perspektyvy otsinky zemel'noyi vlasnosti heodezychnymy metodamy [Problems and prospects of land ownership evaluation using geodetic methods]. *Prostorovyy rozvytok*, 8, 391–404. DOI: 10.32347/2786-7269.2024.8.391-404.

7. Kozyar, V. (2021). Heodezychnyy i dystantsiynyy monitorynh zemel', vidvedenykh pid sonyachni elektrostantsiyi [Geodetic and remote monitoring of lands allocated for solar power plants]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi*, 3(29), 198–209. DOI: 10.25140/2411-5363-2022-3(29)-198-209.

8. Lapshii, M., Hulko, O. (2018). Monitorynh vykorystannya zemel' u suchasnykh umovakh v Ukraini [Monitoring of land use in modern conditions in Ukraine]. *GeoTerrace*. <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper/monitoring-vikorystannya-zemel-u-suchasnih-umovah-v-ukrayini>.

9. Pilicheva, M. (2024). Suchasni tekhnolohiyi zemleustroyu ta kadastru [Modern technologies of land management and cadastre]. Kharkivskyi natsionalnyi universytet miskoho hospodarstva imeni O. M. Beketova. [is.kname.edu.ua. https://gis.kname.edu.ua/images/ONP_2023/Obovyazkovi/onovlenna2024/RP_OK7_PhD_24_25_plan23_Piliceva.pdf](https://gis.kname.edu.ua/images/ONP_2023/Obovyazkovi/onovlenna2024/RP_OK7_PhD_24_25_plan23_Piliceva.pdf).

10.Tolchevska, O. Ye., Konyayev, Yu. H. (2018). HIS tekhnolohiyi v zemleustroyi [GIS technologies in land management]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya*, 168–169. <https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/4b4e849c-5a04-484b-8daf-59e6cc2d83ed/download>.

11.Fedorenko, R. P., Kravchenko, O. V. (2023). Otsinka zemel v Ukraini: suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku [Land evaluation in Ukraine: current state and development prospects]. *Materialy mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi*, 179–182. https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/37543/1/MMNPK_Planning_and_use_of_territories_within_the_context_of_inclusive_development_2023-179-182.pdf.

12.Qin, T., Wang, L., Zhou, Y., Guo, L., Jiang, G., & Zhang, L. (2022). Digital Technology-and-Services-Driven Sustainable Transformation of Agriculture: Cases of China and the EU. *Agriculture*, 12, 297. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020297>.

13.U.S. Geological Survey (USGS). All Maps. (2023). <https://www.usgs.gov/products/maps/all-maps>.

14.Digital Outcrop Modelling and Geological Mapping: Shaping the Future of Geology. (2023). <https://www.vrgeoscience.com/shaping-the-future-of-geology>.

15. Kalina, I. (2019). Kontseptual'ni zasady pobudovy tsyfrovizatsiyi aharnoho sektoru [Conceptual principles of construction of digitalization of agricultural sector]. *Efektivna ekonomika*, 10. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8232>.
16. Hablovskiy, B., Hablovska, N., Shtohryn, L., Kasiyanchuk, D., Kononenko, M. (2023). The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 24(7), 254-262. <https://doi.org/10.12911/22998993/164753>.
17. NASA. Landsat Science. (2023). <https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/landsat-next-defined>.
18. Makedon, V. V., Mykhaylenko, O. G. (2022). Upravlinnya vnutrishnimy investytsiyynyh proektamy v rehional'nomu promyslovomu klasteri pidpryyemstv [Management of internal investment projects in the regional industrial cluster of enterprises]. *Entrepreneurship and innovation*, (25), 56-63. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9>.
19. Nikolayeva, O., Romashova, L. & Volkova, O. (2013). Cartographic support for ecological monitoring. *InterCarto. InterGIS*, 1, 84-86. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2013-1-19-84-86>.
20. Pajak, K., Omelyanenko, V., Makedon, V., Shevchenko, V., Ovcharenko, I. (2020). Raising the level of financial security of the enterprise based on the basic risks differentiation. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 10(1), 115-130. [https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1\(9\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1(9)).

Отримано 13.12.2024

UDC 528.4:528.6

Olena Herasymchuk¹, Vasyl Hoy², Vladyslav Khariv³

¹PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Earth Sciences
Zhytomyr Polytechnic State University (Zhytomyr, Ukraine)

E-mail: kgt_gol@ztu.edu.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1279-1888>

²PhD in Economic Sciences, Doctoral Candidate

Kharkiv National University of Urban Economy named after O.M. Beketov (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: vasssgoi@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1822-4478>

³ postgraduate

Kharkiv National University of Urban Economy named after O.M. Beketov (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: v.khariv@ukr.net. **ORCID:** <http://orcid.org/0009-0006-7937-5324>

USING MODERN GEODESIC TECHNOLOGIES FOR LAND RESOURCES ASSESSMENT IN REMOTE AREAS

The article examines modern geodetic technologies used for land resource assessment in remote and hard-to-reach areas, including global navigation satellite systems (GNSS), unmanned aerial vehicles (UAVs), lidar technologies, and hybrid positioning methods. Their technical capabilities, including positioning accuracy, data collection speed, and efficiency in difficult geographical conditions, are analyzed. It is found that these tools provide the creation of high-precision maps, three-dimensional terrain models, and integrated geographic information systems (GIS). The potential of using GNSS for precise coordination and determination of land boundaries regardless of weather conditions or accessibility of territories is assessed. Approaches to using UAVs for high-resolution aerial photography have been developed, which allows for rapid acquisition of data on the condition of land resources and objects. The advantages of lidar technologies for creating three-dimensional terrain models, especially in difficult conditions, such as dense forests or mountainous areas, have been substantiated. Hybrid positioning methods have been proposed that combine GNSS with inertial navigation systems (INS), which guarantees continuous data collection even in the absence of a satellite signal. The stages of geodetic data processing, including filtering, georeferencing, system analysis, and digital visualization, which ensure the high quality of final results, have been investigated. The need to integrate data from various sources to create complex GIS is substantiated, which allows for considering a wide range of parameters when assessing the condition of lands. The application of these technologies to form cadastral maps, monitor land cover changes, identify environmental risks, and land use planning is proposed. The study results confirm the effectiveness of modern geodetic technologies in reducing costs, and increasing accuracy and speed of work. The conclusions obtained are the basis for further improvement of methods for assessing land resources and their adaptation to the specific conditions of remote areas.

Keywords: geodetic technologies; land resources; land management; geodetic search; geodata; land monitoring; digital visualization.

Fig.: 4. Table: 2. References: 14