

DOI: 10.32347/2786-7269.2023.6.293-308

УДК 528.4:528.6

к.с.н., доцент, **Кирилюк В.П.**,

hidrotechnik@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2098-0520,

**Рожі Т.А.**, tomas.rozhi.94@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6794-9662,

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини,

**Харів В.В.**, v.khariv@ukr.net, ORCID: 0009-0006-7937-5324,

Харківський національний університет

міського господарства імені О.М. Бекетова

## ГЕОДЕЗИЧНЕ ПЛАНУВАННЯ В АГРОЛАНДШАФТІ: СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ КАРТ ТА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

*Присвячено актуальній темі геодезичного планування в агроландшафті та його значенню для ефективного землекористування. Авторами розглянуто сучасні методи та технології створення цифрових карт і моделей агроландшафтів на основі використання геоінформаційних систем та аерофотографування з безпілотних літальних апаратів. Досліджено сучасні новітні підходи до геодезичного планування в рамках агроландшафтів. Визначено вимоги аграрної галузі до цифрового картографування та моделювання для оптимального використання земельних ресурсів. Обґрунтовано інструменти для формування цифрових карт агротериторій об'єднаних територіальних громад. Сформовано пропозиції щодо застосування геодезичних методик з метою ефективного агроландшафтного планування. Основну увагу приділено практичному значенню отриманих даних для оптимізації землекористування, планування сільськогосподарських робіт та раціонального використання земельних ресурсів. Вивчені підходи та розробки можуть бути корисними для фермерів, землевласників, екологів та спеціалістів у галузі геодезії. У ході дослідження створено методичку та порядок картографування агроландшафтів за допомогою ГІС та матеріалів аерознімання за допомогою БПЛА.*

*Ця методика дозволила отримати якісні зображення сільськогосподарських ландшафтів і на їх основі розробити картографічну модель у ГІС. Підхід успішно апробовано на прикладі обраної модельної території біля ОТГ. Створена цифрова карта та база даних є перспективними для подальших досліджень агроландшафтів. Проведені дослідження однозначно свідчать про те, що дані, отримані в результаті знімання БПЛА, є якісним джерелом достовірної інформації. Аерофотознімання дозволяє швидко створити точну цифрову модель рельєфу, яка може слугувати основою для*

геоінформаційних систем при розробці ряду тематичних карт і моделей рельєфу, важливих для аграрного сектора. Геоінформаційна система дає можливість візуалізувати основні елементи агроландшафтів як окремі шари (наприклад, рельєф, ґрунтові породи) з відповідною деталізацією їх характеристик в атрибутивних таблицях. Комбінуючи різні джерела даних, ГІС дозволяє створювати детальні карти агроекологічних умов конкретної зони. Також за допомогою ГІС можна зберігати інформацію про польові роботи, врожайність та інші показники, що забезпечує раціональне управління агропроцесами на земельних ділянках.

*Ключові слова:* цифрове геодезичне планування; цифрові карти; агроландшафт; безпілотні літальні апарати; картографування; географічна інформаційна система; інтелектуальні геопросторові системи; топографо-геодезичні вишукування.

**Постановка проблеми.** Сучасний рівень розвитку цифрових технологій дозволяє здійснювати та картографування агроландшафтів із використанням методики дистанційного зондування об'єднаних територіальних громад (ОТГ) та за допомогою електронних геодезичних приладів. Цифрові карти стають основним джерелом отримання інформації щодо структури ґрунтового покриву агроландшафтів та розробки заходів щодо їх оптимізації та підвищення родючості ґрунтів в умовах змінного клімату та наростаючого антропогенного навантаження на агрокосистеми. Сьогодні значна роль картографуванні, розробці та створенні карт та інших видів картографічних творів належить новітнім технологіям та інтелектуальним геопросторовим системам. До них належать геоінформаційні (технології географічних інформаційних систем – ГІС), дистанційні (засновані на використанні дистанційних методів дослідження, матеріалів аерофото- та космічного знімання, систем глобального позиціонування), спеціалізоване програмне забезпечення [17]. Ці технології та пов'язані з ними програмні засоби використовуються не тільки для проектування та створення різних карт та моделей, але й одночасно застосовуються для отримання, обробки та аналізу просторової інформації про досліджувані об'єкти, явища та процеси, їх властивості та структурні компоненти, дозволяючи оптимізувати та підвищити якість виконуваних досліджень.

Актуальність проведеного дослідження визначається необхідністю аналізу формування цифрових карт та моделей для оптимізації землекористування шляхом використання методів геоінформаційного картографування та моделювання на основі ГІС та матеріалів знімання з БПЛА.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичною основою дослідження послужили праці в галузі, геодезії, картографії та геоінформатики: Андреев С., Горелик С., Нечаусов А., Саул-Гоце Д. [2]; Вертегел С., Вишняков В., Гуреля В., Сластин С., Піскун О., Харченко С., Мороз В. [3]. Крім того, вивчено та враховано досвід та результати прикладних геодезичних та картографічних досліджень: Бакко М., Барсоккі П., Ферро Е., Готта А., Руджері М. [16]; Каролан М. [18]; Оздоган Б., Гачар А., Акташ Х. [21]. При виконанні досліджень спиралися на загальні теоретичні уявлення про агроландшафти, як про складні природно-антропогенні системи, викладені в роботах: Гуцул Т., Жежера І., Ткач В. [4]; Ямелинець Т. [14]; Македон В., Михайленко О., Дзяд О. [23].

Крім того, необхідно враховувати, що сучасний етап розвитку аграрної сфери потребує розв'язання проблем оптимізації структури землекористування, що історично склалася в процесі господарського освоєння, створення та збереження оптимального ландшафтно-екологічного балансу, при максимальному обліку та збереженні природних ресурсів.

**Формулювання цілей, її актуальність і новизна.** Дослідити методи та підходи геодезичного планування в агроландшафті для створення цифрових карт і моделей, спрямованих на оптимізацію використання земельних ресурсів.

Задачі дослідження:

- вивчити сучасні методи геодезичного планування в агроландшафті.
- аналізувати потреби аграрного сектору у цифрових картах та моделях для ефективного землекористування.
- розглянути технології створення цифрових карт агроландшафтів.
- вивчити можливості застосування цифрових моделей для оптимізації процесів у сфері землекористування ОТГ.
- розробити рекомендації з впровадження геодезичних підходів у практику землекористування ОТГ.

Реалізація поставлених завдань потребує обґрунтованих та своєчасних цифрових рішень що ґрунтуються на результатах агроландшафтних досліджень та геодезичного планування.

**Методика досліджень.** У даному дослідженні було використано різноманітні методологічні підходи. Серед них - методи узагальнення, синтезу, наукової абстракції та аналітичної діагностики. Використовуючи нормативний метод, автори визначили ключові параметри правового регулювання застосування цифрових інновацій у сфері АПК. За допомогою діалектичного підходу та системного аналізу було проведено глибоке вивчення соціально-економічних процесів цифровізації, їх основних тенденцій та впливу на розвиток національного агропромислового комплексу.

Статистичний метод, базований на репрезентативному вибірковому дослідженні, дозволив сформувавши певну аналітичну основу для обрахунків. Завдяки методам узагальнення та синтезу, було здійснено об'єднання всієї палітри наукових висновків в консолідоване розуміння, наголошуючи на актуальності досліджуваної проблематики та окреслюючи ключові вектори розвитку, мету, завдання та специфіку застосування цифрових рішень у секторі АПК. За допомогою методу аналітичної діагностики було здійснено аналіз основних показників, які відображають глибину і широту інтеграції цифрових технологій у національній агропромисловій сфері.

**Результати та їх обґрунтування.** Сільське господарство належить до найважливіших галузей економіки, мають пріоритетний напрямок розвитку. Динамічний розвиток аграрного виробництва в ОТГ потребує створення високоефективної системи землеробства, впровадження сучасних технологій збору та обробки інформації, необхідної в процесі сільськогосподарського виробництва для вирішення численних завдань геодезичного планування, використання сучасних інтелектуальних геопросторових моделей і систем. Нині широко застосовуються космічні інформаційні технології, такі як дистанційне зондування, супутникова навігація [10]. Вони забезпечують не лише даними, які необхідні для оцінки стану сільгоспугідь (культур, що вирощуються, ґрунтів, тепловлагозабезпеченості та інших показників), а й координатами розташування обробних агрегатів та ділянок поля, що потребують спеціальної обробки, що створює основи для застосування методів точного землеробства.

Підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, забезпечення сталого функціонування та продуктивності сільськогосподарських угідь є найважливішим завданням державної політики. Особливої актуальності у світлі даного пріоритету набуває комплексне вивчення агроландшафтів, їх картографування, проектування та створення агроландшафтних карт, формування спеціалізованих баз даних [11, 14]. Об'єктом нашого дослідження стали агроландшафти ОТГ Снятинського району, південного сходу Івано-Франківської області. Космічний знімок району дослідження представлено на рис. 1.

Ця земельна ділянка стала робочою основою для геоінформаційного картографування елементарних агроландшафтів нижчого ієрархічного рівня, просторового аналізу та оцінки їх сучасного стану, розробки великомасштабної агроландшафтної карти та спеціального змісту до неї, створення бази геоданих. Фактор рельєфу є визначальним при цифровому картографуванні ґрунтів, оскільки характеризує просторові закономірності розподілу ґрунтового покриву, надає ґрунтовим картам достовірності, об'єктивно оцінюється та

візуально спостерігається, на відміну від інших факторів (геологія, клімат тощо), у більшості випадків прихованих від ґрунтознавця-картографа в будь-якій точці [13].



Рис. 1. Космічний знімок досліджуваної земельної ділянки ОТГ Снятинського району, Івано-Франківської області [3]

За результатами знімання отримано серію цифрових знімків досліджуваного району з прив'язкою до географічних координат. Отримані знімки характеризуються високою точністю та детальністю зображення. Завдяки високому рівню дозволу забезпечується досить висока точність ідентифікації зображених об'єктів місцевості та визначення їх властивостей, метричних характеристик. На основі отриманих знімків виконано аналіз пристрою поверхні ділянки, що розглядається. Особливу увагу приділено мікрорельєфу, який є основою вивчення та виділення меж первинних структурних елементів агроландшафтів [22]. Матеріали знімання дозволили виявити в межах ділянки, що вивчається, невеликі зниження, потяги, мікроложини, горби, сліди тимчасових водотоків, напрями обробки ґрунту сільськогосподарською технікою [1].

Знімання ділянки здійснювалася БПЛА літакового типу SASFly з камерою Sony Cyber-Shot DSC-RX0, Exmor RS 1. Висота знімання – 300 м. Видимий діапазон 8 см/піксель, мультиспектральний 20 см/піксель. Мультиспектральна ширина смуги сканування 20 000 пікселів гарантує високу ефективність збору даних, а повноколірний RGBN з потрійним перекриттям,

отриманий у трьох напрямках від трьох незалежних каналів, що забезпечує гнучкість і простоту для стереофонічної інтерпретації [6].

На попередньому етапі дослідження проведено аналіз вихідних матеріалів, вивчено природно-ландшафтні, агрогосподарські особливості території, що розглядається. Визначено становище досліджуваної ділянки у системі ландшафтної ієрархії ОТГ. На місці знімання проведено польові ландшафтно-географічні дослідження, складено фізико-географічну характеристику району робіт, надано комплексний опис природних компонентів, визначено точне місцезнаходження, висота місцевості. На рис. 2. представлені деталізовані цифрові аерофотознімки досліджуваної ділянки, отримані в ході знімання з БПЛА SASFly.



Рис. 2. Серія деталізованих цифрових аерофотознімків ділянки, отриманих з БПЛА «SASFly» [6]

Матеріали знімання після попередньої обробки переводилися в обмінний формат, сумісний з інтелектуальною геопросторовою системою, та імпортувалися до неї для подальшої роботи. На етапі імпорту цифрових аерофотознімків виключалися знімки низької якості. Обробка матеріалів знімання виконувалася електронними геодезичними приладами ГІС ArcGIS 10.1 (ESRI Inc.) із використанням сучасного програмного забезпечення Agisoft Photo Scan Professional Edition [19]. Програмне забезпечення, функціонал та набір інструментів ArcGIS 10.1 (ESRI Inc.) дозволяють виконати векторизацію (зацифрування) матеріалів аерофотографування, отримати ортофотоплан необхідного масштабу, матриці висот місцевості, розробити та укласти спеціалізовані карти та цифрові картографічні моделі (цифрову модель

рельєфу) поверхні – ЦМП, карту пластики рельєфу, 3D-модель) ділянки досліджуваної території ОТГ [12]. У процесі роботи здійснено векторизацію об'єктів місцевості, виділено межі поля опорної ділянки, проведено морфометричний аналіз рельєфу, визначено висоти поверхні, ухили, експозиції схилів, сформовано спеціалізовані атрибутивні дані (рис. 3).

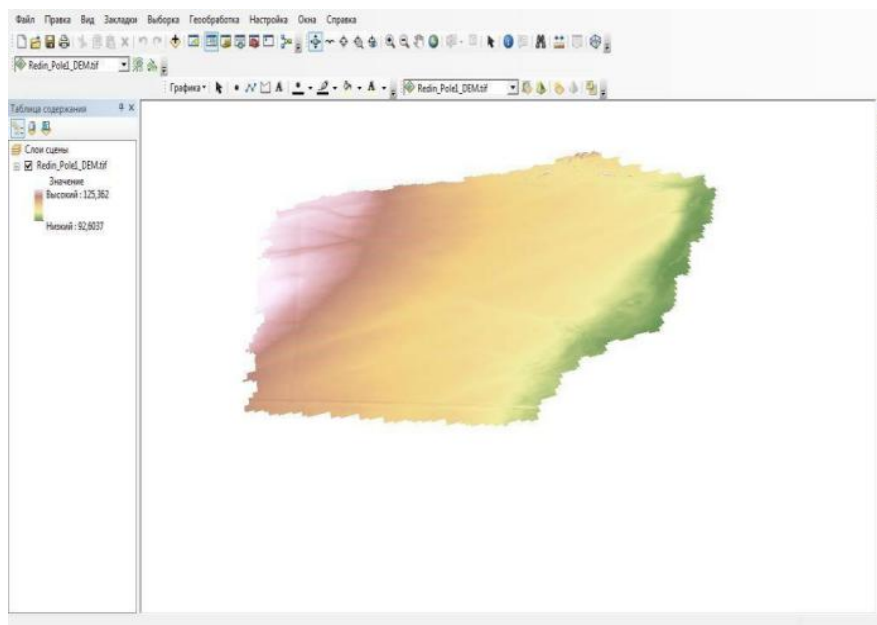


Рис. 3. Цифрове оброблення зображення опорної ділянки у спектрі висот агроландшафту [18]

Створена в ГІС електронна карта ділянки, що вивчається, і сформовані атрибутивні дані служать вихідною основою для розробки та створення різних тематичних карт і картографічних моделей, необхідних для здійснення подальших агроландшафтних досліджень (рис. 4.).

Геоінформаційна система дозволяє у вигляді окремих верств основні структурні компоненти агроландшафтів (рельєф, ґрунтоутворні породи, ґрунти, сільськогосподарські культури та інших.), а відповідних атрибутивних таблицях – їх кількісні і якісні характеристики. У ГІС-середовищі можуть бути створені та збережені різні додаткові шари та атрибутивні дані щодо них: результати агрохімічного аналізу ґрунтів, їх кислотність, механічний склад, питомий опір, що передують культури в системі сівозмін та ін. ГІС, поєднуючи аналіз агрометеорологічних відомостей, даних механічного та хімічного складу ґрунту, що дозволяє створити точну карту агроекологічних умов території розглянутого району [4]. До можливостей ГІС-технологій належить здійснення електронного запису та зберігання історії польових робіт, врожайності та інших характеристик та показників з сільськогосподарських угідь, окремих полів. Тим самим дані технології дозволяють обґрунтовано управляти виробничим процесом [9].

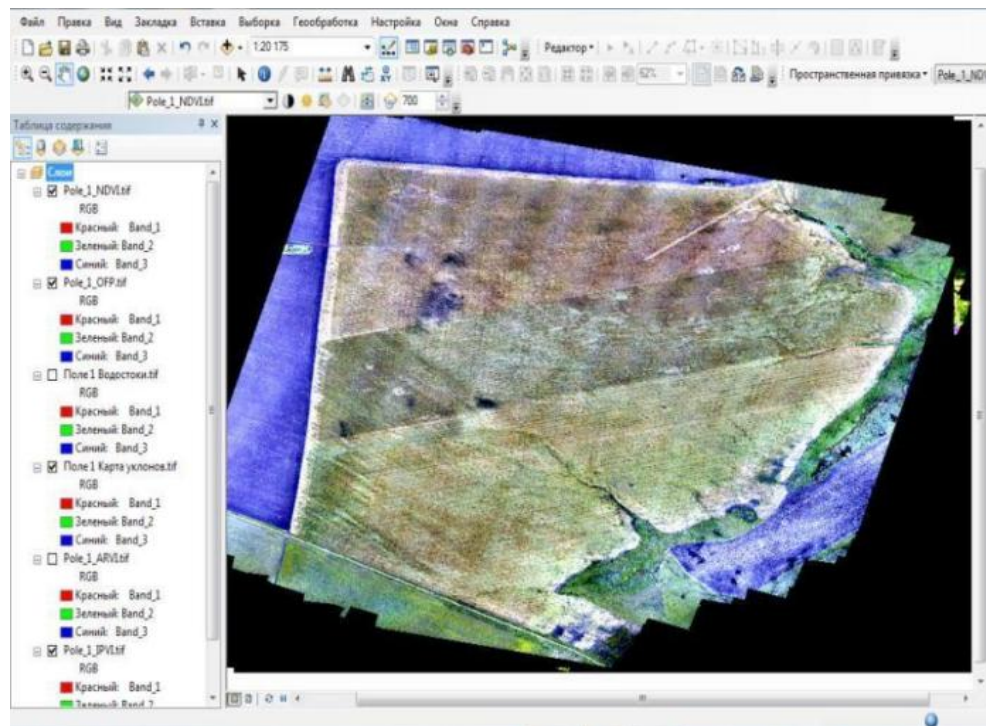


Рис. 4. Опорна ділянка у робочому вікні ArcGis 10.1 (ESRI Inc.) [15]

На основі матеріалів знімання БПЛА можливо здійснювати розрахунки спеціального індексу (Normalized Difference Vegetation Index, (NDVI) та проводити оцінювальні роботи. Так вегетаційний індекс (NDVI) дозволяє оцінювати стан сільськогосподарських культур, що виробляються, та прогнозувати фінансові витрати та ризики (рис. 5.).

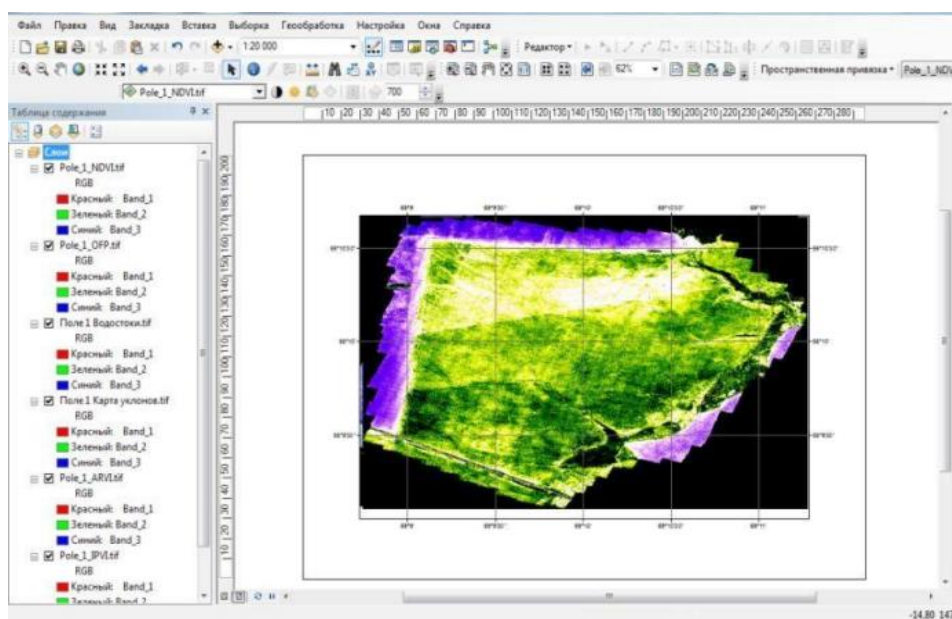


Рис. 5. Формування індексу NDVI у цифровій ГІС моделі агроландшафту [16]

За допомогою цього індексу з'являється можливість виявляти проблемні місця на полі та причини несхожості. За індексом вегетації (NDVI) та



температури підстилаючої поверхні можна визначити та провести оцінку фотосинтетично активної радіації, розробити карти з областями та ареалами дозрівання культур [7].

Матеріали знімання з БПЛА можуть бути використані для ефективної організації структури сільськогосподарського землеустрою, планування розміщення посівів певних видів та сортів культур, розрахунку норм внесення добрив та засобів захисту рослин, а також більш точного передбачення врожайності та фінансового планування. Поряд з цим, знімання із застосуванням БПЛА дозволяє визначити склад сільськогосподарських культур, що виробляються, стан їх посівів, встановити локальні причини хвороб культур та їх зараженості шкідниками, локальних ущільнень ґрунту, зниження врожайності на окремих полях та їх ділянках [5].

Цифрові аерофотоматеріали БПЛА є цінним джерелом просторової інформації щодо динаміки сільськогосподарського освоєння території, моделювання та прогнозування агрогенної трансформації природних ландшафтів. Дозволяють вивчити морфологічні елементи агроландшафтів, систематизувати агроландшафти місцевого (локального) рівня.

Слід зазначити, що аерофотознімання з БПЛА може отримати широке застосування у розвитку точного (координатного або прецизійного) землеробства, застосування прийомів адаптивно-ландшафтного землекористування [2]. При цьому підході вирішуються питання розвитку екологічного сільськогосподарського виробництва та забезпечення сталого стану агроландшафтів, зниження ризиків у сільськогосподарському виробництві, зумовлених природними факторами та умовами. В основі наукової концепції точного землеробства лежать уявлення про існування неоднорідностей у межах поля. Іншими словами, природні умови – кліматичні показники, погодні явища (термічний режим, зволоження, розподіл сонячної радіації, освітленість та ін.), характеристики та властивості ґрунту (гранулометричний склад, потужність гумусового шару, забезпеченість основними елементами живлення рослин), а також засміченість та заселеність хворобами та патогенами всередині одного поля подібні, але неоднакові [8]. На кожній окремій ділянці посівної площі вони мають локальні відмінності. Точне землеробство засноване на обліку диференційованості довкілля посівів сільськогосподарських культур в межах окремого поля.

Показники, одержані з метеостанцій та агропостів, даних агрохімічних служб та інших джерел, експертна оцінка агрономів, дають, головним чином, інформацію про базові, загальні агроекологічні умови та не дозволяють врахувати локальні особливості. Саме супутникове знімання та аерофотознімання з БПЛА в сукупності з новітніми технологіями дозволяє

вивчити та оцінити на кожному окремому полі або його ділянці всі неоднорідності природних умов, на основі їх аналізу та обліку визначити потреби сходів у зволоженні, необхідність додаткового поливу, внесення добрив та ін. самим, дані технології дозволяють обґрунтовано керувати культурами на рівні поля та допомогти сільгоспвиробникам уникнути серйозних втрат, підвищити врожайність культур, що виробляються.

Обов'язковою умовою проєктування адаптивноландшафтних систем землеробства є формування ГІС. Організація такої системи землеробства передбачає обов'язковий облік структури природного ландшафту та умов його функціонування. Важливим етапом побудови адаптивно-ландшафтних систем землеробства є агроекологічна оцінка та агроекологічне картування земель, розробка проєктів землеустрою, створення та впровадження банку даних, що максимально характеризують природні фактори та параметри зростання сільськогосподарських культур. У цьому ключі застосування аерофотографування з БПЛА для отримання точних даних та інформації про морфометрію рельєфу, гідрологічні та інші умови істотно полегшить процес розробки адаптивно-ландшафтних систем землеробства.

**Наукова новизна та практична значущість.** В результаті проведених досліджень розроблено технологію та алгоритм агроландшафтного картографування з використанням ГІС-технологій та матеріалів аерофотографування БПЛА, схему збору та обробки матеріалів знімання та створення бази даних. Знімання з БПЛА дозволила отримати детальні високоточні зображення та розробити на їх основі у ГІС-середовищі картографічну модель агроландшафту. Ця методика апробована біля СКО з прикладу модельної ділянки. Розроблена електронна карта та база даних може бути використана для подальших комплексних агроландшафтних досліджень земель ОТГ Снятинського району, Івано-Франківської області. Аналіз стану питання застосування БПЛА для аерофотографування сільськогосподарських територій показав, що цей напрямок має широкі перспективи застосування для оперативного вирішення різних завдань у галузі агроландшафтних досліджень, картографування та розробки агроландшафтних карт та моделей.

**Висновки та рекомендації подальшого дослідження.** Проведені дослідження наочно показують, що матеріали знімання БПЛА є надійним джерелом отримання об'єктивної інформації. Аерофотознімання з БПЛА забезпечує оперативне отримання точної цифрової моделі поверхні, яка може бути вихідною основою в геоінформаційних системах для розробки та створення серії різних оцінювальних та похідних тематичних карт та геоінформаційно-картографічних моделей ряду найважливіших морфометричних показників рельєфу, що мають безпосереднє відношення до

сільського господарства. Серед них крутість схилів, їх експозиція і форма (планова і профільна кривина поверхні), горизонтальне і вертикальне розчленування, основні структурні лінії, гіпсометричні рівні, фрактальна розмірність, кількість сонячної енергії, що надходить. Значна кількість моделей може бути представлена морфометричною групою графоаналітичних прийомів з розрахунком показників, що характеризують форму та структуру об'єктів.

Результатами гідрологічного аналізу ЦМР можуть стати моделі поверхневого стоку, оконтурювання мережі тальвегів та водозбірних басейнів, індексу збіжності (конвергенції), різні показники міграції речовини та енергії у твердому та рідкому стані – комплексні індекси, що оцінюють перерозподіл твердого та рідкого стоку, потенціал майданної та ліній.

Подальші дослідження мають відбуватися у напрямку створення карт у ГІС-середовищі на основі матеріалів знімання з БПЛА рекомендується використовувати для вирішення широкого спектра прикладних завдань не тільки в галузі сільського господарства, а й землеустрою, кадастрів та бонітування, екології, розробки програм та планів перспективного розвитку територій та ін. дозволить значно скоротити витрати фінансових коштів, підвищити оперативність та ефективність прийняття рішень. Однак слід зазначити існування ряду факторів, що стримують розвиток та використання зазначених технологій. До них насамперед відноситься відсутність нормативно-правової бази, що забезпечує виконання топографо-геодезичних робіт для інтеграції БПЛА в єдиний повітряний простір.

### Список використаних джерел

1. Актуальні напрямки розвитку картографії в Україні / За редакцією Руденка Л.Г. Київ: Ін-т географії НАН України, 2019. 90 с.
2. Андреев С.М., Горелик С.І., Нечаусов А.С., Саул-Гозе Д.К. Застосування геоінформаційних технологій для побудови картографічних моделей небезпечних метеорологічних явищ. Системи управління, навігації та зв'язку. 2022. №1(67). С. 4–12. DOI: 10.26906/SUNZ.2022.1.004.
3. Вертегел С., Вишняков В., Гуреля В., Сластін С., Піскун О., Харченко С., Мороз В. Розробка методики створення і оновлення картографічної основи з використанням космічних знімків від супутників «SUPER VIEW-1». Екологічна безпека та природокористування. 2022. №41(1). с. 89–101. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101>
4. Гуцул Т., Жежера І., Ткач В. Особливості класифікації та методів вибору БПЛА. Технічні науки та технології. 2023. №4(30). С. 201–212. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4\(30\)-201-212](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4(30)-201-212)

5. Данкевич В.Є., Данкевич Є.М. Моніторинг сільськогосподарських угідь із застосуванням систем дистанційного зондування земель. Економіка АПК. 2019. №8. С. 27
6. Застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту: монографія / Д.В. Бондар, А.В. Гурник, А.О. Литовченко, В.В. Хижняк, В.Л. Шевченко, Д.М. Ядченко. Київ, 2022. 312 с.
7. Згурська О., Корчинська О., Рубель К., Кубів С., Тарасюк А., Головченко О. Цифровізація національного агропромислового комплексу: нові виклики, реалії та перспективи. Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice. 2022. №6(47). с. 388-399. <https://doi.org/10.55643/fcaptp.6.47.2022.3929>
8. Каліна І.І. Концептуальні засади побудови цифровізації аграрного сектору. Ефективна економіка. 2019. № 10. – URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=8232>. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.10.82
9. Лазоренко-Гевель Н.Ю. Створення інформаційних моделей даних моніторингу природних комплексів. Містобудування та територіальне планування. 2014. № 51. С. 275–283.
10. Македон В.В., Байлова О.О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки». 2023. Випуск 47. С. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3
11. Македон В.В., Чабаненко А.В. Факторні складові цифровізації глобальної економіки та макроекономічних систем країн світу. Ефективна економіка. 2022. № 1. – URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=9875>. DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.11
12. Македон В.В., Михайленко О.Г. Управління внутрішніми інвестиційними проектами в регіональному промисловому кластері підприємств. Підприємництво та інновації. 2022. (25). С. 56-63. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9>
13. Руденко М.В. Технології цифрової трансформації сільськогосподарських підприємств. Агросвіт. 2019. №23. С. 8–18. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2019.23.8>
14. Ямелинець Т. Інформаційне ґрунтознавство: монографія. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. 352 с.
15. ArcGIS Desktop 10.8.x system requirements. System Requirements Documentation. Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/system-requirements/latest/arcgis-desktop-system-requirements.htm>.

16. Bacco M., Barsocchi P., Ferro E., Gotta A., Ruggeri M. The Digitisation of Agriculture: A Survey of Research Activities on Smart Farming. Array. 2019. 3-4. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/> .
17. Bhunia G. S., Shit P. K., Sengupta D. Free-open access geospatial data and tools for forest resources management. In: Spatial modeling in forest resources management: rural livelihood and sustainable development. Springer, Cham, 2021. pp. 651–675. DOI: 10.1007/978-3-030-56542-8\_28.
18. Carolan M. Automated agrifood futures: robotics, labor and the distributive politics of digital agriculture. Journal of Peasant Studies. 2020. №47. pp. 184-207. 10.1080/03066150.2019.1584189.
19. Chabaniuk V., Polyvach K. Critical properties of modern geographic information systems for territory management. Cybernetics and Computer Engineering. 2020. No. 3(201). pp. 5–32. DOI:10.15407/kvt201.03.005
20. Makedon V., Mykhailenko O., & Dzyad O. Modification of Value Management of International Corporate Structures in the Digital Economy. European Journal of Management Issues. 2023. 31(1). pp. 50-62. <https://doi.org/10.15421/192305>
21. Ozdogan B., Gacar A., Aktas H. Digital Agriculture Practices in the Context of Agriculture 4.0. Journal of Economics, Finance and Accounting. 2017. Vol. 4. Issue 2. pp. 184-191. Retrieved: <http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.448> .
22. Qin T., Wang L., Zhou Y., Guo L., Jiang G., Zhang L. Digital Technology-and-Services-Driven Sustainable Transformation of Agriculture: Cases of China and the EU. Agriculture. 2022. №12. 297. Retrieved: <https://doi.org/10.3390/agriculture12020297> .

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor **Kyryliuk Volodymyr**,  
**Rozhi Tomas**, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University,  
**Khariv Vladyslav**,  
O.M. Beketov National University of Municipal Economy in Kharkiv

## **GEODETIC PLANNING IN THE AGRICULTURAL LANDSCAPE: CREATION OF DIGITAL MAPS AND MODELS FOR LAND USE OPTIMIZATION**

The article is devoted to the topical issue of geodetic planning in agro-landscape and its importance for efficient land use. The authors review modern methods and technologies for creating digital maps and models of agricultural landscapes based on the use of geographic information systems and aerial

photography from unmanned aerial vehicles. Modern new approaches to geodetic planning within agrolandscapes are investigated. The requirements of the agricultural sector for digital mapping and modeling for the optimal use of land resources are determined. The tools for the formation of digital maps of agro-territories of united territorial communities are substantiated. Proposals for the use of geodetic methods for effective agro-landscape planning are formulated. The main attention is paid to the practical significance of the data obtained for optimizing land use, planning agricultural operations and rational use of land resources. The studied approaches and developments can be useful for farmers, landowners, ecologists and specialists in the field of geodesy. In the course of the study, a methodology and procedure for mapping agricultural landscapes using GIS and aerial survey materials using UAVs were developed. This methodology made it possible to obtain high-quality images of agricultural landscapes and develop a cartographic model in GIS based on them. The approach was successfully tested on the example of the selected model area near the ATC. The created digital map and database are promising for further research of agricultural landscapes. The research clearly shows that the data obtained as a result of UAV surveys is a high-quality source of reliable information. Aerial photography allows you to quickly create an accurate digital terrain model, which can serve as the basis for geographic information systems in the development of a number of thematic maps and terrain models important for the agricultural sector. The geographic information system makes it possible to visualize the main elements of agricultural landscapes as separate layers (e.g., relief, soil-forming rocks) with appropriate detailing of their characteristics in attribute tables. By combining different data sources, GIS allows you to create detailed maps of the agro-ecological conditions of a particular area. GIS can also be used to store information on field work, yields and other indicators, which ensures the rational management of agricultural processes on land plots.

Keywords: digital geodetic planning; digital maps; agro-landscape; unmanned aerial vehicles; mapping, geographic information system; intelligent geospatial systems; topographic and geodetic surveys.

## REFERENCES

1. Aktualni napriamky rozvytku kartohrafii v Ukraini / Za redaktsiieiu Rudenka L.H. Kyiv: In-t heohrafii NAN Ukrainy, 2019. 90 s. {in Ukrainian}.
2. Andrieiev S.M., Horelyk S.I., Nechausov A.S., Saul-Hoze D.K. Zastosuvannia heoinformatsiinykh tekhnolohii dlia pobudovy kartohrafichnykh modelei nebezpechnykh meteorolohichnykh yavlyshch. Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. 2022. №1(67). S. 4–12. DOI: 10.26906/SUNZ.2022.1.004. {in Ukrainian}.

3. Vertel S., Vyshniakov V., Hurelia V., Slastin S., Piskun O., Kharchenko S., Moroz V. Rozrobka metodyky stvorennia i onovlennia kartografichnoi osnovy z vykorystanniam kosmichnykh znimkiv vid suputnykiv «SUPER VIEW-1». *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia*. 2022. №41(1). s. 89–101. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101>. {in Ukrainian}.
4. Hutsul T., Zhezhera I., Tkach V. Osoblyvosti klasyfikatsii ta metodiv vyboru BPLA. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*. 2023. №4(30). S. 201–212. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4\(30\)-201-212](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4(30)-201-212). {in Ukrainian}.
5. Dankevych V.Ie., Dankevych Ye.M. Monitorynh silskohospodarskykh uhid iz zastosuvanniam system dystantsiinoho zonduvannia zemel. *Ekonomika APK*. 2019. №8. S. 27. {in Ukrainian}.
6. Zastosuvannia bezpilotnykh aviatsiinykh system u sferi tsyvilnoho zakhystu: monohrafiia / D.V. Bondar, A.V. Hurnyk, A.O. Lytovchenko, V.V. Khyzhniak, V.L. Shevchenko, D.M. Yadchenko. Kyiv, 2022. 312 s. {in Ukrainian}.
7. Zghurska O., Korchynska O., Rubel K., Kubiv S., Tarasiuk A., Holovchenko O. Tsyfrovizatsiia natsionalnoho ahropromyslovoho kompleksu: novi vyklyky, realii ta perspektyvy. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2022. №6(47). s. 388-399. <https://doi.org/10.55643/fcaptop.6.47.2022.3929>. {in Ukrainian}.
8. Kalina I.I. Kontseptualni zasady pobudovy tsyfrovizatsii ahrarnoho sektoru. *Efektivna ekonomika*. 2019. № 10. – URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8232>. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.10.82. {in Ukrainian}.
9. Lazorenko-Hevel N.Iu. Stvorennia informatsiinykh modelei danykh monitorynhu pryrodnykh kompleksiv. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*. 2014. № 51. S. 275–283. {in Ukrainian}.
10. Makedon V.V., Bailova O.O. Planuvannia i orhanizatsiia vprovadzhennia tsyfrovyykh tekhnolohii v diialnist promyslovykh pidpriemstv. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriiia «Ekonomichni nauky»*. 2023. Vypusk 47. C. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3. {in Ukrainian}.
11. Makedon V.V., Chabanenko A.V. Faktorni skladovi tsyfrovizatsii hlobalnoi ekonomiky ta makroekonomichnykh system krain svitu. *Efektivna ekonomika*. 2022. № 1. – URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9875>. DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.11. {in Ukrainian}.
12. Makedon V.V., Mykhailenko O.H. Upravlinnia vnutrishnimy investytsiinyimi proektamy v rehionalnomu promyslovomu klasteri pidpriemstv. *Pidpriemnytstvo ta innovatsii*. 2022. (25). S. 56-63. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9>. {in Ukrainian}.

13. Rudenko M.V. Tekhnolohii tsyfrovoi transformatsii silskohospodarskykh pidpriemstv. Ahrosvit. 2019. №23. S. 8–18. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2019.23.8>. {in Ukrainian}.
14. Iamelynets T. Informatsiine gruntoznavstvo: monohrafiia. Lviv: LNU im. Ivana Franka, 2022. 352 s. {in Ukrainian}.
15. ArcGIS Desktop 10.8.x system requirements. System Requirements Documentation. Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/system-requirements/latest/arcgis-desktop-system-requirements.htm>. {in English}
16. Bacco M., Barsocchi P., Ferro E., Gotta A., Ruggeri M. The Digitisation of Agriculture: A Survey of Research Activities on Smart Farming. Array. 2019. 3-4. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/>. {in English}
17. Bhunia G. S., Shit P. K., Sengupta D. Free-open access geospatial data and tools for forest resources management. In: Spatial modeling in forest resources management: rural livelihood and sustainable development. Springer, Cham, 2021. pp. 651–675. DOI: 10.1007/978-3-030-56542-8\_28. {in English}
18. Carolan M. Automated agrifood futures: robotics, labor and the distributive politics of digital agriculture. Journal of Peasant Studies. 2020. №47. pp. 184-207. 10.1080/03066150.2019.1584189. {in English}
19. Chabaniuk V., Polyvach K. Critical properties of modern geographic information systems for territory management. Cybernetics and Computer Engineering. 2020. No. 3(201). pp. 5–32. DOI:10.15407/kvt201.03.005. {in English}
20. Makedon V., Mykhailenko O., & Dzyad O. Modification of Value Management of International Corporate Structures in the Digital Economy. European Journal of Management Issues. 2023. 31(1). pp. 50-62. <https://doi.org/10.15421/192305>. {in English}
21. Ozdogan B., Gacar A., Aktas H. Digital Agriculture Practices in the Context of Agriculture 4.0. Journal of Economics, Finance and Accounting. 2017. Vol. 4. Issue 2. pp. 184-191. Retrieved: <http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.448>. {in English}
22. Qin T., Wang L., Zhou Y., Guo L., Jiang G., Zhang L. Digital Technology-and-Services-Driven Sustainable Transformation of Agriculture: Cases of China and the EU. Agriculture. 2022. №12. 297. Retrieved: <https://doi.org/10.3390/agriculture12020297>. {in English}