

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису
УДК 528.9:528.94

ОЦІНКА ДАНИХ ДЗЗ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВЕЛИКОМАШТАБНИХ КАРТ

Рівень вищої освіти - другий (магістерський)

Галузь знань 10 - «Природничі науки»

Спеціальність 103 - «Науки про Землю»

Освітня програма - «Картографія та ГІС»

Випускна кваліфікаційна робота магістра
студента 2 курсу магістратури
Шленського Іллі Миколайовича

Науковий керівник -
кандидат географічних наук, доцент
Курач Тамара Миколаївна

Допущено до захисту
Протокол засідання кафедри № ____ від " ____ " _____ 2025 року
Завідувач кафедри проф. Даценко Л.М.

Київ – 2025

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ	
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДЗЗ У КАРТОГРАФІЇ	5
1.1 Класифікація даних дистанційного зондування	5
1.2 Основні параметри даних: розрізненість, точність, спектральні характеристики	7
1.3 Методи попереднього оброблення та корегування аерофотознімків	10
1.4 Сучасні джерела даних та платформи для отримання аерознімків	17
РОЗДІЛ 2. АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ КАРТ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДЗЗ	23
2.1 Характеристика великомасштабних карт: вимоги та стандарти	23
2.2 Технології інтеграції аерофотознімків у картографічне моделювання	25
2.3 Порівняльний аналіз традиційних методів та сучасних технологій створення карт	30
2.4 Інструменти та програмне забезпечення для генерації карт	33
РОЗДІЛ 3. ДАНІ ДЗЗ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНОГО КАРТОГРАФІЧНОГО ПРОДУКТУ	38
3.1 Процес збору та попередня обробка аерофотознімків	38
3.2 Оцінка якості даних ДЗЗ та результатів автоматичної кластеризації	42
3.3 Вплив параметрів аерофотознімків на якість картографічного продукту	46
3.4 Обмеження застосування сучасних технологій у створенні карт	53
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

Актуальність дослідження визначалася зростаючими вимогами до точності, деталізації та оновлення великомасштабних карт, що використовувалися у містобудуванні, кадастрових роботах, природокористуванні та інших галузях. Традиційні методи картографування потребували значних витрат часу та ресурсів, що обмежувало можливості їх оперативного оновлення. Використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) забезпечувало отримання просторової інформації високої роздільної здатності з мінімальними витратами, що дозволяло підвищити ефективність створення великомасштабних карт. Дослідження виконувалося з метою оцінки можливостей та обмежень використання ДЗЗ для картографування, а також розробки рекомендацій щодо підвищення якості картографічної продукції.

Метою дослідження було визначення ефективності застосування даних ДЗЗ у процесі створення великомасштабних карт та аналіз їх можливостей порівняно з традиційними картографічними методами. Досягнення поставленої мети забезпечувалося виконанням таких завдань:

- 1) аналіз характеристик основних джерел ДЗЗ, що використовувалися для великомасштабного картографування;
- 2) оцінка отриманих даних та їх придатності для створення топографічних матеріалів;
- 3) порівняння різних методів обробки супутникових зображень;
- 4) виявлення основних факторів, що впливали на якість картографічної продукції, створеної за допомогою ДЗЗ;
- 5) формування рекомендацій щодо використання дистанційного зондування для створення картографічних матеріалів.

Об'єктом дослідження виступали дані дистанційного зондування Землі, які використовувалися для створення великомасштабних карт.

Предметом дослідження є методи обробки матеріалів ДЗЗ для формування картографічної інформації.

Дослідження базувалося на використанні методів аналізу просторових даних, математичної статистики та автоматизованої класифікації. Використовувалися геоінформаційні технології для обробки супутникових зображень, алгоритми автоматизованої класифікації космознімків.

Структура роботи включає вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел та додатки.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДЗЗ У КАРТОГРАФІЇ

1.1. Класифікація даних дистанційного зондування

Дані дистанційного зондування Землі класифікувалися за різними критеріями, що дозволяло визначити їхні характеристики, особливості використання та придатність до застосування в картографічних дослідженнях. Одним із основних критеріїв класифікації було джерело отримання даних, що дозволяло виділити аерофотознімки, космічні знімки та дані, отримані за допомогою безпілотних літальних апаратів. Аерофотознімки отримувалися шляхом фотографування земної поверхні з літаків або гелікоптерів, що дозволяло отримувати детальні зображення території з високою роздільною здатністю. Космічні знімки формувалися завдяки реєстрації електромагнітного випромінювання за допомогою супутникових сенсорів і характеризувалися широким спектральним охопленням, що забезпечувало можливість аналізу різних характеристик поверхні. Безпілотні літальні апарати використовувалися для отримання оперативних даних у високій роздільній здатності, що було особливо актуальним для локальних досліджень і моніторингу змін на місцевому рівні.

Другим критерієм класифікації було просторове розрізнення, що визначало рівень деталізації знімків. Виділялися дані високої, середньої та низької просторової роздільної здатності. Високороздільні знімки мали деталізацію від 0,3 до 2 метрів на піксель, що забезпечувало можливість використання у великомасштабному картографуванні та детальних просторових аналізах. Середньороздільні дані мали роздільну здатність від 2 до 30 метрів і застосовувалися для створення регіональних карт і тематичних досліджень. Низькороздільні дані мали роздільну здатність понад 30 метрів на піксель і використовувалися для глобального моніторингу та аналізу макропроцесів на поверхні Землі.

Спектральні характеристики знімків визначали ще один критерій класифікації, що передбачав розподіл даних за кількістю спектральних діапазонів, у яких проводилася зйомка [11]. Виділялися панхроматичні, мультиспектральні та гіперспектральні зображення. Панхроматичні дані містили інформацію в одному широкому спектральному діапазоні, що забезпечувало високу просторову роздільну здатність, але обмежувало можливості спектрального аналізу. Мультиспектральні знімки складалися з кількох окремих діапазонів, що дозволяло аналізувати різні властивості об'єктів, такі як рослинний покрив, водні об'єкти та міські території. Гіперспектральні дані містили інформацію у сотнях вузьких спектральних каналів, що забезпечувало можливість детального спектрального аналізу та ідентифікації матеріалів і речовин на поверхні Землі.

За часовими характеристиками виділялися одночасні та багаточасові дані. Одночасні знімки фіксували стан території в певний момент часу, що дозволяло використовувати їх для створення базових карт і планування територій. Багаточасові дані включали серію знімків, отриманих у різні періоди, що забезпечувало можливість моніторингу змін на поверхні Землі, аналізу динамічних процесів, виявлення антропогенних впливів і природних змін. Багаточасові зображення широко застосовувалися у вивченні змін лісових масивів, урбанізації, динаміки річкових систем і сільськогосподарських процесів.

За типом платформи дані дистанційного зондування поділялися на супутникові, авіаційні та наземні. Супутникові знімки отримувалися з орбітальних апаратів, що забезпечувало глобальне покриття та регулярне оновлення інформації. Авіаційні дані збиралися з літаків або безпілотників, що забезпечувало високу деталізацію зображень для локальних і регіональних досліджень [12]. Наземні системи дистанційного зондування включали лазерні сканери, фотограмметричні камери та радіолокаційні сенсори, які застосовувалися для отримання детальних тривимірних моделей території.

Ще одним критерієм класифікації було використання активних і пасивних методів зондування. Пасивні системи фіксували природне електромагнітне випромінювання від об'єктів і включали оптичні, інфрачервоні та мікрохвильові сенсори. Ці системи залежали від природного освітлення та були чутливими до погодних умов. Активні системи передбачали випромінювання сигналу та реєстрацію його відбиття, що дозволяло отримувати дані незалежно від часу доби та атмосферних умов. До активних методів відносилися радіолокаційне зондування, лазерне сканування (LiDAR) та сонаРНі технології, що застосовувалися для підводного картографування.

За методами обробки та представлення дані ДЗЗ поділялися на растрові та векторні. Растрові дані містили інформацію у вигляді піксельної сітки, де кожен піксель відповідав певному значенню спектральної яскравості. Векторні дані представляли інформацію у вигляді геометричних об'єктів, таких як точки, лінії та полігони, що використовувалися для створення картографічних моделей та об'єктно-орієнтованого аналізу. Обидва типи даних застосовувалися у геоінформаційних системах для аналізу та моделювання просторових процесів[13].

Таким чином, класифікація даних дистанційного зондування базувалася на різних критеріях, що визначали їх джерело, просторові, спектральні та часові характеристики, методи отримання та обробки. Ці параметри впливали на можливості використання ДЗЗ для створення великомасштабних карт і визначали їхню ефективність у вирішенні картографічних завдань.

1.2. Основні параметри даних: розрізненість, точність, спектральні характеристики

Розрізненість, точність і спектральні характеристики даних ДЗЗ визначали основні параметри, що впливали на якість та придатність отриманих матеріалів для створення великомасштабних карт. Аналіз цих параметрів

здійснювався з метою оцінки відповідності вхідних даних встановленим вимогам картографічного виробництва.

Розрізненість даних ДЗЗ поділялася на чотири основні види: просторову, спектральну, радіометричну та часову. Просторова розрізненість визначалася розміром найменшого об'єкта, що реєструвався у межах одного пікселя зображення, і безпосередньо залежала від роздільної здатності сенсорів, установлених на супутниках або аерофотознімальних платформах. Висока просторова розрізненість відповідала невеликим розмірам пікселя, що дозволяло отримувати зображення з детальною структурою місцевості. При низькій розрізненості втрата інформації про дрібні об'єкти зменшувала точність картографічних матеріалів, що обмежувало можливості їх використання у великомасштабному картографуванні. Просторові параметри супутникових знімків визначали ефективність розпізнавання різних типів земної поверхні та дозволяли виконувати аналітичні операції, пов'язані з оцінкою рельєфу, інфраструктури або природних утворень [14].

Спектральна розрізненість визначала здатність сенсорів реєструвати випромінювання в різних діапазонах електромагнітного спектра. Супутникові сенсори фіксували відбиті або випромінювані хвилі у певних спектральних діапазонах, що включали ультрафіолетовий, видимий, інфрачервоний та мікрохвильовий діапазони. Кількість спектральних каналів і ширина кожного діапазону впливали на точність розпізнавання матеріалів поверхні, розрізнення різних типів покриття та визначення фізико-хімічних характеристик об'єктів. Спектральна розрізненість дозволяла проводити класифікацію рослинного покриву, аналіз стану водних об'єктів, виявлення антропогенних змін ландшафту та оцінку геологічних структур. При зменшенні ширини спектральних каналів підвищувалася точність визначення спектральних характеристик об'єктів, що дозволяло застосовувати отримані дані у більш детальних аналітичних дослідженнях.

Радіометрична розрізненість характеризувалася кількістю градацій яскравості, які фіксувалися сенсорами. Вона визначала здатність приладів

розпізнавати відмінності у відбитому або випроміненому випромінюванні в межах кожного спектрального каналу. Висока радіометрична розрізненість забезпечувала точніше відображення змін інтенсивності сигналу, що сприяло підвищенню точності тематичного дешифрування знімків. При цьому дані з низькою радіометричною розрізненістю могли спотворювати тональні характеристики об'єктів і ускладнювали ідентифікацію природних та штучних елементів ландшафту [15].

Часова розрізненість визначала періодичність оновлення даних для одного і того ж району, що впливало на можливість моніторингу динамічних процесів на поверхні Землі. Чим меншим був інтервал між отриманням знімків одного і того ж місця, тим ефективніше можна було проводити аналіз змін природного середовища, стану сільськогосподарських угідь або розширення міської забудови. Для створення великомасштабних карт значення мала можливість отримання актуальних даних, що відповідали сучасному стану території, що картографувалася.

Точність даних ДЗЗ розглядалася як комплексний показник, що включав геометричну, спектральну, радіометричну та тематичну точність. Геометрична точність визначала відповідність координатної прив'язки зображення до реальних географічних координат. Вона залежала від параметрів знімальної апаратури, точності орієнтації супутникової платформи та методів геометричної корекції. Високоточні зображення вимагали корекції за допомогою опорних точок та цифрових моделей рельєфу, що дозволяло зменшувати геометричні спотворення.

Спектральна точність характеризувала рівень відповідності виміряних значень спектрального відбиття реальним спектральним характеристикам об'єктів. Вона залежала від калібрування сенсорів та точності визначення спектральних характеристик. Висока спектральна точність була необхідною для надійного дешифрування покриття території, класифікації типів рослинності та оцінки екологічного стану об'єктів [16].

Радіометрична точність визначалася точністю вимірювання енергетичних характеристик відбитого або випроміненого сигналу. Вона впливала на коректність інтерпретації тональних характеристик зображень та якість тематичного аналізу даних. Зниження радіометричної точності призводило до втрати інформації про градієнти яскравості, що могло впливати на ідентифікацію природних і штучних об'єктів.

Тематична точність визначала коректність інтерпретації об'єктів та явищ на основі отриманих знімків. Вона залежала від алгоритмів дешифрування, використання додаткових даних і кваліфікації спеціалістів. Висока тематична точність була необхідною для створення великомасштабних карт, оскільки вона забезпечувала достовірність інформації про елементи рельєфу, інфраструктуру та землекористування.

Аналіз спектральних характеристик знімків передбачав оцінку спектрального відгуку різних типів поверхні. Визначалися параметри відбиття або поглинання випромінювання у різних діапазонах, що дозволяло створювати класифікаційні моделі та розробляти алгоритми автоматичного розпізнавання об'єктів. Спектральні характеристики враховувалися при обробці знімків, виконанні корекції атмосферного впливу та підготовці вихідних даних для картографічного моделювання.

Використання даних ДЗЗ для створення великомасштабних карт вимагало комплексного підходу до оцінки їх параметрів. Висока розрізненість, точність і надійність спектральних характеристик забезпечували можливість детального картографування території, що сприяло підвищенню точності картографічної продукції [17].

1.3. Методи попереднього оброблення та коригування аерофотознімків

Попереднє оброблення та коригування аерофотознімків здійснювалося з метою підвищення їхньої якості, усунення спотворень, викликаних особливостями зйомки, атмосферними впливами та характеристиками оптичної

системи, а також для забезпечення відповідності отриманих зображень встановленим картографічним вимогам. На першому етапі виконувалася радіометрична корекція, яка включала виправлення неоднорідностей яскравості та контрасту, спричинених варіаціями освітлення, атмосферним розсіюванням і нерівномірністю чутливості сенсорів. Застосовувалися методи нормалізації гістограми, корекції гамма-кривої та калібрування відносної яскравості, що дозволяло покращити візуальні характеристики знімків і забезпечити їхню однорідність. Наступним етапом було геометричне вирівнювання, яке передбачало корекцію деформацій, зумовлених рухом носія, нахилом камери та впливом рельєфу місцевості. Виконувалися трансформації зображення за допомогою афінного перетворення, поліноміальної регресії та триангуляційних методів, що дозволяло узгодити отримані знімки з єдиною картографічною системою координат.

Далі проводилося калібрування, яке полягало у виправленні внутрішніх спотворень оптичної системи, таких як дисторсія, варіації фокусної відстані та хроматичні аберації, що досягалося шляхом застосування параметричних моделей і алгоритмів корекції геометричних аномалій. Орторектифікація здійснювалася для усунення перспективних спотворень, спричинених рельєфом місцевості та нахилом сенсора, шляхом використання цифрових моделей рельєфу, які дозволяли скоригувати положення кожного пікселя відповідно до його висотного значення. На наступному етапі виконувалося мозаїкування, яке передбачало об'єднання окремих аерофотознімків у єдине зображення з плавним переходом між ними, балансуванням яскравості, кольору та освітлення, що забезпечувало безшовність отриманого матеріалу. Завершальним етапом була фільтрація шумів, що включала усунення випадкових збурень, спричинених електронними перешкодами, атмосферними впливами та особливостями сенсорної апаратури, із застосуванням методів згладжувальної обробки, середньозваженої фільтрації та хвилькового перетворення, що покращувало чіткість зображення та підвищувало його інформативність. Сукупність цих методів забезпечувала підвищення якості

аерофотознімків, покращення точності геопросторової інформації та відповідність отриманих даних картографічним стандартам [18].

Радіометрична корекція передбачала виправлення неоднорідностей яскравості та контрасту, які виникали через варіації освітлення, атмосферне розсіювання та нерівномірність чутливості сенсорів, що впливало на якість аерофотознімків і точність подальшого аналізу. У процесі цієї процедури використовувалися кілька основних методів, спрямованих на усунення радіометричних спотворень та покращення узгодженості даних між окремими знімками. Метод нормалізації гістограми забезпечував вирівнювання розподілу яскравості кожного зображення, що дозволяло збільшити деталізацію темних і світлих областей, зменшуючи надмірну контрастність та покращуючи видимість слабо виражених об'єктів. Корекція гамма-кривої полягала у зміні нелінійності яскравісного відгуку, що давало змогу збільшити або зменшити контрастність окремих ділянок зображення, підлаштовуючи його під особливості сприйняття людського ока або вимоги автоматизованих алгоритмів аналізу. Процедура калібрування відносної яскравості включала визначення систематичних відмінностей між знімками та їхнє усунення шляхом вирівнювання рівнів освітленості, що було особливо при об'єднанні кількох аерофотознімків в єдине мозаїчне покриття.

Виправлення градієнтів освітлення здійснювалося шляхом вибору контрольних точок з відомими радіометричними характеристиками, розрахунку середніх значень яскравості та подальшого балансування рівнів сигналу, що дозволяло усунути локальні варіації, спричинені нерівномірністю освітлення або оптичними артефактами. У разі використання багатоспектральних знімків додатково виконувалася міжканальна корекція, яка забезпечувала узгодженість сигналів у різних спектральних діапазонах, запобігаючи появі кольорових аномалій та покращуючи якість індексації вегетаційного покриву, визначення вологості ґрунту та інших тематичних аналізів [19]. Для цього застосовувалися методи нормалізації відносної яскравості каналів, побудова спектральних профілів контрольних ділянок та використання корекційних коефіцієнтів, що

розраховувалися на основі даних калібрувальних мішеней або природних еталонних поверхонь. Комплексне використання цих методів дозволяло забезпечити високу точність радіометричних характеристик аерофотознімків, що було для подальшого картографічного аналізу та цифрової обробки зображень.

Геометричне вирівнювання аерофотознімків полягало у виправленні деформацій, які виникали внаслідок впливу різних факторів, таких як особливості руху носія, зміни швидкості та висоти польоту, коливання та вібрації платформи, нахил камери відносно земної поверхні, а також рельєф місцевості, який спричиняв перспективні спотворення. Процес геометричного вирівнювання складався з кількох етапів, серед яких визначення контрольних точок, розрахунок параметрів трансформації та безпосереднє коригування зображення. Контрольні точки, що використовувалися для корекції, визначалися на основі наземних вимірювань або даних глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), що дозволяло забезпечити високу точність прив'язки знімків до геодезичних координат [20].

Після встановлення контрольних точок проводився розрахунок трансформаційних параметрів, що включали коефіцієнти зміщення, обертання, масштабування та викривлення, необхідні для приведення зображення до єдиної координатної системи. Виконувалася трансформація зображення до єдиної проєкційної системи, що забезпечувало сумісність аерофотознімків з іншими картографічними матеріалами, включаючи цифрові моделі рельєфу, кадастрові плани та геоінформаційні бази даних. Для підвищення точності вирівнювання проводилася додаткова перевірка відповідності зображення реальним координатам контрольних точок, що дозволяло мінімізувати залишкові похибки. Після остаточного узгодження геометричних параметрів здійснювався процес ресемплінгу, під час якого перераховувалися значення яскравості пікселів з урахуванням нових координат, що дозволяло уникнути спотворень та забезпечувало збереження деталізації зображення. Використання цих методів дозволяло отримати аерофотознімки, що відповідали

картографічним вимогам та могли використовуватися для створення великомасштабних карт із високим рівнем точності.

Калібрування аерофотознімків передбачало виправлення внутрішніх спотворень, що виникали внаслідок особливостей конструкції та роботи оптичної системи, використовуваної для зйомки. Процес калібрування здійснювався шляхом застосування параметричних моделей, що описували геометричні й радіометричні характеристики зображення та дозволяли відновити його коректне положення у просторі. Для коригування дисторсії використовувалися моделі радіального та тангенціального зміщення, які враховували відхилення положення точок на знімку залежно від відстані від його центральної області. Корекція здійснювалася шляхом обчислення поправок для кожного пікселя та інтерполяції значень яскравості з урахуванням зміненої геометрії зображення. Варіації фокусної відстані компенсувалися шляхом перерахунку оптичних параметрів та масштабування зображення таким чином, щоб забезпечити відповідність реальним розмірам об'єктів [21].

Для усунення сферичної аберації, яка спричиняла нерівномірне розмиття зображення по краях, застосовувалися коригувальні коефіцієнти, що визначалися на основі тестових знімків з відомими контрольними об'єктами. Коматична аберація, яка призводила до асиметричних спотворень світлових точок, виправлялася шляхом моделювання форми спотворення та застосування відповідних коригувальних функцій. Хроматичні аберації, що проявлялися у вигляді кольорових контурів навколо контрастних об'єктів, усувалися шляхом розділення спектральних каналів, аналізу зміщення кожного кольорового компонента та коригування їхнього розташування для забезпечення точного накладання каналів. За винятком цього, проводилося додаткове калібрування яскравості та контрасту, що дозволяло усунути нерівномірності освітлення, спричинені варіаціями чутливості сенсорів та умовами експозиції під час зйомки. Застосування методів калібрування забезпечувало підвищення точності аерофотознімків, усувало внутрішні спотворення та дозволяло використовувати

отримані зображення для високоточних картографічних та геоінформаційних досліджень.

Орторектифікація полягала у виправленні перспективних спотворень, які виникали внаслідок варіацій рельєфу місцевості та нахилу камери під час зйомки, що спричиняло зміщення об'єктів на знімку відносно їхнього реального положення. Для виконання цього процесу використовувалися цифрові моделі рельєфу (ЦМР), що містили дані про висоти точок місцевості, дозволяючи точно враховувати топографічні особливості території під час корекції. Виконувалася перерахункова трансформація координат кожного пікселя на основі математичних моделей, що враховували параметри зйомки, зокрема фокусну відстань камери, кут нахилу сенсора, висоту носія під час зйомки та розташування контрольних точок. Процедура включала інтерполяцію висотних значень для кожного пікселя, після чого проводилося коригування проєкції таким чином, щоб кожна точка на отриманому зображенні відповідала своєму справжньому географічному положенню без перспективних спотворень. Використовувалися різні методи інтерполяції, зокрема метод зворотного зваженого дистанціювання та кубічна згортка, що дозволяло отримати високу точність відповідності знімка картографічним координатам. За винятком того, проводилася оцінка точності орторектифікації шляхом порівняння координат об'єктів на отриманих ортофотознімках із наземними контрольними точками, що дозволяло виявити можливі залишкові спотворення та при необхідності скоригувати їх.

Мозаїкування здійснювалося для об'єднання окремих аерофотознімків у єдине безшовне зображення, що забезпечувало створення великомасштабних картографічних матеріалів із узгодженою геометрією та рівномірною радіометричною характеристикою. Під час цього процесу виконувалося попереднє вирівнювання окремих знімків за координатами контрольних точок, після чого проводилося балансування яскравості та кольору для уникнення видимих розбіжностей між суміжними фрагментами. Застосовувалися методи автоматичного підбору коефіцієнтів яскравості та контрасту для кожного

знімка, а також глобальне калібрування радіометричних характеристик, що дозволяло забезпечити однорідність кінцевого зображення [22]. Для усунення різких переходів між окремими знімками використовувалися алгоритми згладжування та змішування градієнтів, що дозволяло забезпечити поступовий перехід між фрагментами без різких межових контрастів. Додатково проводилося визначення оптимального положення зон стикування між знімками, що здійснювалося на основі аналізу локальних відмінностей яскравості та контрасту. У процесі мозаїкування застосовувалися методи мінімізації похибок, викликаних варіаціями експозиції, кутів огляду та атмосферних умов під час зйомки, що дозволяло отримати фінальне зображення з високою точністю та візуальною цілісністю.

Фільтрація шумів була етапом попередньої обробки аерофотознімків, що передбачала усунення випадкових збурень, які могли виникати через особливості роботи сенсорної апаратури, вплив електронних перешкод або змінні атмосферні умови під час зйомки. Ці шуми призводили до погіршення якості зображення, зниження точності розпізнавання об'єктів і збільшення кількості артефактів, що ускладнювали подальший аналіз. Для їх усунення застосовувалися різні методи цифрової обробки, зокрема середньозважена фільтрація, яка згладжувала локальні відхилення яскравості шляхом усереднення значень сусідніх пікселів, що дозволяло ефективно усувати високочастотні шуми без значного розмиття контурів об'єктів. За винятком того, використовувалися адаптивні згладжувальні алгоритми, які автоматично підлаштовували інтенсивність фільтрації залежно від локальної варіації яскравості, забезпечуючи збереження дрібних деталей у менш зашумлених ділянках і більш агресивне придушення шумів у проблемних зонах. Завдяки використанню цих методів підвищувалася інформативність аерофотознімків, що сприяло покращенню точності подальших аналітичних обчислень і картографічного моделювання.

Застосування комплексних методів попереднього оброблення та коригування аерофотознімків забезпечувало значне покращення якості вхідних

даних, які використовувалися для створення великомасштабних картографічних матеріалів та просторового аналізу місцевості. Оптимізація параметрів обробки дозволяла зменшити вплив зовнішніх факторів, таких як варіації освітлення, атмосферне розсіювання, геометричні деформації та випадкові спотворення, що могли негативно позначатися на точності отриманих даних. Радіометрична корекція усувала неоднорідності яскравості та контрасту, геометричне вирівнювання компенсувало спотворення, спричинені нахилом камери та рельєфом, орторектифікація дозволяла отримати картографічно точні знімки без перспективних змін, а мозаїкування забезпечувало створення безшовного зображення великої площі з рівномірною кольоровою гамою. Впровадження комплексного підходу до обробки аерофотознімків значно підвищувало точність геопросторової інформації та забезпечувало відповідність отриманих матеріалів вимогам картографічного виробництва, що сприяло ефективному використанню цих даних у геоінформаційних системах, землевпорядкуванні, моніторингу навколишнього середовища та містобудівному плануванні [23].

1.4. Сучасні джерела даних та платформи для отримання аерофотознімків

У процесі отримання аерофотознімків використовувалися різні джерела даних та платформи, що забезпечували необхідну точність, просторову розрізненість та частоту оновлення зображень залежно від поставлених завдань. Зокрема, пілотовані літаки застосовувалися для масштабної зйомки великих територій із високою деталізацією, що дозволяло отримувати зображення з роздільною здатністю, необхідною для картографічних та геодезичних досліджень. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) використовувалися для зйомки територій меншого масштабу, де була гнучкість у виборі маршруту, можливість швидкого збору даних та висока точність, особливо у важкодоступних районах або на об'єктах, що вимагають оперативного моніторингу. Супутникові системи дистанційного зондування забезпечували отримання зображень

великої площі, що дозволяло проводити глобальні дослідження та спостереження за змінами навколишнього середовища у динаміці, хоча вони поступалися за роздільною здатністю аерофотознімкам, отриманим за допомогою літаків чи БПЛА. Спеціалізовані аеростати, оснащені сучасними сенсорами, застосовувалися у випадках, коли необхідно було здійснювати довготривале спостереження за певною територією, наприклад, для екологічного моніторингу або спостереження за міською інфраструктурою. Вибір конкретного джерела даних визначався вимогами до просторового розрізнення, частоти оновлення зображень, масштабу зйомки та економічної доцільності, що дозволяло оптимізувати процес збору інформації відповідно до поставлених цілей дослідження.

Аерофотознімки, отримані з пілотованих літаків, використовувалися для виконання високоточних картографічних робіт та створення детальних цифрових моделей місцевості, що є необхідним для масштабних геодезичних та інженерних проектів. Для цього авіаційні платформи оснащувалися спеціалізованими аерофотокамерами високої роздільної здатності, які дозволяли отримувати зображення з геометричною точністю, що забезпечувала можливість застосування цих знімків для картографування з великим масштабом, зокрема для створення топографічних карт та планів [24]. Використовувалися цифрові аерофотокамери з матрицями великого формату, що дозволяло зберігати високу якість зображень та мінімізувати оптичні спотворення, які могли б виникати при зйомці з повітря. Завдяки цьому, кожен знімок мав чітку та детальну структуру, що забезпечувало точність і коректність подальших обчислень. Зйомка проводилась за чітко визначеними маршрутами, що передбачали обов'язкове перекриття суміжних кадрів для кожної зони зйомки, що дозволяло отримувати достатньо інформації для створення стереопар. Ці стереопари, у свою чергу, використовувались для фотограмметричної обробки, що дозволяло створювати точні 3D-моделі місцевості з високим рівнем деталізації, що особливо для визначення рельєфу, планування будівельних об'єктів та проведення наукових досліджень.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали інструментом для отримання високодеталізованих аерофотознімків на локальних територіях, зокрема у випадках, коли потрібна висока точність і деталізація зображень, а також швидкість збору даних. Для виконання таких зйомок використовувалися різні типи БПЛА, зокрема мультикоптери та фіксованокрилі дрони. Мультикоптери, завдяки своїй маневреності та здатності до вертикального зльоту і посадки, ідеально підходять для зйомки в обмежених просторах, таких як міські райони чи складні ландшафти, де традиційні літаки можуть бути менш ефективними. Додаток Д. Фіксованокрилі дрони використовуються для зйомки великих територій, де швидкість польоту і висока стабільність. Обидва типи БПЛА дозволяють проводити зйомку з високою просторовою роздільною здатністю, що особливо для агрономічних, екологічних та інженерних досліджень. Оптичні сенсори, встановлені на борту БПЛА, забезпечують можливість отримання спектральної інформації в різних діапазонах, включаючи видимий спектр, ближній інфрачервоний та термальний діапазони. Це дозволяє виконувати багатофункціональну зйомку, включаючи моніторинг стану рослин, виявлення температурних аномалій чи оцінку вологості ґрунтів. Для навігації та точного позиціонування БПЛА використовуються системи глобального навігаційного супутникового зв'язку (GNSS), які забезпечують високу точність визначення координат в реальному часі. У поєднанні з інерціальними навігаційними системами (INS) це дозволяє досягати необхідної точності в позиціонуванні навіть в умовах складної місцевості або при поганих погодних умовах. Обробка даних, отриманих з БПЛА, включає кілька етапів, таких як калібрування знімків для корекції геометричних спотворень, орторектифікацію для приведення зображень до єдиного масштабу та мозаїкування, що дозволяє об'єднати знімки в єдине покриття. Останнім етапом є аналітична інтерпретація даних, яка дозволяє отримувати необхідну інформацію для прийняття рішень у різних сферах, таких як сільське господарство, екологічний моніторинг, урбаністика чи земельне планування [25].

Супутникові системи дистанційного зондування є інструментом для отримання аерофотознімків, які охоплюють великі території з можливістю регулярного оновлення даних, що особливо для спостереження за змінами навколишнього середовища та моніторингу земельних ресурсів. Для цього використовувалися як комерційні, так і державні супутникові платформи, що надають дані з високою просторовою роздільною здатністю, здатні забезпечити точність та деталізацію, необхідні для різноманітних досліджень. Одними з основних джерел супутникових аерофотознімків є платформи Landsat, Sentinel, WorldView, QuickBird, GeoEye та Pleiades, кожна з яких має свої особливості, залежно від цілей зйомки та потреб користувачів. Супутникові платформи, такі як Landsat і Sentinel, надають дані з роздільною здатністю від 10 до 30 м, що є достатнім для моніторингу великих територій, наприклад, для оцінки змін ландшафтів чи досліджень у галузі сільського господарства. Натомість супутники WorldView, QuickBird, GeoEye та Pleiades здатні забезпечити знімки з роздільною здатністю від 30 см до 2 м, що дозволяє отримувати більш детальні зображення, які використовуються для міського планування, оцінки інфраструктури та досліджень на більш локальному рівні.

Спектральний діапазон супутникових знімків включає різноманітні канали, такі як ультрафіолетові, видимі, ближні інфрачервоні, середньохвильові інфрачервоні та теплові канали, що дозволяє здійснювати багатфункціональну зйомку для різних цілей, від аналізу рослинності до вивчення температурних аномалій та інших фізичних процесів на поверхні Землі. Отримані супутникові дані, перед їх використанням, проходять попередню обробку, включаючи радіометричну та геометричну корекцію. Радіометрична корекція забезпечує усунення атмосферних спотворень, таких як ефекти, спричинені розсіюванням або абсорбцією світла в атмосфері, що дозволяє отримати більш точні значення яскравості та кольору на зображеннях. Геометрична корекція гарантує, що отримані знімки відповідають географічним координатам, що для точного позиціонування об'єктів на карті та використання даних у геоінформаційних системах (ГІС). Ці корекції дозволяють забезпечити високий рівень точності

при аналізі супутникових знімків, що робить їх інструментом для наукових досліджень та практичних застосувань.

Аеростати та стратостати стали ефективними інструментами для аерофотозйомки територій, де використання пілотованої авіації чи безпілотних літальних апаратів (БПЛА) було обмеженим, наприклад, через погодні умови, висоту місцевості або обмеження по доступу. Завдяки своїй високій стабільності аеростати дозволяли проводити довготривалі зйомки з фіксованої точки, що є для моніторингу змін на місцевості, особливо у випадках, коли необхідно отримати серію зображень з однієї позиції за тривалий час. Це знижує вплив змін у погодних умовах або підвітрових ефектах, які можуть виникати при використанні традиційних літальних засобів. Аеростати обладнувались камерами високої роздільної здатності, що дозволяло отримувати чіткі і детальні знімки з великих висот, що особливо для картографії, екологічного моніторингу та сільськогосподарських досліджень. За винятком того, для збору більш комплексної інформації використовувалися багатоспектральні сенсори, здатні фіксувати зображення в різних спектральних діапазонах, таких як видимий, інфрачервоний і тепловий спектр. Це дозволяє отримати дані, що є корисними для досліджень стану рослинності, моніторингу навколишнього середовища або вивчення температурних аномалій на місцевості. Технології стабілізації, що використовуються на аеростатах, зменшують вплив вітрових коливань, що дозволяє забезпечити високу якість знімків без потреби в складній подальшій корекції. Завдяки таким технологічним рішенням аеростати стають надійними і точними платформами для отримання даних у випадках, коли інші методи зйомки можуть бути менш ефективними або практичними [27].

Для доступу до аерофотознімків використовувалися спеціалізовані онлайн-платформи та геоінформаційні сервіси, які надають широкий спектр даних про поверхню Землі, що дозволяють дослідникам та користувачам здійснювати детальний аналіз територій на основі супутникових та аерофотографічних зображень. Серед таких ресурсів є як комерційні, так і

відкриті платформи, які пропонують доступ до архівів знімків за різними часовими інтервалами та спектральними діапазонами. До основних платформ, що використовуються для цієї мети, належать Google Earth Engine, USGS Earth Explorer, ESA Copernicus Open Access Hub, NASA Worldview, Airbus OneAtlas та Hexagon Smart M.App. Кожен з цих сервісів має свої особливості в плані доступу до даних, зокрема Google Earth Engine забезпечує потужні інструменти для обробки та аналізу великих обсягів супутникових даних з різних джерел, що дозволяє виконувати комплексні дослідження за допомогою хмарних обчислень. USGS Earth Explorer і ESA Copernicus Open Access Hub надають доступ до даних з супутників Landsat і Sentinel, що є незамінними для проведення довготривалих досліджень і моніторингу змін на Землі. NASA Worldview дає змогу оперативно отримувати знімки в реальному часі, що є для моніторингу природних катастроф чи інших екологічних явищ. Airbus OneAtlas і Hexagon Smart M.App, у свою чергу, пропонують платні послуги з доступом до знімків високої роздільної здатності для більш точних і детальних аналізів на локальному рівні.

За винятком того, ці сервіси містять інструменти для автоматизованого аналізу, що дозволяють виконувати класифікацію об'єктів на зображеннях, оцінювати зміни на територіях в часі, а також інтегрувати отримані дані з геоінформаційними системами (ГІС) для подальшого картографування, моделювання та створення точних просторових аналізів. Ці технологічні можливості значно полегшують обробку великих обсягів геопросторових даних, підвищуючи ефективність досліджень у багатьох сферах, таких як сільське господарство, екологія, містобудування та управління природними ресурсами. Сучасні аерофотознімки використовувалися для широкого спектра завдань, включаючи моніторинг природних ресурсів, оцінку екологічних змін, управління міською інфраструктурою та землекористуванням. Поєднання різних платформ отримання аерофотознімків забезпечувало високу точність та достовірність просторових даних, що сприяло ефективному використанню в геоінформаційних технологіях.

РОЗДІЛ 2. АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ КАРТ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДЗЗ

2.1. Характеристика великомасштабних карт: вимоги та стандарти

Створення великомасштабних карт на основі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) вимагало дотримання певних вимог та стандартів, що забезпечували точність, якість та відповідність картографічних матеріалів вимогам користувачів. Великомасштабні карти відносяться до карт, які відображають деталі місцевості з високим рівнем розрізнення, зазвичай із масштабами від 1:500 до 1:50 000, що дозволяє здійснювати точні дослідження й аналіз території на локальному рівні.

Однією з основних функцій створення таких карт є точність географічного позиціонування. Для цього використовувалися дані з високою просторовою розрізненістю, що дозволяє точно визначати координати об'єктів на карті. Великомасштабні карти, що створюються на основі даних ДЗЗ, повинні мати високу геометричну точність, яка забезпечується через застосування різноманітних методів геокодування та корекції даних, таких як орторектифікація знімків. Цей процес включає коригування оптичних спотворень, які можуть виникати через ефекти кута зйомки або нерівності місцевості. Точність географічного позиціонування знімків також гарантувалася використанням сучасних навігаційних систем, таких як GPS та інерціальні навігаційні системи (INS), що дозволяли досягти високої точності в реальному часі.

Однією з функцій створення великомасштабних карт є забезпечення коректної шкали картографічних зображень. Масштаб карт залежав від розміру об'єктів, які необхідно зобразити, та їх розташування на території. Великомасштабні карти мали зазвичай високу точність в зображенні дрібних деталей місцевості, таких як окремі будівлі, дороги, лінії комунікацій, зелені насадження та інші елементи ландшафту. Це вимагало використання знімків

високої роздільної здатності, отриманих за допомогою супутникових та аерофотографічних методів.

Наступним фактором, що визначав вимоги до великомасштабних карт, точність відображення спектральних характеристик об'єктів. За допомогою багатоспектральних сенсорів, що використовувалися в системах ДЗЗ, можна отримати зображення різних спектральних діапазонів (видимий, інфрачервоний, термальний та інші), що дозволяли класифікувати об'єкти на карті за їх фізичними властивостями.

Необхідними функціями створення карт є дотримання стандартів картографії, що включали вимоги щодо вигляду карти, використання кольорових схем, позначень, шрифтів та інших елементів, узгоджені з міжнародними та національними стандартами. Для цього використовувались рекомендовані організаціями, ISO (Міжнародна організація зі стандартизації), національними картографічними інститутами норми, що забезпечували єдність і зрозумілість карт для користувачів. Стандарти щодо оформлення карт містили вимоги до чітко визначених позначень, легенд та шрифтів, що сприяли спрощенню процесу орієнтування на місцевості та зручності користування картографічними матеріалами [28].

При розробці великомасштабних карт забезпечується правильне відображення висотних даних, що застосовуються для створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР). Ці моделі використовуються для визначення висоти об'єктів на карті, а також для проведення топографічного аналізу місцевості, включаючи оцінку ухилів, глибини водойм та інших рельєфних характеристик. Висотні дані отримувалися завдяки лазерному скануванню або стереофотограмметрії, що дозволяло з високою точністю відображати тривимірні елементи на карті.

Невід'ємною частиною процесу створення великомасштабних карт є забезпечення регулярного оновлення даних, оскільки території змінюються з часом, і для того, щоб картографічні матеріали залишалися актуальними, необхідно здійснювати їх періодичне оновлення. Для цього використовувались

новітні технології збору даних ДЗЗ, що дозволяли отримувати знімки з високою роздільною здатністю в різні періоди часу

Таким чином, створення великомасштабних карт на основі даних ДЗЗ вимагало виконання комплексного процесу, що включав різноманітні етапи: від збору даних до їх обробки, корекції та інтеграції з іншими картографічними матеріалами. Усі етапи роботи повинні були відповідати вимогам точності, актуальності та зручності для кінцевих користувачів.

2.2. Технології інтеграції аерофотознімків у картографічне моделювання

Інтеграція аерофотознімків у процес картографічного моделювання вимагала застосування комплексного підходу, що поєднував різноманітні технології та методи для досягнення високої точності та детальності картографічних моделей. Цей процес охоплював кілька етапів, які включали попередню обробку та корекцію отриманих зображень, а також їх інтеграцію з іншими геопросторовими даними, зібраними за допомогою різних платформ і методів, таких як супутникові знімки, дані з геодезичних вимірювань, топографічні карти та цифрові моделі рельєфу. Метою цього злиття різних типів даних було створення точних карт, що дозволяли надавати актуальну інформацію для рішень, пов'язаних з плануванням та управлінням територіями, моніторингом змін на місцевості, прогнозуванням екологічних змін, а також у сільському господарстві для оцінки стану врожаїв, розподілу водних ресурсів та управління природними ресурсами. За винятком того, отримані картографічні моделі стали основою для проведення глибокого аналізу змін у ландшафті, дозволяючи виявляти навіть найменші трансформації в рельєфі та покритті територій, що мали значення для екологічного та економічного моніторингу. Використання аерофотознімків як основного джерела для моделювання забезпечувало високу деталізацію карт, оскільки ці зображення містили велику кількість просторової інформації та дозволяли отримати не лише двовимірні карти, а й тривимірні моделі, що надавали більш повну

картину території. Інтеграція таких даних сприяла створенню актуальних і точних карт, що використовувалися для прийняття обґрунтованих рішень у різних сферах, від державного управління та охорони навколишнього середовища до сільськогосподарських та урбаністичних досліджень.

Першим етапом інтеграції аерофотознімків у картографічне моделювання було отримання знімків з відповідною просторовою роздільною здатністю та спектральними характеристиками, які є необхідним для створення високоточних картографічних моделей. Аерофотозйомка здійснювалася за допомогою різноманітних платформ, серед яких безпілотні літальні апарати (БПЛА), аеростати, пілотовані літаки та супутники, що забезпечували отримання зображень із високою географічною точністю, необхідною для подальшої обробки та аналізу. Використання БПЛА дозволяло виконувати зйомку на відносно низьких висотах, що забезпечувало високу роздільну здатність знімків[19]. Аерофотознімок охоплює ділянку місцевості, розташовану у Вінницькій області, Вінницькому районі. Даний регіон характеризується інтенсивним сільськогосподарським виробництвом, що відображається на знімку у вигляді чітко розмежованих полів різних форм і розмірів Додаток В.

На знімку також спостерігаються інші елементи ландшафту, що є важливими для комплексного картографування: лісосмуги, що виконують функцію захисту полів від вітрової ерозії та регулювання мікроклімату. Дрібні річкові системи або канали, що використовуються для меліорації та зрошення сільськогосподарських угідь. Фрагменти населених пунктів, що включають житлову забудову, дороги та інші об'єкти інфраструктури.

Дата отримання знімка – 2021 рік. Цей період часу є важливим для контексту дослідження, оскільки відображає стан землекористування та інфраструктури на момент зйомки. Проте, слід враховувати, що ландшафт є динамічною системою, і певні зміни могли відбутися за час, що минув.

Для забезпечення географічної відповідності аерофотознімків головним етапом технології інтеграції стало проведення орторектифікації, що передбачала коригування отриманих зображень. Орторектифікація включала в

себе використання цифрових моделей рельєфу (ЦМР), які дозволяли компенсувати вплив факторів, створюючи географічно правильні зображення. Завдяки орторектифікації вдалося отримати високоточні знімки, на яких були враховані всі необхідні геометричні параметри, що дозволило значно підвищити точність подальших етапів картографічного моделювання.

Після орторектифікації наступним етапом став процес створення ортофотопланів, які являли собою зображення місцевості, на які були накладені всі необхідні коригування та прив'язка до географічних координат. Ортофотоплани є високоточними картами, де аерофотознімки коригуються та адаптуються до цифрових моделей рельєфу, що дозволяло отримати точні геопросторові дані. Завдяки цьому ортофотоплани стали основою для створення детальних карт, оскільки вони дозволяли враховувати всі просторові відношення між об'єктами на місцевості, що було необхідно для подальшого їхнього аналізу та використання в різних сферах, таких як урбаністичне планування, екологічний моніторинг, оцінка земельних ресурсів тощо.

Інтеграція аерофотознімків з іншими геопросторовими даними здійснювалась за допомогою геоінформаційних систем (ГІС), які надавали потужні інструменти для проведення комплексного аналізу даних та створення багат шарових картографічних моделей. ГІС дозволяли обробляти аерофотознімки в поєднанні з іншими типами картографічних матеріалів, такими як топографічні карти, дані геодезичних вимірів, супутникові знімки, цифрові моделі рельєфу, а також дані про погоду, рівень забруднення, використання земель та інші геопросторові ресурси. Це забезпечувало можливість створення комплексних карт, що поєднували різноманітні інформаційні шари, кожен з яких міг включати детальну інформацію про інфраструктуру, природні ресурси, зони використання земель, транспортні мережі, розподіл населення та багато інших функцій. Крім того, завдяки можливості аналізувати ці шари в інтегрованому вигляді ставала доступною глибока просторово-часова оцінка різних факторів, що дозволяло не лише точно відображати наявні умови, а й прогнозувати можливі зміни на території.

Необхідною складовою інтеграції аерофотознімків у картографічне моделювання є корекція радіометричних характеристик знімків. Після того як були отримані аерофотознімки, необхідно було виконати їх радіометричну корекцію, що дозволяло усунути вплив атмосферних факторів, таких як хмари, пил, зміни температури, вологість та інші атмосферні умови, які могли спотворювати кольорові характеристики зображень і знижувати точність спостережень[30]. Для цього застосовувалися математичні моделі та методи корекції, які враховували вплив кожного з цих факторів на вихідні знімки. Таким чином, застосування радіометричної корекції підвищувало точність картографічного моделювання, оскільки дозволяло знизити вплив атмосферних факторів на результат та зробити знімки більш відповідними до місцевості.

Однією з основних технологій, що використовувалася в інтеграції аерофотознімків у картографічне моделювання, це фотограмметрія, яка базувалася на стереознімках, що дозволяло створювати тривимірні моделі місцевості. Завдяки фотограмметричному аналізу ставала можливою точна і детальна оцінка просторового розташування об'єктів на карті, а також отримання координат та висотних даних, що використовувалися для подальшого створення цифрових моделей рельєфу. Ці моделі рельєфу ставали інструментами для виконання різноманітних картографічних задач, зокрема для оцінки геометричних характеристик місцевості, таких як ухили, глибина водойм, розташування природних та штучних об'єктів, що допомагало при плануванні забудови, розвитку інфраструктури, сільськогосподарських робіт, ландшафтного дизайну та інших процесів. Крім того, цифрові моделі рельєфу, створені за допомогою фотограмметрії, використовувалися для аналізу природних процесів, таких як ерозія ґрунтів або зміни рівня води, що могли б мати значення для управління природними ресурсами та екологічного моніторингу.

У процесі інтеграції аерофотознімків в картографічне моделювання також застосовувались методи автоматичного та напіваавтоматичного аналізу зображень, які значно підвищували ефективність обробки великих масивів

даних. Основним методом обробки даних є автоматизована класифікація, що дозволяє виділяти на зображеннях ділянки, які відповідають певним класам об'єктів на земній поверхні. Автоматизована класифікація є ефективним інструментом для обробки великих обсягів даних ДЗЗ, оскільки вона не потребує попереднього навчання на основі еталонних ділянок, що може бути трудомістким або неможливим завданням для деяких типів даних.

Після проведення всіх етапів інтеграції аерофотознімків та інших геопросторових даних створювалися інтерактивні картографічні моделі, які дозволяли користувачам здійснювати різноманітні операції для глибшого аналізу та візуалізації просторової інформації. Завдяки застосуванню сучасних геоінформаційних систем (ГІС) та онлайн-платформ, інтегровані картографічні моделі ставали більш доступними та зручними для користувачів, оскільки вони надавали можливість виконувати операції пошуку, масштабування карт, а також змінювати параметри відображення [31].

Цей підхід також дозволяв користувачам отримувати доступ до картографічних даних у вигляді простих, зрозумілих інтерфейсів, де була доступна функція налаштування параметрів відображення даних відповідно до специфічних потреб користувача. Це, в свою чергу, забезпечувало можливість більш точного та детального вивчення певних території, таких як розподіл природних ресурсів, забудова або екологічні зміни. Технології інтеграції аерофотознімків у картографічне моделювання також дозволяли створювати точні, детальні та актуальні картографічні моделі, які відповідали високим вимогам точності і достовірності. Оскільки ці інтерактивні карти дозволяли забезпечити точність, зручність в управлінні та адаптацію до конкретних умов, вони стали інструментом для широкого спектра практичних застосувань (Додаток А).

2.3. Порівняльний аналіз традиційних методів та сучасних технологій створення карт

Створення картографічних матеріалів є етапом у дослідженні та розробці просторової інформації. Протягом тривалого часу карти створювались за допомогою традиційних методів, таких як ручне креслення, гравірування, а також застосування різних фізичних інструментів для вимірювання та передачі географічних даних. Однак розвиток технологій, зокрема інформаційних систем та автоматизації процесів, привів до значних змін у методах картографування. Сучасні технології включають використання географічних інформаційних систем (ГІС), супутникових знімків, лазерного сканування та численних програмних продуктів для аналізу і створення карт.

Традиційні методи створення карт включали в себе кілька етапів, починаючи від польових вимірювань і закінчуючи процесом перенесення даних на карту. Вимірювання на місцевості здійснювались за допомогою інструментів, таких як компаси, теодоліти, нивеліри та різні вимірювальні стрічки. Ці дані фіксувались вручну у вигляді креслень або таблиць, які після цього переносились на карту.

Однією з основних проблем традиційних методів було обмеження в точності вимірювань, що, в свою чергу, приводило до значних неточностей у побудові карт. Хоча ці методи дозволяли створювати карти на високому рівні деталізації, їхнє застосування вимагало значних затрат часу та фізичних ресурсів. За винятком того, процеси перевірки даних та їх коригування на етапах створення карт були довготривалими, що знижувало оперативність їх оновлення.

З розвитком сучасних технологій ситуація змінилася. Інформаційні технології, зокрема ГІС, дозволили створювати карти з високою точністю, використовуючи цифрові дані, отримані із супутників, аерофото знімків та інших джерел інформації. Це дало змогу автоматизувати процеси збору, обробки та візуалізації просторових даних. За допомогою ГІС стало можливим

не тільки створення карт, але й їх подальший аналіз. Сучасні технології дозволяють швидко оновлювати карти, змінюючи їх на основі нових даних, що поступають з різних джерел. Такі карти мають велику гнучкість, оскільки їх можна адаптувати до різних типів задач, включаючи геоаналіз, моделювання, прогнозування, а також інтерактивну роботу з користувачами.

Однією з головних переваг сучасних технологій є можливість отримання даних через різноманітні системи дистанційного зондування. Супутникові знімки, лазерне сканування та інші методи збору інформації на великій території дозволяють отримувати точні дані про поверхню землі та її об'єкти, не потребуючи фізичної присутності на місці. Застосування таких технологій значно зменшує витрати часу і ресурсів, необхідних для збору даних [33]. Сучасні програми для обробки даних, такі як ArcGIS, QGIS та інші, дозволяють автоматизувати процеси обробки просторової інформації, здійснювати прості та складні аналізи, створювати карти в реальному часі та інтегрувати їх з іншими типами даних для отримання комплексної інформації.

Сучасні картографічні технології також дозволяють зберігати та обробляти великі об'єми даних у вигляді тривимірних моделей території, що значно розширює можливості для детального вивчення певних географічних характеристик. Це дає змогу створювати точні карти для різних галузей, включаючи містобудування, екологію, сільське господарство, оборону та інші.

Не можна не зазначити і різноманітність сучасних програмних засобів, які дають змогу працювати з картографічними даними на всіх етапах їх обробки. Від простих онлайн-сервісів, таких як Google Maps, до складних професійних систем для аналізу та створення карт, сучасні технології дають можливість доступу до географічної інформації на різних рівнях деталізації. Це дозволяє значно полегшити процес планування, прийняття рішень та взаємодії з просторовими даними.

Сучасні технології створення карт мають кілька суттєвих переваг порівняно з традиційними методами. Це, зокрема, висока точність даних, швидкість створення карт, їх здатність до оновлення та інтеграції з іншими

системами. Водночас застосування сучасних технологій потребує значних інвестицій у обладнання, програмне забезпечення та навчання персоналу. Також існують певні обмеження, пов'язані з якістю джерел даних, адже інформація, отримана через дистанційне зондування, може бути неповною або застарілою. Порівнюючи традиційні та сучасні методи створення карт, можна зробити висновок, що останні дозволяють значно підвищити ефективність картографії, знижуючи час та витрати на її здійснення (рис. 2.1). Сучасні технології також забезпечують можливість інтеграції картографічних даних з іншими інформаційними системами, що сприяє більш точному та ефективному прийняттю рішень у різних сферах діяльності (рис. 2.2).



Рис.2.1. Процес традиційного створення карт, включаючи польові зйомки та використання топографічних знаків [41].



Рис.2.2. Сучасні технології картографії, зокрема використання ГІС та супутникових знімків для створення цифрових карт [42].

2.4. Інструменти та програмне забезпечення для генерації карт

Геоінформаційні системи (ГІС) стали інструментом у картографії, оскільки вони дозволяли інтегрувати, аналізувати та візуалізувати просторові дані на різних етапах створення карт. ГІС забезпечували централізовану платформу для обробки великих обсягів геопросторової інформації, що давало змогу проводити комплексний аналіз даних з різних джерел, включаючи супутникові знімки, картографічні файли та дані від систем GPS. Це програмне забезпечення підтримувало роботу з векторними та растровими даними, що дозволяло не лише створювати картографічні зображення, а й виконувати географічні аналізи, такі як оцінка відстаней, площ, нахилів, а також вивчення просторових зв'язків між різними об'єктами на карті. Необхідною особливістю ГІС є здатність виконувати просторові запити, що дозволяли користувачам виділяти певні ділянки або об'єкти на карті, які відповідали заданим параметрам, таким як тип землекористування, географічне розташування, екологічні умови або інші фактори. За винятком цього, ГІС надавали інструменти для візуалізації даних у вигляді інтерактивних карт, що дозволяло вивчати території та об'єкти з різних перспектив. Це програмне забезпечення забезпечувало зручний доступ до картографічних матеріалів, що дозволяло приймати обґрунтовані рішення в різних галузях, таких як містобудування, екологія, транспортне планування та багато інших. Завдяки своєму потенціалу щодо обробки складної просторової інформації, ГІС стали незамінними у створенні сучасних карт і реалізації картографічних проєктів, що вимагають високої точності та гнучкості.

Програмне забезпечення для створення карт охоплювало як спеціалізовані продукти, розроблені безпосередньо для картографії, так і універсальні інструменти для обробки просторових даних, що дозволяли виконувати широкий спектр завдань, пов'язаних з географічним аналізом. Одним із найбільш популярних і потужних інструментів для картографії стало

програмне забезпечення ArcGIS, розроблене компанією Esri. ArcGIS надавав користувачам змогу здійснювати глибокий аналіз просторових даних, працювати з багатьма різними шарами інформації та створювати як прості картографічні продукти, так і складні тематичні карти, що відображали різноманітні географічні явища та процеси. Ця платформа включала в себе багатий набір інструментів для редагування карт, що дозволяло змінювати, оновлювати та адаптувати картографічні дані до змінюваних умов, а також для просторового аналізу, що включав операції, як-от обчислення відстаней, площ, кута нахилу або навіть визначення зон впливу певних факторів[34]. За винятком того, ArcGIS підтримував геокодування, що давало змогу перетворювати адреси в просторові координати, що було особливо корисно для картографії міст та урбаністичних проектів. Інструменти для обробки растрових зображень дозволяли працювати з супутниковими знімками та аерофотознімками, які можна було інтегрувати в карти для детальнішої візуалізації, а також виконувати різноманітні операції з ними, зокрема корекцію кольорів або геометричні трансформації. ArcGIS підтримував роботу з базами даних, що дозволяло ефективно зберігати, обробляти та доступно організовувати великі обсяги інформації, необхідної для створення точних і детальних карт. Інтерфейс цієї платформи дозволяв автоматизувати значну частину процесів, пов'язаних зі створенням карт, включаючи генерацію шарів, їх налаштування, а також аналіз даних, що значно знижувало час, необхідний для виконання таких завдань. Завдяки широким можливостям налаштувань і розширеній функціональності, ArcGIS став незамінним інструментом для багатьох спеціалістів у галузі картографії та геоінформаційних технологій.

Для роботи з геопросторовими даними також широко використовувався QGIS, відкритий програмний продукт, який став популярним завдяки своїй доступності та потужним функціям для створення, редагування та аналізу карт. QGIS дозволяв користувачам працювати з просторовими даними без необхідності придбання дорогих ліцензій, що робило його привабливим варіантом для широкого кола користувачів, зокрема для науковців, студентів, а

також для малих і середніх підприємств, які потребували інструментів для геоаналізу. Програмне забезпечення включало набір потужних інструментів для аналізу просторових даних, що дозволяло виконувати різноманітні операції. QGIS підтримував як векторні, так і растрові формати даних, що давало змогу працювати з різними типами картографічної інформації. Векторні дані використовувалися для відображення географічних об'єктів, таких як дороги, річки, межі адміністративних одиниць, в той час як растрові дані були корисні для роботи з супутниковими знімками, аерофотознімками та іншими растровими зображеннями. QGIS також підтримував інтеграцію з численними форматами картографічних даних, що дозволяло об'єднувати дані з різних джерел, таких як дані від GPS-приладів, бази даних, супутникові знімки, а також дані, отримані з інших ГІС-систем. Ця функція забезпечувала високу гнучкість у роботі з різноманітними типами даних, дозволяючи інтегрувати їх у єдину систему для подальшого аналізу та створення карт. Завдяки своїм відкритим ліцензіям та можливості налаштування, QGIS став інструментом для широкого спектра завдань у картографії та геоінформаційних технологіях.

Для обробки растрових даних і їх подальшої корекції використовувалися спеціалізовані інструменти для роботи з зображеннями, серед яких особливу відіграло програмне забезпечення Adobe Photoshop. Це програмне забезпечення дозволяло проводити детальну корекцію растрових зображень карт, зокрема редагувати кольорові палітри, контраст, яскравість, а також виконувати точне масштабування зображень. В той час як Adobe Photoshop був потужним інструментом для роботи з графікою, для створення карт на основі GPS-даних використовувалися спеціалізовані програми, такі як Global Mapper. Це програмне забезпечення дозволяло імпортувати GPS-дані, що містять координати точок, шляхи та маршрути, з різноманітних джерел, включаючи GPS-прилади, карти та геодезичні дані. Global Mapper надавав можливість інтегрувати ці дані в цифрові картографічні проекти, виконувати їх аналіз, а також створювати різні типи карт, зокрема топографічні, тематичні, географічні, які мали значення для досліджень в різних сферах, таких як

планування міського розвитку, моніторинг природних ресурсів та навколишнього середовища [35].

До інструментів для генерації карт відносилися також програми для автоматичного створення топографічних карт із використанням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), серед яких найбільш відомим і поширеним інструментом був ENVI. Це програмне забезпечення спеціалізувалося на обробці супутникових знімків, надаючи можливість здійснювати їх аналіз, корекцію та інтеграцію з іншими геопросторовими даними. ENVI дозволяв обробляти та інтерпретувати дані з різних супутникових платформ, що дозволяло картографам отримувати точні, деталізовані зображення, необхідні для створення точних топографічних карт. Завдяки цьому інструменту можна було визначати типи покриття земель, виявляти зміни на територіях, проводити моніторинг ландшафтних змін, здійснювати оцінку земельних ресурсів і виконувати інші дослідження.

Необхідною складовою картографічного процесу стало також застосування автоматизованих методів аналізу даних, які дозволяли не лише збирати та обробляти величезні обсяги просторової інформації, але й отримувати точні результати для прийняття рішень у різних галузях. Такі програми включали інструменти для автоматичного розпізнавання об'єктів на знімках, визначення їх координат, а також контурів різноманітних об'єктів на карті. Це забезпечувало значне спрощення процесу створення карт, оскільки автоматичне розпізнавання і класифікація об'єктів зменшувала кількість ручної праці та підвищувала точність аналізу. За винятком ENVI, серед іншого програмного забезпечення, яке активно використовувалося для картографічних аналізів і планування, була система MapInfo. Це програмне забезпечення широко застосовувалося для створення та аналізу карт, розробки різних картографічних матеріалів і виконання геопросторових запитів.

MapInfo дозволяла працювати з великими масивами даних, обробляти їх та створювати динамічні карти, що адаптуються до змінних умов. Інтеграція різних типів даних, таких як векторні та растрові зображення, а також

просторові таблиці, забезпечувала створення карт, що відображали різноманітні географічні, соціальні та економічні процеси. Таким чином, ці інструменти значно сприяли розвитку сучасної картографії, полегшуючи створення точних, динамічних карт, які могли бути використані для широкого кола наукових і практичних завдань.

Особливу увагу в процесі генерації карт приділяли інструментам для моделювання ландшафтів і створення тривимірних візуалізацій, що дозволяло створювати карти, які надавали користувачам можливість більш глибоко аналізувати території, їх рельєф і структуру. Програмне забезпечення, таке як AutoCAD і Google Earth, стало інструментом не лише для створення плоских карт, а й для моделювання тривимірних зображень різних ландшафтів. За допомогою AutoCAD користувачі мали змогу створювати високоточні 3D-моделі, що дозволяли деталізовано вивчати не тільки поверхневі структури території, але й взаємозв'язки між різними елементами ландшафту, такими як рельєф, водні ресурси, дороги, будівлі та інші інфраструктурні об'єкти.

Поєднання традиційних картографічних методів з сучасними технологіями моделювання ландшафтів дозволяло досягти високої точності і ефективності у створенні картографічних продуктів, що включали не тільки двовимірні відображення, але й інтерактивні тривимірні моделі. Програмне забезпечення надавало користувачам потужні інструменти для збору, аналізу і візуалізації геопросторової інформації, що робило процес створення карт більш швидким, доступним і точним. Вони дозволяли інтегрувати дані з різних джерел, зокрема супутникові знімки, топографічні карти, дані GPS та інші просторові інформаційні ресурси, забезпечуючи високу гнучкість у створенні карт для різних цілей[36]. У результаті, ці технології стали основою для сучасної картографії, забезпечуючи її точність, інтерактивність і можливість створення картографічних продуктів для найрізноманітніших застосувань, від планування та моніторингу до аналізу ландшафтних змін і розробки інфраструктурних проектів.

РОЗДІЛ 3. ДАНІ ДЗЗ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНОГО КАРТОГРАФІЧНОГО ПРОДУКТУ

3.1. Процес збору та попередня обробка аерофотознімків

Процес збору аерофотознімків для створення великомасштабного картографічного продукту розпочинався з ретельного вибору джерел даних, що забезпечували необхідну якість зображень для подальших картографічних робіт. Аерофотознімки могли бути отримані з різних платформ, включаючи літаки, безпілотні літальні апарати (БПЛА) та супутники, що дозволяло врахувати специфіку території, масштаб проекту та вимоги до детальності зображень. Літаки і БПЛА використовувалися для збору знімків на малій і середній висоті, що дозволяло отримувати зображення з високою роздільною здатністю, необхідною для картографічних робіт, де точність у відображенні дрібних деталей, таких як будівлі, дорожні мережі або лінії ландшафту. Вибір висоти зйомки також дозволяв коригувати кут зйомки та орієнтацію. Безпілотні літальні апарати, завдяки своїй маневреності та здатності виконувати точні знімки з низьких висот, дозволяли проводити детальну зйомку обмежених територій, таких як міські райони, будівельні майданчики або лісові масиви. У свою чергу, супутникові знімки застосовувалися для збору даних на великих територіях, охоплюючи великі площі з меншою роздільною здатністю, що робило їх ідеальними для картографії ландшафтних змін на регіональному або глобальному рівні, таких як моніторинг сільськогосподарських угідь, зміни в екосистемах або аналіз міського розвитку. Усі ці різноманітні джерела даних дозволяли отримати зображення, що служили основою для подальшої обробки картографічної інформації, яка в кінцевому підсумку дозволяла створювати точні й інформативні карти для різноманітних цілей – від планування і управління до екологічного моніторингу та аналізу змін на території.

Зібрані аерофотознімки вимагали ретельної попередньої обробки, щоб забезпечити їх високу якість та підготовку до використання в картографічних

проектах. Попередня обробка складалася з кількох головних етапів, серед яких були геометрична корекція, вирівнювання зображень і корекція кольору. Геометрична корекція була необхідною для усунення спотворень, що виникали під час аерофотозйомки. Зазвичай ці спотворення мали різну природу, зокрема викривлення, зумовлені кривизною земної поверхні, впливом кута зйомки, а також можливими зсувами платформи, які могли відбутися під час процесу зйомки. Така корекція дозволяла усунути ці дефекти, що забезпечувало точне відображення просторових відносин на зображеннях, що в свою чергу гарантувало отримання точних координат об'єктів, які зображались на знімках. Використання спеціалізованого програмного забезпечення для геометричної корекції дозволяло автоматизувати цей процес, зменшуючи час і зусилля, необхідні для обробки великих обсягів даних. Результатом цього етапу став ряд знімків, які точно відображали реальні просторові координати об'єктів, що забезпечувало їх правильне використання для створення карт і проведення геопросторових аналізів [37].

Наступним етапом обробки аерофотознімків була ортофотозйомка, яка полягала у створенні ортофото – спеціалізованого картографічного продукту, що поєднував властивості аерофотознімка та топографічної карти. Ортофото відігравало важливу роль у забезпеченні точного геометричного відображення території, оскільки усувало спотворення, спричинені нерівностями земної поверхні та перспективними викривленнями, притаманними звичайним аерофотознімкам. Такий продукт забезпечував значно вищу точність, що було необхідно для подальших картографічних робіт, оскільки ортофото відповідало географічним координатам і могло використовуватися без додаткових корекцій. Для створення ортофото застосовувались методи фотограмметрії, які дозволяли поєднувати аерофотознімки з точними даними про висоти та координати об'єктів, що були отримані в результаті топографічних вимірів. Використання спеціалізованих програмних засобів, таких як фотограмметричні платформи, дозволяло провести математичні операції для точного коригування перспективних спотворень, що виникали внаслідок зйомки з висоти, а також

для інтеграції висотних даних, отриманих із цифрових моделей місцевості. Це дозволяло створювати зображення, які відповідали реальним умовам місцевості, з точним відображенням горизонтальних та вертикальних елементів, що сприяло їх використанню в картографії, плануванні, а також для моніторингу змін на території. Ортофото стали інструментом для створення детальних карт і аналізу геопросторових даних, оскільки забезпечували високий рівень точності та достовірності інформації, що передавалася на зображеннях.

Процес геопросторової реєстрації аерофотознімків мав головне значення для подальшої обробки зображень і забезпечення їх точного співвідношення з існуючими картографічними матеріалами або географічними даними. Цей етап включав процедуру точного накладання зображень на географічну або картографічну основу, що дозволяло привести аерофотознімки до єдиної системи координат і досягти максимального збігу з реальними географічними координатами. Для геопросторової реєстрації використовувались спеціалізовані алгоритми, які дозволяли порівняти координати головних точок на знімках із точками, які були визначені на основі наявних картографічних матеріалів або глобальних навігаційних систем, таких як GPS. Процес реєстрації також враховував можливі спотворення, що виникали під час зйомки, а також різницю в масштабах і точностях вихідних зображень. Таким чином, геопросторова реєстрація дозволяла досягти точного співвідношення між аерофотознімками та іншими картографічними джерелами, що було необхідно для подальших аналізів і обробки даних. Реєстрація допомагала не тільки визначити точні координати об'єктів на знімках, але й забезпечувала можливість інтеграції різноманітних джерел даних, що сприяло створенню більш точних і деталізованих картографічних продуктів, які могли бути використані в різних галузях, таких як геоінформаційний аналіз, моніторинг територій та планування.

В процесі попередньої обробки аерофотознімків також активно застосовувалися методи фільтрації та корекції кольорів, які мали на меті

покращення якості зображень та підвищення їх інформативності. Ці методи включали корекцію контрастності, насиченості та чіткості знімків, що дозволяло зробити зображення більш виразними і деталізованими, що особливо при обробці старих або зіпсованих знімків, де зниження якості могло бути наслідком тривалої експозиції або механічних дефектів. Для цього використовувалися різноманітні фільтри, такі як фільтри для усунення шуму, підвищення різкості, а також спеціалізовані алгоритми, що дозволяли покращити баланс кольорів і відновити природні кольори зображень, які могли бути спотворені внаслідок обробки або неконтрольованих умов зйомки. За винятком того, знімки часто коригувалися для компенсації атмосферних умов, таких як хмари, пил або вологість, що могли суттєво знижувати чіткість і якість зображень. Для цього використовувалися спеціальні техніки корекції, зокрема використання мультиспектральних даних для покращення зображень, що дозволяло компенсувати ефекти, викликані оптичною атмосферою дисперсією. Ці етапи обробки не лише покращували зовнішній вигляд зображень, але й сприяли більш точному візуальному аналізу та використанню зображень для подальших картографічних і геопросторових задач.

Зібрані та попередньо оброблені аерофотознімки використовувалися для подальшої деталізації картографічного продукту, що дозволяло значно підвищити точність і інформативність кінцевого продукту. Завдяки високоякісним зображенням, які пройшли через етапи геометричної корекції, ортофотозйомки та фільтрації, можна було отримати чіткі та добре розрізняльні деталі, що забезпечувало створення карт, що відповідали вимогам точності та надійності для різноманітних завдань. Застосування таких зображень давало змогу отримати детальні карти, які використовувалися в численних сферах, зокрема в плануванні території, де було забезпечення точності для розподілу земельних ресурсів, інфраструктурних об'єктів та зонування[38]. Використання таких карт було інструментом для оцінки стану навколишнього середовища, надаючи фахівцям точні дані для прийняття рішень у сфері екологічного

моніторингу, збереження біорізноманіття та управління природними резервами. (рис. 3.1).



Рис.3.1. Обробка аерофотознімків в QGIS [43].

3.2. Оцінка якості даних ДЗЗ та результатів автоматичної кластеризації

Оцінка якості даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є головним етапом у створенні великомасштабних карт, оскільки від неї залежить точність і достовірність отриманих результатів. Зокрема, функціями є точність, розрізненість та спектральні характеристики, що визначають здатність даних адекватно відображати реальні об'єкти та явища на земній поверхні.

Точність даних ДЗЗ оцінюється на основі їх здатності відображати реальне місцезнаходження об'єктів на земній поверхні. Вона визначається шляхом порівняння координат пікселів на знімках з координатами контрольних точок, отриманих через глобальне позиціювання (GPS) або через наземні вимірювання. Для визначення точності використовувалась методика геопросторового коригування знімків, при якій застосовувалися знімки з високою географічною точністю як еталон.

Точність вимірювань у всіх етапах обробки даних була для створення карт високої роздільної здатності, оскільки навіть невеликі похибки в розташуванні пікселів можуть призвести до значних спотворень в кінцевому результаті. В результаті порівняння оброблених знімків з контрольними

точками було визначено середнє значення помилки, яке становило 2,5 м, що відповідає вимогам для створення карт великомасштабного масштабу.

Розрізненість даних є фактором для точного відображення дрібних елементів ландшафту, таких як окремі будівлі, дороги або інші інфраструктурні об'єкти. Вона залежить від просторової роздільної здатності сенсора, тобто від мінімального розміру об'єкта, який може бути відображений на знімку як окремий піксель.

У процесі оцінки розрізненості даних було проведено порівняння знімків, отриманих різними сенсорами, для визначення їх здатності точно розрізняти об'єкти на земній поверхні. Для аналізу використовувалися зображення з роздільною здатністю 0,5 м та 1 м. Порівняння показало, що знімки з роздільною здатністю 0,5 м здатні чітко розрізняти дрібні об'єкти, в той час як знімки з роздільною здатністю 1 м виявилися недостатніми для точного виділення окремих деталей. Зокрема, було відзначено, що на знімках з роздільною здатністю 1 м не вдалося чітко виділити об'єкти, які мали розміри менше 1 метра, що обмежувало можливості для точного картографування.

Спектральні характеристики даних ДЗЗ є функціями для класифікації різних типів поверхні та матеріалів. Для аналізу спектральних характеристик використовувалися знімки, що охоплюють спектральні діапазони від видимого до інфрачервоного спектра. Оцінка спектральної якості даних полягала в аналізі чутливості сенсора до різних типів поверхні, таких як рослинність, вода, ґрунт і будівельні матеріали.

Застосування багатоспектральних знімків дозволило відзначити високу чутливість сенсора до різних типів покриття. Зокрема, для визначення типів рослинності були використані індекси, такі як NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), що дозволило з високою точністю виділяти різні види рослин та оцінювати їх стан. Аналіз спектральних характеристик показав, що для точного розпізнавання рослинних покриттів та водних об'єктів необхідне використання спеціалізованих діапазонів, таких як ближній інфрачервоний

(NIR) та середньоінфрачервоний (SWIR), що дозволяє забезпечити високу точність і виявлення навіть невеликих змін у стані покриття [39].

Врахування спектральних характеристик також дозволило оцінити взаємодію різних матеріалів, таких як будівельні об'єкти та природні елементи, що є для створення точних карт територій з великою кількістю різноманітних об'єктів. Результати аналізу показали, що для отримання найбільш точних картографічних зображень необхідно використовувати знімки з високою спектральною роздільною здатністю, що дозволяє отримати чітке розрізнення між різними типами покриття.

Таким чином, проведена оцінка якості даних ДЗЗ показала, що точність, розрізненість і спектральні характеристики є чинниками для створення великомасштабних карт, а їх адекватне врахування дозволяє забезпечити високий рівень точності і достовірності отриманих результатів. Додаток В

Основним методом обробки даних є автоматизована класифікація, що дозволяє виділяти на зображеннях ділянки, які відповідають певним класам об'єктів на земній поверхні. Автоматизована класифікація є ефективним інструментом для обробки великих обсягів даних ДЗЗ, оскільки вона не потребує попереднього навчання на основі еталонних ділянок, що може бути трудомістким або неможливим завданням для деяких типів даних.

Процес класифікації аерофотознімка здійснюється у геоінформаційній системі SAGA (System for Automated Geo-Scientific Analysis). SAGA є вільно поширеним програмним забезпеченням, яке надає широкий спектр інструментів для обробки та аналізу геопросторових даних, включаючи модулі для класифікації зображень.

У даній роботі застосовуються два методи автоматичної кластеризації: ISODATA та К-середніх. Обидва методи є алгоритмами кластеризації, тобто вони групують пікселі зображення на основі їхніх спектральних характеристик.

ISODATA є ітеративним алгоритмом кластеризації, який автоматично визначає кількість кластерів у даних. Це відрізняє його від К-середніх, де кількість кластерів задається користувачем.

Для кожного методу класифікації (ISODATA та К-середніх) налаштовуються відповідні параметри, що впливають на результат класифікації. Додаток Ж

Після налаштування параметрів запускається процес класифікації. SAGA обчислює кластери на основі обраного алгоритму та заданих параметрів. Процес класифікації може зайняти певний час, залежно від розміру зображення та складності алгоритму. Отримання растрових зображень результатів класифікації: Після завершення процесу класифікації SAGA генерує растрові зображення, де кожному пікселю присвоєно значення, що відповідає номеру кластеру, до якого він був віднесений .

Ці растрові зображення відображають результати класифікації та є основою для подальшого аналізу та створення картографічних продуктів Додаток З. Додаток К

На основі растрових зображень результатів класифікації були створені картографічні твори, що представляють інформацію про розподіл класів земної поверхні на досліджуваній території. Важливо зазначити, що картографічний твір є узагальненим представленням просторової інформації, призначеним для візуального сприйняття та аналізу. Картосхема є спрощеним картографічним зображенням, що акцентує увагу на розподілі певних тематичних об'єктів, у даному випадку - типів землекористування. (Додаток Л). Подібно до картосхеми створеної методом К-середніх , картосхема створена методом ISODATA, акцентує увагу на розподілі типів землекористування, але ґрунтується на результатах іншого алгоритму класифікації. Додаток М

Результати роботи показали, що методи автоматичної класифікації, такі як ISODATA та К-середніх, можуть бути ефективними інструментами для створення великомасштабних карт, особливо для сільськогосподарських територій, де переважають порівняно однорідні об'єкти (поля, лісосмути). Однак, слід враховувати певні обмеження: якість вихідних даних, вибір методу та параметрів класифікації, потреба у подальшій обробці.

3.3. Вплив параметрів аерофотознімків на якість картографічного продукту

Аерофотознімки використовувалися як основне джерело даних для створення картографічних продуктів, включаючи топографічне картографування та складання тематичних карт, оскільки вони забезпечували наочне та точне зображення поверхні землі з великою деталізацією. Однією із функціями при створенні картографічних продуктів на основі аерофотознімків була їхня якість, яка визначалась кількома головними параметрами, що безпосередньо впливали на точність та детальність відображення об'єктів на карті. У процесі аналізу аерофотознімків зверталася увага на такі характеристики, як просторова розрізненість, спектральні властивості, час зйомки, геометричні параметри зображень, а також технічні характеристики знімальних систем (Додаток Б).

Просторова розрізненість, що визначала здатність аерофотознімка передавати деталі, була одним з основних параметрів, що впливали на точність картографічного продукту. Знімки з високою розрізненою здатністю дозволяли чітко відображати дрібні об'єкти, наприклад, окремі будівлі, дороги або інші інфраструктурні елементи, що було для детального картографування. У той же час, низька розрізненість значно знижувала можливість розрізняти маленькі або близько розташовані об'єкти, що впливало на точність відображення на карті.

Спектральні характеристики аерофотознімків також мали величезне значення для картографування. Використання мультиспектральних знімків дозволяло отримувати зображення, що містили інформацію про різні фізичні характеристики об'єктів на земній поверхні, такі як типи ґрунтів, рослинність або водні об'єкти. Кожен спектральний канал, чи то видиме світло, інфрачервоний або ультрафіолетовий, давав можливість виявляти різні природні явища і сприяв підвищенню точності тематичних карт, наприклад, для агрономічних досліджень або моніторингу змін у середовищі.

Час зйомки також був фактором, оскільки різні пори року і погодні умови можуть значно змінювати вигляд земної поверхні. Аерофотознімки, отримані в

різний час року, відображали різні стадії розвитку рослинності, рівень води в річках або інші сезонні зміни, які могли мати значення для створення карт, що враховують ці фактори. Зйомка під час несприятливих погодних умов, таких як туман, дощ або хмари, може призвести до розмитості зображень і зменшення їхньої детальності, що погіршує якість картографічного продукту.

Також для точності картографічних продуктів були геометричні параметри зображень. Аерофотознімки можуть бути спотворені через кути зйомки, зміщення або похибки в процесі обробки даних, що могло призвести до викривлень на отриманих знімках. Для зменшення таких спотворень застосовувалися спеціальні методи геометричної корекції, що дозволяли покращити точність відображення об'єктів на карті[40].

Вплив технічних характеристик знімальних систем, таких як тип камери, роздільна здатність сенсора та калібрування обладнання, також мав значення для точності аерофотознімків. Невірно відкалібровані сенсори або низька якість обладнання могли призвести до спотворень зображень або до втрати деталей, що негативно впливало на якість картографічного продукту. Тому для досягнення високої точності картографування було забезпечити правильне калібрування сенсорів і використання сучасних технологій зйомки.

Усі ці параметри, взаємодіючи один з одним, формували загальну якість аерофотознімків, що, у свою чергу, визначало точність і детальність картографічних продуктів. Таким чином, для створення точних і інформативних карт було враховувати кожен з цих і правильно оцінювати їхній вплив на кінцевий результат.

Просторова розрізненість є одним із параметрів аерофотознімків, оскільки вона безпосередньо впливає на здатність чітко визначати та відображати дрібні деталі земної поверхні. Цей параметр визначається як мінімальна площа, яку можна чітко розрізнити на зображенні. Чим менша площа, яку можна чітко візуалізувати, тим вища просторова розрізненість, що дозволяє більш детально передавати інформацію про об'єкти на карті. Висока розрізненість дозволяє відображати навіть найменші елементи інфраструктури,

такі як окремі будівлі, дороги, мости, лінії електропередач та інші об'єкти, що є для створення точних та детальних картографічних продуктів.

Просторова розрізненість може значною мірою варіювати залежно від типу сенсора та технології зйомки. Для аерофотознімків з розрізненістю 0,5 м, що зазвичай використовуються для детального картографування, можливість чітко розрізняти об'єкти на земній поверхні значно зростала. Це дозволяло фіксувати точні межі будівель, доріг, різних типів рослинності та інших інфраструктурних елементів, що є для топографічних карт. Наприклад, такі знімки дозволяли без труднощів розпізнавати контури окремих будівель, що є для складання карт, що використовуються у містобудівному проектуванні або для оцінки стану інфраструктури.

Однак, коли просторову розрізненість знижували до 1 м або більше, зображення починали втрачати свою чіткість, що призводило до зменшення точності картографічного продукту. За таких умов контури об'єктів розмивались, а дрібні елементи, такі як окремі будівлі, малі дороги чи тротуари, ставали важко розпізнаваними. Внаслідок цього на карті могли з'являтися значні спотворення, що негативно впливало на точність відображення реальної ситуації на місцевості.

Зниження розрізненості також значно обмежувало можливості для створення тематичних карт, що вимагають високої точності при визначенні меж об'єктів. Наприклад, для карт, що відображають землекористування, лісові масиви, водні об'єкти або сільськогосподарські угіддя, висока просторова розрізненість є, оскільки дозволяє точно визначати кордони та характеристики цих об'єктів. Якщо ж знімок має низьку розрізненість, точність таких карт значно знижується, що може призвести до помилок при плануванні, оцінці стану земельних ресурсів або природних екосистем.

Кут зйомки є параметром, який безпосередньо впливає на якість аерофотознімків. Коли зйомка проводилась під високим кутом, особливо з великих висот, на зображеннях могли виникати геометричні спотворення, що знижували точність відображення об'єктів земної поверхні. Спотворення,

зокрема, проявлялись у вигляді викривлень ліній, зміщення об'єктів, а також похибок масштабу, що особливо було помітно у верхніх частинах зображень. Це відбувалося через зміну перспективи, при якій об'єкти, розташовані на різних відстанях від камери, зображались із різною точністю. Як результат, на знімках з високим кутом могли виникати спотворення розмірів, форм і пропорцій об'єктів, що ускладнювало подальше використання цих зображень для створення точних карт.

Зйомка з низьких кутів, навпаки, дозволяла отримати більш стабільні зображення з меншою кількістю геометричних спотворень, оскільки перспектива була більш рівною і об'єкти на знімку виглядали практично без деформацій. Це знижувало викривлення масштабів і покращувало точність відображення меж об'єктів. Така зйомка особливо була корисною при детальному картографуванні або вивченні дрібних об'єктів на земній поверхні, де було зберегти точність геометричних характеристик. Проте зйомка з низьким кутом мала і свої недоліки. Оскільки область покриття знімка була обмеженою, вона вимагала значного збільшення кількості аерофотознімків, що покривали різні частини площі. Для створення повного та точного картографічного продукту, що відображає велику територію, необхідно було здійснити зйомку з кількох точок або площ, а потім об'єднати ці знімки в єдине зображення.

Врахування кута зйомки є при плануванні аерофотозйомки, оскільки вибір оптимального кута дозволяє мінімізувати спотворення і забезпечити точність картографічного продукту. Використання знімків, отриманих під різними кутами, може допомогти збалансувати точність відображення об'єктів і охоплення території, що в свою чергу покращує якість результатів картографування.

Спектральні характеристики аерофотознімків відігравали у створенні точних картографічних продуктів, оскільки різні спектральні діапазони дозволяли отримувати зображення з різними властивостями, що відповідали певним типам об'єктів на земній поверхні. Кожен спектральний діапазон мав

специфічні характеристики, які дозволяли підвищити ефективність і точність картографічного процесу. Зокрема, інфрачервоний спектр (особливо близький інфрачервоний діапазон) був надзвичайно корисним для аналізу стану рослинності, оскільки здорові рослини відображали інфрачервоне світло по-особливому. Рослини з високим вмістом хлорофілу сильно відображали інфрачервоні хвилі, що дозволяло точно визначати їх стан, виявляти зони стресу чи захворювань, а також проводити оцінку їхнього здоров'я. Це, в свою чергу, дозволяло створювати карти здоров'я рослинності на великих територіях, що є особливо корисним для сільського господарства та екологічних досліджень.

Червоний спектр, що знаходиться на межі видимого діапазону, також мав велике значення в картографічних роботах, оскільки він використовувався для виділення різних типів ґрунтів, рослинних покривів і навіть для оцінки рівня забруднення. Для багатьох типів ґрунтів характерне відображення червоного світла, що дозволяло розрізняти різні ґрунтові покриви, їхню структуру та вологість. Наприклад, сухі ґрунти зазвичай мали інше відображення в червоному спектрі, ніж зволожені або багаті органічними речовинами ґрунти, що дозволяло точніше визначати їхні властивості.

Використання мультиспектральних аерофотознімків суттєво покращувало точність картографування, оскільки на таких знімках можна було поєднати різні спектральні діапазони. Це дозволяло отримати більш детальну інформацію про різноманітні природні і антропогенні об'єкти, оскільки кожен з них мав унікальні спектральні відбиття. Наприклад, вода, рослинність, сільськогосподарські культури, дороги, будівлі – всі ці об'єкти мали характерні спектральні підписи, які можна було виявити на мультиспектральних знімках. Така багатокомпонентність дозволяла точно ідентифікувати об'єкти різної природи і точно визначити їхні межі на знімках, що покращувало точність картографічних продуктів і дозволяло створювати карти з високим рівнем деталізації. Мультиспектральне картографування стало незамінним інструментом в таких галузях, як екологія, агрономія, лісове господарство,

урбаністика та інші, де потрібно здійснювати точне та ефективне картографування на великих територіях.

Час зйомки аерофотознімків мав суттєвий вплив на якість картографічних продуктів, оскільки різні пори року та погодні умови змінювали вигляд об'єктів на земній поверхні, що безпосередньо впливало на точність та детальність отриманих зображень. Наприклад, рослинність, рівень води в річках і озерах, а також інші природні фактори могли змінюватися залежно від пори року. Влітку і навесні рослинність була найбільш розвинута, що дозволяло чітко виявляти лінії кордонів полів, лісів та інших природних об'єктів. У той же час, зимові зйомки, коли більшість рослин загинула або була в стані спокою, могли забезпечити кращу видимість будівель, доріг та інших інфраструктурних елементів, які були б менш помітні в літній або осінній періоди через густу рослинність.

Особливе значення мав час зйомки, коли відбувалися природні катастрофи, такі як повені або сильні дощі. Аерофотознімки, отримані під час або після повені, могли відображати значні зміни у природному середовищі, наприклад, підтоплені території, змінений ландшафт, пошкодження інфраструктури. Ці знімки були для оцінки шкоди та планування заходів з відновлення. Однак такі знімки також мали обмежену застосовність, оскільки вони відображали тимчасові зміни в природі, які могли бути не характерними для інших періодів часу. Тому при аналізі таких знімків необхідно було враховувати їхню специфіку та можливі спотворення, зумовлені погодними умовами або сезонними змінами.

Кількість знімків також мала значення для забезпечення точності картографічного продукту. Для створення карт з високою деталізацією та точністю необхідно було мати достатньо великі серії знімків, що покривають велику територію. Це дозволяло мінімізувати можливі похибки, що виникали через геометричні спотворення, пов'язані з кутом зйомки, відстанню до об'єкта або умовами зйомки. За винятком того, була наявність перекриття між сусідніми знімками, яке дозволяло забезпечити безшовне з'єднання зображень

та отримати більш точні результати при створенні цифрових моделей рельєфу або 3D-моделей місцевості. Перекриття також допомагало компенсувати можливі похибки в координатах, що виникали при геореференціюванні знімків, і забезпечувало більш високу точність при інтеграції даних із різних джерел. За винятком того, велика кількість знімків дозволяла забезпечити надійність та верифікацію отриманих картографічних продуктів, зменшуючи ймовірність помилок та неточностей результатів.

Роздільна здатність камери, що використовувалась для отримання аерофотознімків, мала безпосередній вплив на рівень деталізації отриманого зображення та на точність подальших картографічних продуктів. Висока роздільна здатність дозволяла чітко фіксувати навіть найменші об'єкти на земній поверхні, що було для створення точних карт, зокрема при картографуванні інфраструктурних елементів, таких як будівлі, дороги, мости та лінійні об'єкти. Знімки з високою роздільною здатністю дозволяли виявити навіть дрібні деталі, такі як вузькі стежки або малі зміни в ландшафті, що суттєво підвищувало точність і корисність картографічного продукту, особливо в випадках, коли необхідно було детально відобразити об'єкти, які мають значення для планування або аналізу. Водночас, низька роздільна здатність призводила до втрати частини цієї дрібної деталізації, що могло вплинути на точність, особливо в тих випадках, коли зображення повинно було бути використано для точного картографування або моделювання природних чи антропогенних об'єктів. Це могло мати особливе значення при картографуванні лінійних об'єктів, таких як дороги, річки чи залізниці, де чіткість зображення кожного елемента була для їх точного відображення на карті.

Атмосферні умови та погода під час зйомки відігравали не менш важливу роль у формуванні якості аерофотознімків. Хмари, туман, дощ, сніг або інші неблагополучні погодні явища значно знижували контрастність зображень, що ускладнювало чітке виявлення об'єктів та деталей на земній поверхні. Погіршення видимості через атмосферні умови створювало перешкоди для зйомки чітких знімків, які відповідали б вимогам високої точності

картографічного продукту. В умовах поганої видимості зображення могли бути розмитими, що ускладнювало процес подальшої обробки та аналізу отриманих даних. Такі знімки часто потребували додаткової корекції або спеціальної обробки для зменшення впливу атмосферних явищ, що в свою чергу збільшувало час та витрати на створення картографічних продуктів. Це особливо помітно у випадках, коли необхідно отримати високоточні дані. Тому вплив атмосферних умов під час зйомки став фактором, який слід враховувати при оцінці якості аерофотознімків для подальшого використання у картографії.

Калібрування обладнання також було етапом у процесі створення картографічних продуктів. Невірно відкалібровані камери або сенсори могли призвести до значних похибок у точності зображень, що в подальшому впливало на точність карт. Калібрування, яке включало перевірку та корекцію параметрів сенсорів перед зйомкою, забезпечувало зменшення помилок та підвищення точності аерофотознімків.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що параметри аерофотознімків мали вирішальний вплив на якість картографічних продуктів. Просторова розрізненість, кут зйомки, спектральні характеристики, час зйомки, кількість знімків, роздільна здатність, погодні умови та калібрування обладнання були основними факторами, що визначали точність і детальність карт, створених на основі аерофотознімків. Кожен із цих параметрів впливав на процес створення картографічного продукту, і їх комплексне врахування дозволяло забезпечити високоякісне картографування різних територій.

3.4. Обмеження застосування сучасних технологій у створенні карт

Сучасні технології картографування, зокрема аерофотознімки, дистанційне зондування Землі та використання географічних інформаційних систем (ГІС), значно полегшили процес створення точних та детальних карт, однак їх застосування стикається з низкою обмежень, які впливають на ефективність і точність картографічних продуктів. Одним із основних

обмежень є залежність від якості первинних даних, оскільки від цього напряму залежить точність і деталізація зображень, що використовуються для створення карт. У випадку з аерофотознімками, наприклад, низька роздільна здатність камери може суттєво обмежити можливості картографування, оскільки зображення, отримане з такою роздільною здатністю, не здатне відобразити дрібні деталі на земній поверхні. Це створює проблеми, коли потрібно точно передати межі об'єктів або інфраструктурні елементи, які можуть бути розпізнані лише за допомогою зображень високої роздільної здатності. Якщо камера аерофотознімка не забезпечує достатньо чітке зображення, то в таких випадках виникає необхідність у додатковій обробці даних, що збільшує час і зусилля, необхідні для досягнення потрібного результату.

За винятком того, атмосферні спотворення є ще однією проблемою. Погані погодні умови, такі як хмари, дощ або туман, можуть знижувати контрастність і чіткість зображення, що знову ж таки ускладнює створення точних карт. Атмосферні явища впливають на якість аерофотознімків, адже атмосферні частки, водяні пари та інші фактори можуть змінювати спектр світла, що потрапляє на сенсор камери, і відповідно, спотворювати отримане зображення. Для подолання цих проблем часто необхідно застосовувати спеціальні алгоритми для корекції і компенсації атмосферних впливів, що додає складності та потребує додаткових ресурсів для обробки даних.

Ще одним суттєвим фактором є обмеження, пов'язані з часом зйомки. Зйомка, виконана в різні пори року, може відображати різні умови на земній поверхні, оскільки сезонні зміни, такі як наявність рослинності, рівень води в річках і озерах, можуть істотно змінювати вигляд території. Якщо знімки отримуються в несприятливий час, наприклад, під час повені або після тривалих дощів, вони можуть відображати тимчасові зміни, які не були б характерними для інших періодів року. Врахування таких умов є етапом при аналізі знімків, оскільки в таких випадках потрібно вдаватися до використання додаткових даних, щоб уникнути помилок в картографічному продукті.

Не менш значущим обмеженням для сучасних технологій картографування стала недостатність просторового покриття, що виникає при картографуванні великих територій. Для забезпечення повного і точного відображення великої ділянки земної поверхні зазвичай потрібно кілька аерофотознімків, що покривають різні частини цієї території. Однак, таке поєднання знімків завжди супроводжується проблемою їх перекриття, адже кожен знімок може мати незначні похибки, що виникають через різні кути зйомки, варіації в параметрах апаратури, а також відмінності в умовах зйомки, таких як погода та час доби. Ці похибки можуть бути як геометричними, так і спектральними, що створює труднощі при точному поєднанні зображень.

Однією з основних проблем, пов'язаних з недостатністю просторового покриття, є невідповідність меж сусідніх знімків. Якщо точність ідентифікації об'єктів на одному знімку знижується через невірне поєднання з іншими знімками, це може призвести до спотворення контурів об'єктів, таких як будівлі, дороги або природні елементи ландшафту. Спотворення кордонів і меж об'єктів на суміжних знімках може мати серйозні наслідки для точності і коректності отриманих карт, адже в таких випадках межі об'єктів на картах не відповідають реальному розташуванню, що призводить до помилок в подальших географічних і топографічних аналізах.

Додатково, недосконале поєднання аерофотознімків також може впливати на створення 3D-моделей місцевості, оскільки для коректної побудови таких моделей, щоб усі знімки точно збігалися, а їхня геометрична точність була високою. В іншому разі, моделі можуть виявлятися деформованими, з викривленими контурними лініями або неправильно відображеними висотними характеристиками. Для вирішення цієї проблеми часто застосовуються спеціальні алгоритми корекції, що дозволяють компенсувати незначні похибки і забезпечити точне накладання зображень, проте навіть такі методи не завжди дозволяють уникнути дрібних деформацій, що можуть вплинути на кінцевий результат картографічного продукту.

Одним з основних обмежень сучасних технологій картографування було питання збереження та обробки великих обсягів даних. Створення детальних карт, зокрема моделювання складних ландшафтів або створення 3D-моделей місцевості, вимагало значних обчислювальних ресурсів. У процесі картографування через використання аерофотознімків та дистанційного зондування Землі генерувалося величезна кількість даних, що містили як зображення, так і геопросторову інформацію. Ці дані мали високий рівень деталізації та складності, що робило їх обробку та збереження викликом для сучасних технологій.

Проблема обробки великих обсягів даних полягала в тому, що для їх аналізу і використання в картографічних продуктах необхідні були потужні комп'ютери з високими характеристиками по обчислювальній здатності, обсягу пам'яті та швидкості обробки інформації. Процеси, такі як злиття знімків, корекція геометричних спотворень, створення цифрових моделей рельєфу та 3D-моделей, вимагали значних витрат часу та ресурсів. У зв'язку з цим виникала потреба в спеціалізованому програмному забезпеченні, здатному обробляти та інтегрувати великий обсяг інформації, що включає в себе як дані про земну поверхню, так і численні параметри знімків.

За винятком цього, ще однією значною проблемою було зберігання таких даних. Великі обсяги інформації, отриманої під час картографування, потребували великих обсягів сховищ даних та надійних систем резервного копіювання. Це означало, що організації, які працювали з картографічними технологіями, мусили інвестувати в інфраструктуру для зберігання даних, що значно збільшувало витрати на реалізацію таких проектів.

Також фактором, що обмежував ефективне використання цих технологій, була необхідність у висококваліфікованих спеціалістах. Для роботи з великими даними потрібні були фахівці, які володіли не лише знаннями в області картографії, а й навичками обробки та аналізу великих масивів інформації. За винятком того, розробка та підтримка програмного забезпечення, що дозволяло ефективно опрацьовувати дані, вимагала значних зусиль з боку ІТ-фахівців.

Ці фактори разом створювали додаткові бар'єри для широкомасштабного впровадження сучасних картографічних технологій. Обмеження в потужностях обчислювальних ресурсів, вимоги до спеціалізованого програмного забезпечення, а також потреба в висококваліфікованих кадрах значно ускладнювали процес масового застосування таких технологій для картографування великих територій, що могло обмежити ефективність і доступність цих технологій для більшості користувачів та організацій.

Ще одним обмеженням стала потреба в точній калібровці сенсорів та обробці даних з різних джерел. Технології, що використовуються для збору даних, такі як дистанційне зондування чи лазерне сканування, вимагали високої точності у налаштуванні сенсорів для забезпечення коректності отриманих зображень. Неоднорідність даних, отриманих з різних датчиків або платформ, а також наявність помилок у процесі калібрування сенсорів, часто ставала причиною виникнення похибок, що ускладнювало інтеграцію інформації з різних джерел.

Необхідною проблемою для сучасних картографічних технологій було також обмежене охоплення всіх можливих варіантів змін, які могли відбуватися на земній поверхні. Карти, створені на основі аерофотознімків або супутникових знімків, надавали лише точні відображення місцевості в момент зйомки. Зміни, що відбувалися після цього, не були зафіксовані, тому постійна актуалізація карт потребувала нових зйомок або додаткових даних, що збільшувало витрати на картографічну діяльність.

За винятком того, використання сучасних технологій у картографії також стикається з питаннями етики та конфіденційності. Збір даних через дистанційне зондування чи аерофотознімання може включати відображення приватних територій або чутливої інфраструктури. Це ставало проблемою для країни чи організації, що займалася картографуванням, оскільки на деякі зображення та дані могла накладатися заборона на публікацію чи поширення через їхню конфіденційність.

Не останнім обмеженням було й те, що сучасні технології потребували значних фінансових витрат. Залучення потужних апаратів, таких як супутники, літаки та дрони, а також використання складного програмного забезпечення, створювало значні економічні витрати, що не завжди могли бути покриті бюджетом для створення картографічних продуктів, особливо для великих та некомерційних проектів.

Таким чином, обмеження застосування сучасних технологій у створенні карт були пов'язані з різними функціями, такими як точність первинних даних, геометрична точність зображень, технічні та фінансові обмеження, а також необхідність постійної актуалізації картографічної інформації. Врахування цих факторів ставало етапом у процесі картографування, оскільки вони безпосередньо впливали на кінцеву якість картографічного продукту.

ВИСНОВКИ

Одним з основних обмежень у використанні даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для створення великомасштабних карт є залежність від якості первинних даних, що суттєво впливає на точність кінцевого продукту. Однією з головних проблем є роздільна здатність аерознімків, яка може варіюватися в залежності від типу використовуваної апаратури. Якщо роздільна здатність знімків недостатня для чіткого відображення дрібних об'єктів на земній поверхні, це призводить до зниження точності картографічних продуктів. Технічні обмеження при отриманні зображень, особливо на великих територіях, змушують використовувати знімки з низькою деталізацією, що може призвести до втрати характеристик місцевості. Технічні характеристики камер аерофотознімків безпосередньо впливають на здатність розпізнавати та точно відображати дрібні об'єкти, які можуть бути для подальшого картографування.

Несприятливі погодні умови під час зйомки є ще одним значним обмеженням. У випадку, коли зйомка проводиться в умовах хмарності, туману, дощу або інших атмосферних явищ, які перешкоджають отриманню чітких зображень, точність даних зменшується. Ці атмосферні фактори можуть спотворювати зображення, що у свою чергу ускладнює процес їх подальшої обробки та аналізу. Хмари, наприклад, можуть затіняти частину території, що робить неможливим детальне вивчення всіх об'єктів на земній поверхні. Туман або дощ також можуть призвести до розмиття зображень, що погіршує їх якість і ускладнює процес корекції таких спотворень.

За винятком того, атмосферні спотворення негативно впливають на якість зображень, особливо коли зйомка проводиться на великих територіях або при використанні супутникових технологій. Це вимагає значних зусиль для корекції таких дефектів. В таких випадках зображення потребують додаткової обробки для корекції кольору, контрасту, а також для зменшення впливу атмосферних спотворень на точність кінцевих результатів. Оскільки кожен етап обробки

вимагає значних обчислювальних ресурсів і часу, це збільшує витрати на реалізацію проектів з використанням ДЗЗ.

Отже, фактори, такі як роздільна здатність знімків, несприятливі погодні умови під час зйомки та атмосферні спотворення, суттєво ускладнюють процес обробки та аналізу даних, що використовуються для створення точних великомасштабних карт. Це зумовлює необхідність в удосконаленні методів обробки зображень, розвитку нових технологій для корекції геометричних викривлень та спотворень, а також підвищення точності та надійності отримуваних картографічних даних.

Одним з обмежень, що виникли під час створення детальних карт за допомогою сучасних технологій, стало питання збереження та обробки великих обсягів даних. Процеси, пов'язані зі створенням точних і детальних картографічних продуктів, зокрема моделювання складних ландшафтів або створення 3D-моделей місцевості, вимагали значних обчислювальних потужностей. Це означало необхідність наявності спеціалізованої комп'ютерної техніки з високими характеристиками, здатної обробляти величезні масиви даних, що генеруються в процесі збору та аналізу зображень. Програми, що використовуються для обробки таких даних, повинні бути потужними і здатними працювати з великою кількістю інформації без значних затримок або збиткових помилок. Технології, що забезпечують створення детальних карт, вимагали також кваліфікації спеціалістів, які працюють з цими даними. Без достатнього рівня підготовки, навіть найкраща техніка та програмне забезпечення не могли забезпечити ефективний процес обробки та точне картографування.

Особливу проблему становили високі вимоги до обчислювальних ресурсів, необхідних для ефективної обробки даних. При створенні великомасштабних карт використовувалася велика кількість знімків, які потребували комплексної обробки, що включало корекцію геометричних спотворень, покращення якості зображень, а також перерахунок просторових характеристик для точності картографічних результатів. Ці завдання ставали

значним бар'єром, оскільки для їх виконання потрібно було значно більше часу та ресурсів, ніж для більш простих картографічних задач. При наявності великих територій для картографування, обробка всіх необхідних знімків у високій якості ставала досить затратною, а використання застарілої або недостатньо потужної техніки лише погіршувало ситуацію, збільшуючи час виконання проекту та вартість послуг.

Ще одним обмеженням стало недостатнє просторове покриття територій. Для створення карт великих територій часто вимагалось використовувати декілька знімків, що покривали окремі частини місцевості. Однак при цьому виникала проблема з узгодженням знімків між собою. Знімки, зроблені з різних ракурсів або в різний час, могли мати незначні похибки, пов'язані з положенням апаратури, кутами зйомки, а також із змінами в атмосферних умовах. Це призводило до геометричних неточностей, які ставали особливо очевидними при порівнянні сусідніх знімків. Відсутність точного збігу між ними часто спричиняла спотворення контурів об'єктів, що негативно впливало на точність створених карт.

Таким чином, проблема просторового покриття територій і корекція похибок між знімками залишалася однією з найбільших труднощів при використанні технологій дистанційного зондування Землі для створення карт. Для досягнення точності необхідно було постійно вдосконалювати методи обробки зображень та інтеграції даних з різних джерел, щоб зменшити вплив цих похибок на кінцевий результат.

Перспективи подальших досліджень у сфері використання даних ДЗЗ для створення великомасштабних карт зумовлені необхідністю вирішення існуючих проблем і розвитку нових технологій. Перш за все, напрямом є вдосконалення методів обробки зображень, що дозволить значно зменшити вплив атмосферних спотворень на якість даних. Оскільки атмосферні явища, такі як хмари, туман або пил, часто спотворюють зображення, це ускладнює процес створення карт і знижує точність результатів. Одним з перспективних напрямів

є розвиток нових алгоритмів обробки зображень, які зможуть більш ефективно коригувати ці спотворення та забезпечити високу точність даних.

Також є вдосконалення технологій інтеграції даних, що надходять з різних джерел, для підвищення точності створення карт. Використання методів машинного навчання та штучного інтелекту для автоматичної обробки та аналізу великих обсягів даних може значно полегшити процес інтеграції різних типів зображень, забезпечуючи більшу точність і швидкість роботи. Це дозволить створювати карти, які будуть не тільки точними, але й більш адаптованими до змін в умовах навколишнього середовища.

Розвиток нових технологій в обробці даних ДЗЗ та інтеграції різних джерел зображень дасть змогу створювати карти з вищою точністю та меншими витратами часу і ресурсів. Ці дослідження сприятимуть більш широкому застосуванню сучасних картографічних технологій у різних галузях, зокрема у містобудуванні, екології, сільському господарстві та інженерії, забезпечуючи більш ефективне управління природними ресурсами і розвитку інфраструктури.

Ще одним напрямом є покращення просторового покриття картографованих територій за допомогою аерофотознімків. Для цього необхідно розробляти нові методи інтеграції даних, які дозволяють поєднувати зображення, отримані з різних джерел, таких як супутникові знімки та аерофотознімки. Поєднання цих даних дозволить значно зменшити геометричні спотворення, які можуть виникати через різний кут огляду або зміни в умовах зйомки. Використання новітніх методів геометричної корекції, таких як автоматичне вирівнювання зображень за допомогою алгоритмів обробки даних, дасть змогу знизити вплив таких спотворень на точність створених карт і підвищить їх надійність.

Необхідною частиною розвитку технологій картографування є також вдосконалення інфраструктури для зберігання та обробки великих обсягів даних. Розробка більш потужних і доступних засобів для зберігання інформації, таких як хмарні платформи, а також зростаюча потужність обчислювальних

ресурсів дозволяють зменшити час, необхідний для обробки великих масивів даних. Нові підходи до зберігання даних дозволяють обробляти знімки в реальному часі, що значно прискорює процес створення карт.

У перспективі це дозволить створювати ще більш точні картографічні продукти, що зможуть відображати зміни в ландшафтах і природних ресурсах в режимі реального часу. Зокрема, технології створення цифрових карт і 3D-моделей, використовуючи високоточні знімки і нові методи обробки, зможуть значно покращити як точність, так і ефективність процесу картографування, дозволяючи більш оперативно реагувати на зміни в природному середовищі. Такі картографічні продукти можуть бути використані в різних галузях, таких як екологія, міське планування, агрономія та інженерія, надаючи фахівцям точну інформацію для прийняття рішень і управління ресурсами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Багато спектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. Під ред. Лялька В.І., 2006.
2. Білоус В.В., Боднар С.П., Курач Т.М., Молочко А.М., Паниченко Г.О., Підлісецька І.О. Дистанційне зондування з основами фотограмкрії: навчальний посібник. К.: Видавництво – поліграфічний центр «Київський університет», 2011.-367с.
3. Бурштинська Х.В. Аерокосмічні знімальні системи: навч. пос., Львів, 2010. – 292 с.
4. Космічні та геоінформаційні системи: навч. посіб. / О.О.Железняк, В.І.Зацерковний, В.С.Кислюк, О.Є.Ніколаєнко. – Ніжин: НДУ ім.М.Гоголя, 2016. – 374 с.
5. Кохан С.С., Востоков А.Б., Леонтьєв О.О. Дистанційне зондування Землі. 2010. – 300 с.
6. Кохан С.С., Востоков А.Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: Підручник / - К.: Вища шк., 2009. – 511 с.
7. Курач Т.М. Цифрове оброблення та дешифрування знімків: конспект лекцій <https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/12/kurach-tczo-konspekt-lekczij.pdf>
8. Курач Т.М., Підлісецька І.О. Методичні вказівки до виконання робіт із курсу «Основи дистанційного зондування Землі» - К., ЛГТ, 2019. – 34 с.
9. Манойлов В.П., Омельчук В.В., Опанюк В.В. Дистанційне зондування Землі із Космосу: науково-технічні основи формування й обробки видової інформації: Монографія. –Житомир: ЖДТУ, 2008. – 384 с.
10. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч.посіб./ С. О. Довгий, В. І. Лялько, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко, Л. Я. Юрків. — К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. — 316 с.

11. Abdollahi A., Pradhan B., Shukla N., Chakraborty S., Alamri A. Deep learning approaches applied to remote sensing datasets for road extraction: a state-of-the-art review // *Remote Sens.* – 2020. – Vol. 12, No. 9. – P. 1444.
12. Abraham N., Khan N. M. A novel focal tversky loss function with improved attention u-net for lesion segmentation // *2019 IEEE 16th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2019).* – IEEE, 2019. – P. 683–687.
13. Abriha D., Szabó S. Strategies in training deep learning models to extract building from multisource images with small training sample sizes // *Int. J. Digit. Earth.* – 2023. – Vol. 16, No. 1. – P. 1707–1724.
14. Adimoolam Y. K., Chatterjee B., Poullis C., Averkiou M. Efficient deduplication and leakage detection in large scale image datasets with a focus on the crowdAI mapping challenge dataset // *arXiv preprint arXiv:2304.02296.* – 2023.
15. Bittner K., Adam F., Cui S., Körner M., Reinartz P. Building footprint extraction from VHR remote sensing images combined with normalized DSMs using fused fully convolutional networks // *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observ. Remote Sens.* – 2018. – Vol. 11, No. 8. – P. 2615–2629.
16. Burke M., Driscoll A., Lobell D. B., Ermon S. Using satellite imagery to understand and promote sustainable development // *Science.* – 2021. – Vol. 371, No. 6535.
17. Cao D., Ing H., Wong M. S., Kwan M. P., Xing H., Meng Y. A stacking ensemble deep learning model for building extraction from remote sensing images // *Remote Sens.* – 2021. – Vol. 13, No. 19. – P. 3898.
18. Chen K., Zou Z., Shi Z. Building extraction from remote sensing images with sparse token transformers // *Remote Sens.* – 2021. – Vol. 13, No. 21. – P. 4441.
19. Chen Z., Deng L., Luo Y., Li D., Junior J. M., Gonçalves W. N., Li D. Road extraction in remote sensing data: a survey // *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform.* – 2022. – Vol. 112. – P. 102833.
20. Demir I., Koperski K., Lindenbaum D., Pang G., Huang J., Basu S., Raskar R. Deepglobe 2018: a challenge to parse the earth through satellite images //

Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. – 2018. – P. 172–181.

21. Dieye F., Lénack L., Nsengiyumva Y., de Viron P., Ngirabacu V., Rust K., Setzler J. Study on the housing market and low-cost and efficient building materials and technologies // Ministry of Infrastructure, Rwanda Housing Authority, Development Bank of Rwanda, 2023.

22. Ganaie M. A., Hu M., Malik A. K., Tanveer M., Suganthan P. N. Ensemble deep learning: a review // Eng. Appl. Artif. Intell. – 2022. – Vol. 115. – P. 105151.

23. He S., Bastani F., Jagwani S., Alizadeh M., Balakrishnan H., Chawla S., Sadeghi M. A. Sat2graph: road graph extraction through graph-tensor encoding // European Conference on Computer Vision. – Cham: Springer, 2020. – P. 51–67.

24. Ji S., Wei S., Lu M. Fully convolutional networks for multisource building extraction from an open aerial and satellite imagery data set // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 2019. – Vol. 57, No. 1. – P. 574–586.

25. Jiang X., Gao T., Zhu Z., Zhao Y. Real-time face mask detection method based on YOLOv3 // Electronics. – 2021. – Vol. 10, No. 7. – P. 837.

26. Jiang X., Li Y., Jiang T., Xie J., Wu Y., Cai Q., Zhang H. RoadFormer: Pyramidal deformable vision transformers for road network extraction with remote sensing images // Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform. – 2022. – Vol. 113. – P. 102987.

27. Li H., Herfort B., Lautenbach S., Chen J., Zipf A. Improving OpenStreetMap missing building detection using few-shot transfer learning in sub-Saharan Africa // Trans. GIS. – 2022. – P. 1–22.

28. Lian R., Huang L. DeepWindow: Sliding window based on deep learning for road extraction from remote sensing images // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observ. Remote Sens. – 2020. – Vol. 13. – P. 1905–1916.

29. Lian R., Wang W., Mustafa N., Huang L. Road extraction methods in high-resolution remote sensing images: a comprehensive review // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observ. Remote Sens. – 2020. – Vol. 13. – P. 5489–5507.

30. Luo L., Pengpeng L., Yan X. Deep learning-based building extraction from remote sensing images: a comprehensive review // *Energies*. – 2021. – Vol. 14, No. 23. – P. 7982.
31. Luo M., Ji S., Wei S. A diverse large-scale building dataset and a novel plug-and-play domain generalization method for building extraction // *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observ. Remote Sens.* – 2023.
32. Ma L., Liu Y., Zhang X., Ye Y., Yin G., Johnson B. A. Deep learning in remote sensing applications: a meta-analysis and review // *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* – 2019. – Vol. 152. – P. 166–177.
33. Meyer H., Pebesma E. Predicting into unknown space? Estimating the area of applicability of spatial prediction models // *Method Ecol. Evol.* – 2021. – Vol. 12, No. 9. – P. 1620–1633.
34. Meyer H., Pebesma E. Machine learning-based global maps of ecological variables and the challenge of assessing them // *Nat. Commun.* – 2022. – Vol. 13, No. 1. – P. 2208.
35. Mohanty S. P., Czakon J., Kaczmarek K. A., Pyskir A., Tarasiewicz P., Kunwar S., Schilling M. Deep learning for understanding satellite imagery: an experimental survey // *Front. Artif. Intell.* – 2020. – Vol. 3. – P. 534696.
36. Padilla R., Netto S. L., Da Silva E. A. A survey on performance metrics for object-detection algorithms // *2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*. – IEEE, 2020. – P. 237–242.
37. Pasquali G., Iannelli G. C., Dell’Acqua F. Building footprint extraction from multispectral, spaceborne earth observation datasets using a structurally optimized U-Net convolutional neural network // *Remote Sens.* – 2019. – Vol. 11, No. 23. – P. 2803.
38. Persello C., Wegner J. D., Hänsch R., Tuia D., Ghamisi P., Koeva M., Camps-Valls G. Deep learning and earth observation to support the sustainable development goals: current approaches, open challenges, and future opportunities // *IEEE Geosci. Remote Sens. Mag.* – 2022. – Vol. 10, No. 2. – P. 172–200.

39. Roscher R., Rußwurm M., Gevaert C., Kampffmeyer M., Santos J. A. D., Vakalopoulou M., Tuia D. Data-centric machine learning for Geospatial remote sensing data // arXiv preprint arXiv:2312.05327. – 2023.
40. Sirko W., Kashubin S., Ritter M., Annkah A., Bouchareb Y. S. E., Dauphin Y., Quinn J. (2021). Continental-scale building detection from high-resolution satellite imagery. arXiv preprint arXiv:2107.12283.
41. https://www.google.com/imgres?q=%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B5%20%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82&imgurl=http%3A%2F%2Fwdc.org.ua%2Fatlas%2Fassets%2FPage54_2.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwdc.org.ua%2Fatlas%2F2010400.html&docid=gKagdYLMOHebQM&tbnid=HhgsD4zVIwqcyM&vet=12ahUKEwjGyMiVo5SMAxVIU1UIHcTDKKkQM3oECEYQAA..i&w=543&h=450&hcb=2&ved=2ahUKEwjGyMiVo5SMAxVIU1UIHcTDKKkQM3oECEYQAA
42. <https://www.google.com/imgres?q=%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D1%96%20%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B8&imgurl=https%3A%2F%2Fwww.smartfarming.ua%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F12%2Felektronna-karta-poliv.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.smartfarming.ua%2Felektronna-karta-poliv-yak-stvoryuvaty-i-de-vykorystovuvaty%2F&docid=-4EvuefEkpagaM&tbnid=oR1ljOwJVKN9OM&vet=12ahUKEwiUv-zDo5SMAxWfHhAIHSA4AiQQM3oECBoQAA..i&w=1200&h=595&hcb=2&ved=2ahUKEwiUv-zDo5SMAxWfHhAIHSA4AiQQM3oECBoQAA>
43. https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fhackyourmom.com%2Fkibervijna%2Fobrobka-aerofotoznimkiv-v-qgis%2F&psig=AOvVaw2RCc_66fegepkL1omSospQ&ust=1742410498157000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCOCmv4qnllwDFQAAAAAdAAAAABAE

ДОДАТКИ

Додаток А

Кількісні характеристики етапів обробки аерофотознімків та геопросторових даних для досліджень (час, точність, кількість зображень та покриття площі)

Етап/Технологія	Час(год ин)	Роздільна здатність (м/піксель)	Покритт я площі (км²/год)	Точність геореференс ування (%)	Кількість зображень (шт.)
Отримання аерофотознімків	2-4 години	0.1-0.3 м	10-20	98-99%	50-200
багатоспектраль ні	3-6 годин	0.5-1 м	15-30	95-97%	100-250
ортореєктифікаці я	1-3 години	0.1-0.5 м	5-10	99-100%	20-50
Покращення зображень	0.5-1 година	0.3-0.7 м	5-15	90-95%	30-80
Обробка даних (3д моделювання)	4-8 годин	0.2-0.5 м	10-25	98-100%	50-150

Додаток Б

Оцінка якості даних дистанційного зондування Землі: аналіз точності, розрізненості та спектральних характеристик для створення великомасштабних карт.

Параметр	Опис	Одиниці вимірування	Значення
Точність географічна	Вимірювання відхилення реальних координат об'єкта від координат, визначених за допомогою даних ДЗЗ	метри (м)	1-5 м (для високоточних супутників)
Точність спектральна	Вимірювання відхилення спектральних характеристик об'єкта від еталонних значень у різних спектральних діапазонах	відсотки (%)	2-10% (залежно від сенсора)
Розрізненість просторову	Мінімальна площа одиничного пікселя, яку можна чітко розрізнити у зображенні	метри (м)	10 м (для оптичних супутників)
Розрізненість	Мінімальна	нанометри (нм)	10-20 нм

спектральну	різниця у спектральних характеристиках, яку можна відрізнити між різними об'єктами		(залежно від сенсора)
Темп зйомки	Час між двома попередніми зйомками однієї та тієї ж території	дні	1-3 дні (для спутників з високою частотою проходу)
Коефіцієнт кореляції	Визначення ступеня схожості між різними каналами зображень або даними від різних сенсорів	безрозмірне значення	0.85-0.95 (висока кореляція)
Шум сигналу	Ступінь випадкових або систематичних помилоч, що виникають у даних ДЗЗ	безрозмірне значення	0.05-0.1 (незначний шум)

Додаток В**Аерофотознімок**

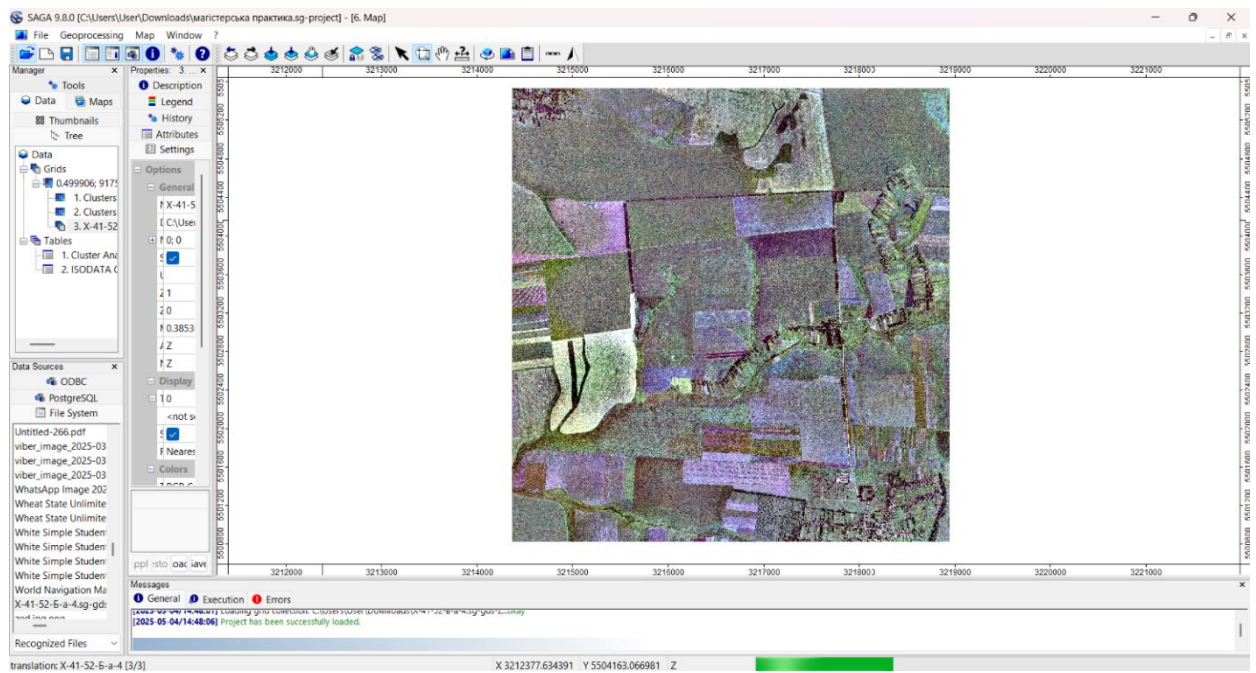
Додаток Д

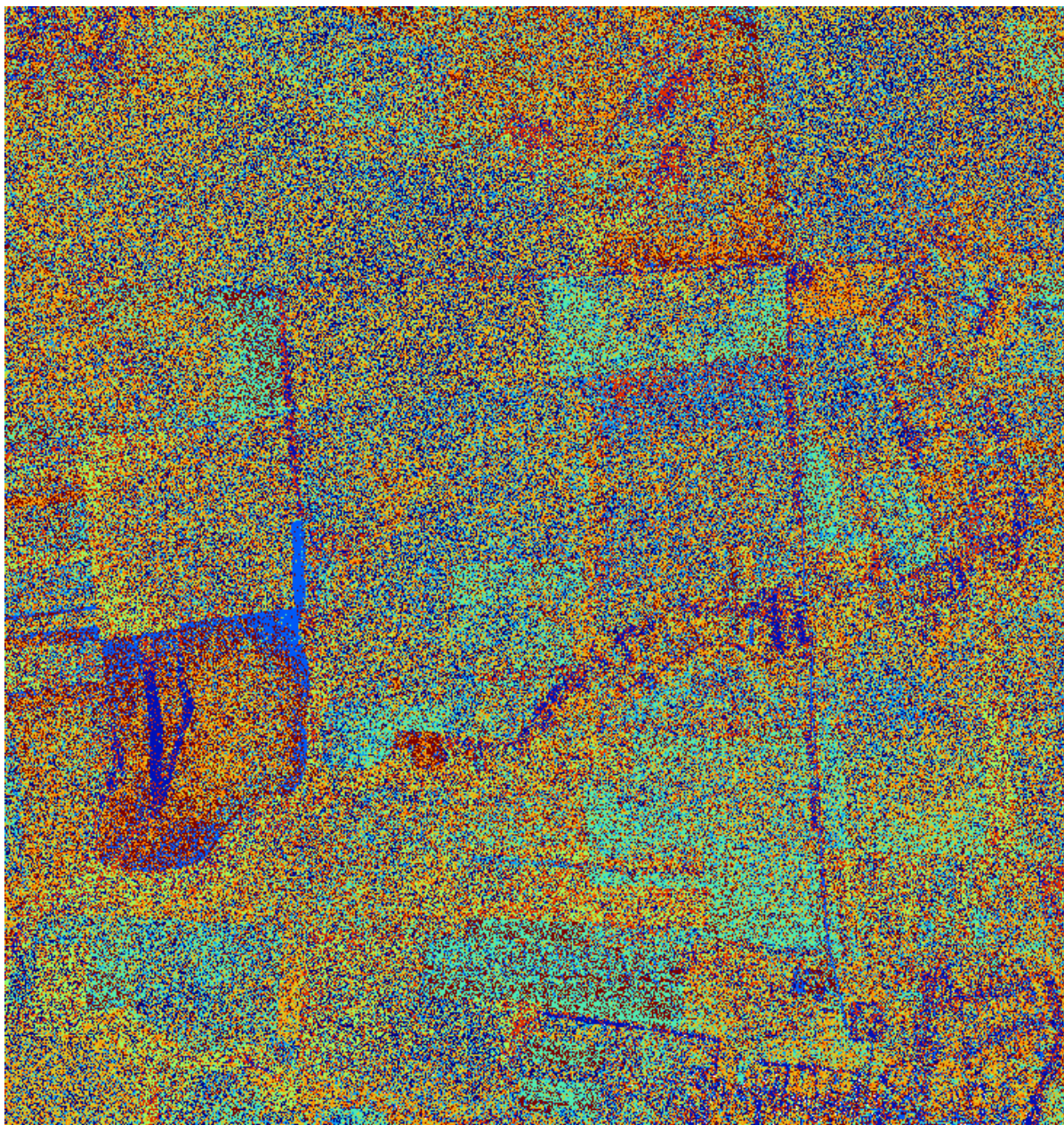
БПЛА DJI Phantom 4 RTK

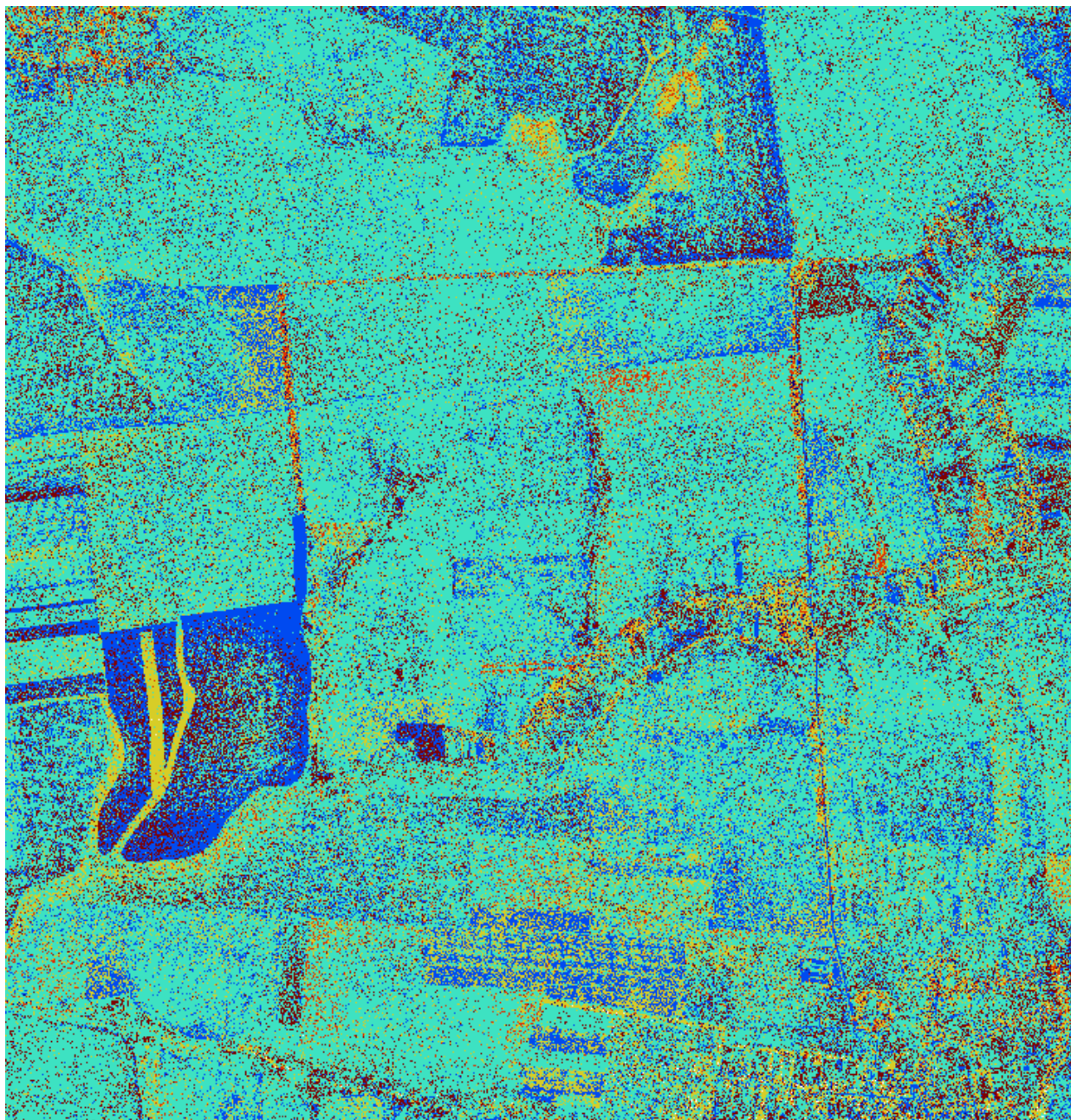


Додаток Ж

Налаштування параметрів класифікації



Додаток 3**Класифікація Isodata**

Додаток К**Класифікація К-середніх**

Додаток Л



Додаток М

