МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет ракетно-космічної техніки

Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі

Пояснювальна записка до _дипломного проєкту (роботи)_

(тип кваліфікаційної роботи)

магістр

(освітній ступінь)

на тему «Розробка методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій»

ХАІ.407.462м.24О193.1804080 ПЗ

Виконав: студент(ка) 2 курсу групи № 462м

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій
(код та найменування)

Освітня програма Геоінформаційні системи та технології
(найменування)

Туз В.І.
(прізвище та ініціали студента (ки))

Керівник: Горелик С.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: Полупан А.В.
(прізвище та ініціали)

Харків – 2024

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет ракетно – космічної техніки
Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»
(код та найменування)
Освітня програма Геоінформаційних систем та технологій
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Станіслав ГОРЕЛИК
(підпис) (ініціали та прізвище)
«23» жовтня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Тема випускної роботи «Розробка методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій»
керівник кваліфікаційної роботи Горелик С.І., к.т.н., доцент, зав. кафедри
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету №2001-уч від «15»листопада 2023 року
2. Термін подання студентом кваліфікаційної роботи 11.01.2024
3. Вихідні дані до роботи
1) Космічні знімки з супутника Landsat-8 та Sentinel-2
2) Геоінформаційне програмне забезпечення (пакет ArcGIS Pro, ArcMap)
4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати)
1. Проаналізувати можливості ідентифікації споруд по космічних знімках методами штучного інтелекту з використанням геоінформаційних систем
2. Визначення необхідних вхідних даних та програмного забезпечення
3. Розробка методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій
4. Практична реалізація розробленої методики з визначенням критеріїв ефективності
Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу
Супутникові знімки з Landsat-8 та Sentinel-2. Таблиця характеристик до космічного обладнання. Таблиця основних вимог до програмного забезпечення для виконання ідентифікації споруд на знімках. Структурна схема роботи. Зображення, зроблені під час розробки методики використання «AI» для створення картографічних моделей. Діаграма часових витрат.

Діаграма відсотку ідентифікованих споруд по космічних знімках різними підходами. Діаграма точності визначення споруд по космічних знімках різними підходами. Приклади бібліотек «AI». Картографічні моделі виконаної роботи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Горелик С.І. *Доцент*	23.10.2023	11.01.2024

Нормоконтроль _Красовська І.Г._ «___15_» ____01____2024 р.

7. Дата видачі завдання_____23.10.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфіка-ційної роботи	Приміт ка
1	Аналіз стану геоінформаційних технологій з появою штучного інтелекту	23.10.23-06.11.23	
2	Актуальність розробки картографічних моделей за допомого бібліотек машиного навчання	06.11.23-22.11.23	
3	Аналіз особливостей використання програмного забезпечення та даних ДЗЗ для ідентифікації об'єктів за допомогою «AI»	22.11.23-17.12.23	
4	Розробка методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій	17.12.23-28.12.23	
5	Аналіз результатів розробки методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій	28.12.23-02.01.24	
7	Написання пояснювальної записки	02.01.24-11.01.24	

Студентка _____ Вікторія ТУЗ
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник дипломної (кваліфікаційної) роботи _____ Станислав ГОРЕЛИК
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи магістра містить: 56 сторінок, 29 рисунків, 5 таблиці, 18 джерел, додаток А-К.

Актуальність використання методу побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій пов'язана з численними факторами, які роблять це поєднання потужним інструментом для аналізу просторових даних та прийняття рішень.

Сучасні ГІС збирають та обробляють величезні обсяги геопросторових даних з різних джерел, таких як супутники, дрони, сенсори та соціальні медіа. «AI» може ефективно обробляти та аналізувати великий обсяг інформації, виявляючи шаблони та надаючи цінні відомості. Це дозволяє автоматизувати багато задач в ГІС, таких як ідентифікація об'єктів за даними ДЗЗ, класифікація ґрунтів, аналіз рельєфу та інші.

Програмне забезпечення «ArcGisPro» додатково включає в собі такі технології «AI», як комп'ютерний зір та глибоке навчання, що можуть використовуватися для обробки та аналізу геопросторових зображень та відео.

Результат побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту корисно використовувати для моніторингу змін у навколишньому середовищі, виявлення об'єктів та класифікації природних явищ. А також, це зменшує навантаження на операторів та збільшує ефективність роботи систем.

Мета роботи: Підвищення ефективності визначення споруд за рахунок використання геоінформаційних технологій та штучного інтелекту.

Предмет досліджень: Методика побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій.

Отримані результати:

1. Аналіз можливостей ідентифікації споруд по космічних знімках методами штучного інтелекту з використанням геоінформаційних систем

показав, що існують багато різноманітних бібліотек «AI» з визначенні різнотипних об’єктів у «ArcGISPro».

2. Для реалізації розробленої методики необхідно використання космічних знімків з високим просторовим розрізненням та бібліотек «AI» з найбільшою точністю ідентифікації споруд.

3. Розроблена методика побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій показала, що використання «AI» значно підвищує ефективність ідентифікації споруд. При цьому часові витрати на ідентифікацію будівель при використанні «AI» в 3 рази менше ніж при ручній векторизації.

Ключові слова: ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, ГЕОДЕЗІЯ, КАРТОГРАФІЧНА МОДЕЛЬ, АНАЛІЗ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ГЕОІФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

ABSTRACT

An explanatory note to the graduate paper includes: 56 pages, 29 figures, 5 tables, 18 sources, Appendix A-K.

The relevance of using the method of building cartographic models with the help of artificial intelligence with the use of geoinformation technologies is connected with numerous factors that make this combination a powerful tool for spatial data analysis and decision-making.

Modern GIS collect and process vast amounts of geospatial data from various sources such as satellites, drones, sensors and social media. AI can efficiently process and analyze large amounts of information, identifying patterns and providing valuable insights. This allows you to automate many tasks in GIS, such as object identification based on DZZ data, soil classification, terrain analysis, and others.

ArcGisPro software additionally includes AI technologies such as computer vision and deep learning that can be used to process and analyze geospatial images and videos.

The result of building cartographic models with the help of artificial intelligence is useful for monitoring changes in the environment, detecting objects and classifying natural phenomena. Also, it reduces the burden on operators and increases the efficiency of the systems.

The purpose of the work: Increasing the efficiency of the identification of structures due to the use of geoinformation technologies and artificial intelligence.

Subject of research: Methodology of building cartographic models with the help of artificial intelligence with the use of geo-information technologies.

Obtained results:

1. An analysis of the possibilities of identifying buildings from space images using artificial intelligence methods using geoinformation systems showed that there are many different AI libraries for identifying various types of objects in ArcGISPro.

2. To implement the developed methodology, it is necessary to use space images with high spatial resolution and "AI" libraries with the highest accuracy of identification of structures.

3. The developed method of building cartographic models with the help of artificial intelligence with the use of geoinformation technologies showed that the use of "AI" significantly increases the efficiency of identification of buildings. At the same time, the time spent on building identification when using "AI" is 3 times less than when using manual vectorization.

Keywords: GEO-INFORMATION SYSTEM, GEODESY, CARTOGRAPHIC MODEL, ANALYSIS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN GEO-INFORMATION TECHNOLOGIES

ЗМІСТ

ВСТУП 10

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ 12

1.1 Процес роботи та аналіз загальних можливостей і недоліків «AI» 12

1.2 Розвиток «AI» в геоінформаційних системах та його ефективність у рішенні певних проблем 15

1.3 Опис поєднання геоінформаційних технологій та новітнього функціоналу штучного інтелекту 17

1.4. Перелік функціональності «AI» в програмному середовищі «ArcGisPro». 18

РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ДО ВХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ 20

2.1 Структурно-логічна схема формування карт за допомогою штучного інтелекту в геоінформаційних системах 20

2.2 Дешифрувальні роботи 21

2.3 Основні характеристики та вимоги до космічного обладнання 22

2.4 Етап векторизації (в ручну) супутникового знімку Landsat-8 в програмному забезпечені ArcMap 24

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБКИ МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 31

3.1 Основні вимоги до технічного та програмного забезпечення для побудови картографічної моделі за допомогою «AI» 31

3.2 Розробка методики побудови картографічної моделі за допомогою штучного інтелекту «AI» 39

3.3 Порівняння результатів та аналіз дослідження 48

ВИСНОВКИ 55

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 56

ДОДАТОК А Плакат за темою «Розробка методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій» 58

ДОДАТОК Б Презентація за темою темою «Розробка методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій» 59

ВСТУП

Сучасні ГІС збирають та обробляють величезні обсяги геопросторових даних з різних джерел, таких як супутники, дрони, сенсори та соціальні медіа. «AI» може ефективно обробляти та аналізувати великий обсяг інформації, виявляючи шаблони та надаючи цінні відомості. Це дозволяє автоматизувати багато задач в ГІС, таких як ідентифікація об'єктів за даними ДЗЗ, класифікація ґрунтів, аналіз рельєфу та інші. Програмне забезпечення «ArcGisPro» додатково включає в собі такі технології «AI», як комп'ютерний зір та глибоке навчання, що можуть використовуватися для обробки та аналізу геопросторових зображень та відео.

Актуальність використання методу побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій пов'язана з численними факторами, які роблять це поєднання потужним інструментом для аналізу просторових даних та прийняття рішень.

Першочергово до розробки методики були поставлені основні завдання:

1. Проаналізувати можливості ідентифікації споруд по космічних знімках методами штучного інтелекту з використанням геоінформаційних систем

2. Визначення необхідних вхідних даних та програмного забезпечення

3. Розробка методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій

4. Практична реалізація розробленої методики з визначенням критеріїв ефективності

У результаті чого, побудова картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту буде корисна для моніторингу змін у навколишньому середовищі, виявлення об'єктів та класифікації природних явищ. А також, доведемо гіпотезу «Чи насправді навантаження на операторів при використані «AI» зменшеться, а ефективність роботи систем збільшится?»

Метою даної роботи є дослідження підвищення ефективності визначення споруд за рахунок використання геоінформаційних технологій та штучного інтелекту.

Об’єктом дослідження являється процес ідентифікації споруд за космічними знімками за допомогою штучного інтелекту.

Предмет досліджень – методика побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

1.1 Процес роботи та аналіз загальних можливостей і недоліків «AI»

Штучний інтелект «AI» - це галузь науки та технології, присвячена створенню систем і алгоритмів, які здатні виконувати завдання, що потребують інтелектуальних здібностей, властивих людині. Ці здібності включають в себе навчання, аналіз даних, розпізнавання образів, прийняття рішень та багато іншого, схожістю на модель людського мислення.

Існує багато різних підходів до реалізації «AI», включаючи символічний «AI», машинне навчання, нейронні мережі та багато інше. У сучасній науці та технології «AI» відіграє важливу роль у багатьох галузях, включаючи медицину, автомобільну промисловість, фінанси, галузь ігор та інші.

Важливо відзначити, що «AI» - це широкий, різноманітний набір технологій та методів, і він постійно розвивається. Деякі з найсучасніших розробок включають глибоке навчання та нейронні мережі, які демонструють вражаючі результати в таких галузях, як розпізнавання образів, обробка розмовної мови та багато іншого.

Навчання штучного інтелекту складається з безлічі методів, починаючи зі збору та попередньої обробки даних, вибору відповідної моделі та її навчання на навчальних даних, а потім тестування та валідації на нових даних. Додаткові етапи можуть включати доопрацювання, оптимізацію та інтеграцію моделі в робоче середовище. Ефективне навчання штучного інтелекту потребує уваги до кожного з етапів та постійного аналізу результатів для досягнення високого рівня точності та надійності моделі.

Навчання та адаптації штучного інтелекту починається зі збору даних. Основою роботи «AI» є аналіз великих обсягів даних. Алгоритми машинного навчання використовують ці дані для виявлення закономірностей та навчання на них. Надалі зібрані дані піддаються попередній обробці, щоб зробити їх

придатними для аналізу. Це може включати в себе очищення даних від помилок, нормалізацію та інші перетворення. Після чого визначається, який тип моделі машинного навчання буде використовуватися для вирішення завдання. Наприклад, це може бути штучна нейронна мережа.

Модель навчається на підготовлених даних. У процесі навчання, модель аналізує дані, виявляє залежності і налаштовує свої параметри для передбачення правильних результатів. Після навчання моделі необхідно перевірити її на даних, які вона раніше не бачила, щоб переконатися, що вона добре узагальнює знання. Навчена модель може бути використана для вирішення конкретних задач, передбачаючи результати на нових даних. Якщо результати не задовільні, модель може бути донавчена на додаткових даних або алгоритми можуть бути оптимізовані. Також соделі «AI» можуть потребувати регулярного моніторингу та оновлення, особливо якщо характер даних змінюється з часом.

Ці кроки представляють собою загальний процес, проте на практиці кожна задача може вимагати свого підходу та методів машинного навчання. «AI» може бути використаний у найрізноманітніших галузях, від розпізнавання мови до аналізу зображень та автоматизації процесів.

Згорткові нейронні мережі виявляються більш ефективними за людей у багатьох завданнях, включаючи класифікацію об'єктів. Після аналізу кількох мільйонів відомих зображень, така система алгоритмів може визначати предмети нових зображень. У багатьох сервісах зберігання фотографій використовуються алгоритми розпізнавання облич, що базуються на можливостях глибокого навчання. Вони утворили основу сервісів Amazon Rekognition, Amazon Prime Photos та Firefly Service від Amazon

Використання штучного інтелекту також може спричинити ряд загальних проблем як для звичайних користувачів, так і для компаній. Ось найпоширеніші з них:

1. Штучний інтелект може надавати невірні або незадовільні відповіді через обмеженість даних, помилки в алгоритмах чи недостатню точність моделей.

2. Якість даних критично важлива для ефективної роботи інтелектуальних систем. Якщо дані не є репрезентативними, вони мають відхилення або помилки, модель може надавати невірні висновки.

3. Деякі алгоритми штучного інтелекту, особливо нейронні мережі, можуть бути складними для інтерпретації. Це може створювати проблеми у розумінні того, як саме модель приймає свої рішення.

4. Деякі користувачі або компанії можуть не повністю розуміти, як працює штучний інтелект, що може призводити до неправильного його використання або нереалістичних очікувань.

5. Використання штучного інтелекту може передбачати збір, зберігання та обробку великих обсягів даних. Це викликає питання про конфіденційність та безпеку.

6. Системи штучного інтелекту потребують постійного моніторингу та оновлення, щоб вони залишалися актуальними та ефективними в змінюючихся умовах.

7. Використання штучного інтелекту може підпадати під різні правові обмеження та регулювання, що вимагає відповідності необхідним нормам.

8. Компанії можуть стикатися з проблемами, пов'язаними з тим, що вони залежать від постачальників технологій штучного інтелекту, що може вплинути на їх бізнес-операції.

У висновку можна сказати, що ці проблеми не означають, що використання штучного інтелекту є невиправданим. Фактично, «AI» відкриває безліч можливостей для покращення продуктивності, ухвалення точних рішень та створення інноваційних продуктів. Конструктивні дослідження та інновації в сфері «AI» допоможуть подолати потенційні негативні аспекти та максимізувати його користь. Розвиток навичок, пов'язаних з «AI» та

технологіями, стає все більш важливим для підготовки до майбутньої праці та розуміння етичних питань. Необхідний баланс між використанням «AI» та збереженням людського елементу у прийнятті рішень (рис. 1.1). Регулювання та нагляд з боку держав та організацій є важливими для забезпечення етики та безпеки.

Рисунок 1.1 – Позначка «AI» у навколишньому середовищі

1.2 Розвиток «AI» в геоінформаційних системах та його ефективність у рішенні певних проблем

Штучний інтелект «AI» активно проникає у різні галузі, і геодезія не виняток. Геодезія, наука вимірювання та відображення форми, розмірів та гравітаційного поля Землі, має величезне значення у зйомці та складанні карт. У міру зростання потреби в точних та ефективних геопросторових даних, «AI» стає ключовим фактором, пропонуючи інноваційні рішення для подолання проблем, з якими стикаються геодезисти та картографи.

Одне з основних завдань у геодезії – це збирання та обробка великих обсягів даних. Традиційні методи можуть бути трудомісткими та вимагати

залучення досвідчених фахівців для ручного збору та аналізу інформації. Однак «AI»-інструменти революціонізують цей процес, автоматизуючи збір та обробку даних, що суттєво знижує часові та трудові витрати. Наприклад, алгоритми «AI» можуть аналізувати супутникові зображення та автоматично виявляти об'єкти, такі як дороги, будівлі та рослинність, що дозволяє швидше і точно складати карти.

Більш того, «AI» може допомогти покращити точність геопросторових даних, ідентифікуючи та виправляючи помилки у існуючих наборах даних. Алгоритми машинного навчання можуть бути навчені розпізнавати закономірності та аномалії даних, дозволяючи їм виявляти невідповідності та вносити необхідні коригування. Це не тільки підвищує якість геопросторової інформації, але й допомагає запобігати дорогим помилкам, що виникають через ненадійні дані.

Ще однією областю, де «AI» значно впливає, є сфера дистанційного зондування. Технології дистанційного зондування, такі як ЛІДАР (лазерне сканування) та фотограмметрія, широко використовуються в геодезії для збору даних високої роздільної здатності поверхні Землі. «AI» може покращити можливості цих технологій, автоматизуючи аналіз даних дистанційного зондування, що дозволяє геодезистам вилучати цінну інформацію ефективніше. Наприклад, алгоритми «AI» можуть опрацьовувати дані ЛІДАРу для створення докладних 3D-моделей місцевості та будівель, які можуть застосовуватись у різних галузях, включаючи містобудування, екологічний моніторинг та управління надзвичайними ситуаціями.

Більш того, «AI» може допомогти при інтеграції геопросторових даних із різних джерел, полегшуючи створення всебічних та актуальних карт. Геопросторові набори даних часто походять з різних платформ, таких як супутникові зображення, аерофотозйомка та місцеві обстеження, і інтеграція цієї інформації може бути складним та трудомістким завданням. Алгоритми «AI» можуть спростити цей процес, автоматично вирівнюючи та поєднуючи набори даних, що гарантує точність та узгодженість отриманих карт.

Крім покращення ефективності та точності збору та обробки геопросторових даних, «AI» також допомагає геодестам та топографам приймати більш обґрунтовані рішення. Прогнозування на основі «AI» дозволяє аналізувати історичні та поточні геопросторові дані для прогнозування майбутніх тенденцій та закономірностей, дозволяючи професіоналам передбачати зміни у використанні землі, зростання населення та умови довкілля. Це може бути безцінним для містобудівників, які можуть використовувати ці знання для прийняття більш усвідомлених рішень щодо розвитку інфраструктури та розподілу ресурсів.

У міру просування «AI» його застосування в геодезії очікується ще більше розширення. Наприклад, дослідники вивчають потенціал «AI» в оптимізації проектування геодезичних мереж, які використовуються для контролю форми та гравітаційного поля Землі. За допомогою моделювання різних конфігурацій мережі та аналізу їхньої продуктивності, алгоритми «AI» можуть допомогти геодезистам визначити найбільш ефективні та економічно прийнятні рішення.

На сам кінець, «AI» доводить свою революційність у галузі геодезії, пропонуючи інноваційні рішення для подолання труднощів, з якими стикаються геодезисти та картографи. Автоматизація збору та обробки даних, покращення точності геопросторової інформації та забезпечення прийняття більш обґрунтованих рішень – все це робить «AI» ключовим елементом для розуміння та відображення Землі. У міру зростання потреби в точних та ефективних геопросторових даних, впровадження «AI» в геодезію відіграватиме вирішальну роль у формуванні майбутнього зйомки та складання карт.

1.3 Опис поєднання геоінформаційних технологій та новітнього функціоналу штучного інтелекту

«GeoAI» - це термін, що означає сукупність технологій і методів штучного інтелекту, які застосовуються в області геопросторового аналізу даних. Він виник як результат об'єднання передових методів штучного інтелекту з геоданими та геоінформаційними системами.

З розвитком машинного навчання і глибокого навчання стали можливі більш складні аналізи геоданих. Це дозволило застосовувати методи, раніше недоступні в геоінформаційних системах. Застосування нейронних мереж дозволило автоматизувати процеси аналізу геоданих, такі як розпізнавання об'єктів на зображеннях, класифікація ґрунтів, аналіз рельєфу та інше.

З появою великих обсягів геоданих від супутників, дронів та інших джерел, «GeoAI» отримав додатковий поштовх, оскільки багато цих даних потребує автоматизованого аналізу. З'явилися спеціалізовані інструменти та платформи для застосування «GeoAI». Компанії, такі як «ESRI», розробляють інструменти інтеграції штучного інтелекту з геоінформаційними системами.

«GeoAI» активно використовується в геодезії, картографії, геології, екології, агрономії та інших суміжних галузях.«GeoAI» дозволяє вирішувати складні задачі, такі як аналіз динаміки зміни природного середовища, прогнозування її змін, моніторинг природних катастроф та інше.

Майбутній розвиток: З появою нових технологій і методів машинного навчання, «GeoAI» буде продовжувати розвиватися, розширюючи свої можливості в аналізі геопросторових даних. «GeoAI» є важливою та перспективною областю розвитку в галузі геоінформатики та геоаналітики.

1.4 Перелік функціональності «AI» в програмному середовищі «ArcGisPro»

Впровадження штучного інтелекту «AI» у середу «GeoArcGIS» може значно розширити його функціональні можливості та підвищити ефективність аналізу геопросторових даних. Наприклад, використання глибокого навчання дозволяє автоматично розпізнавати об'єкти зображення. Шо дозволить

розробляти моделі автоматичного виявлення доріг, будівель, водних об'єктів тощо. Також, «AI» може використовуватися для автоматичної класифікації та сегментації різних об'єктів та ознак на геопросторових даних, таких як рослинність, ґрунти, водні об'єкти тощо. Штучний інтелект дозволяє будувати прогнози та моделювати різні геологічні та географічні процеси, що може бути важливо для прийняття рішень у різних галузях.

Функціонал «AI» може бути використаний для автоматизації рутиних завдань, таких як обробка великих обсягів даних, аналіз топографічних карт, розроблення алгоритмів для оптимізації розподілу ресурсів, планування транспортних маршрутів, аналізу територій під забудову, допомагати автоматично виявляти та виправляти помилки в геопросторових даних, що важливо для забезпечення високої точності аналізу.

Інтеграція з іншими технологіями може бути частиною комплексного підходу, включаючи роботу з дронами, системами дистанційного зондування та іншими технологіями. А також, важливо враховувати питання безпеки та етики при роботі з геопросторовими даними, особливо під час автоматизації аналізу.

Слід пам'ятати, що впровадження «AI» вимагає хорошої підготовки даних, адаптації алгоритмів під конкретні завдання та постійного моніторингу результатів.

РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ДО ВХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Структурно-логічна схема формування карт за допомогою штучного інтелекту в геоінформаційних системах

Загальний алгоритм проведення робіт із розробки методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій (рис. 2.1).

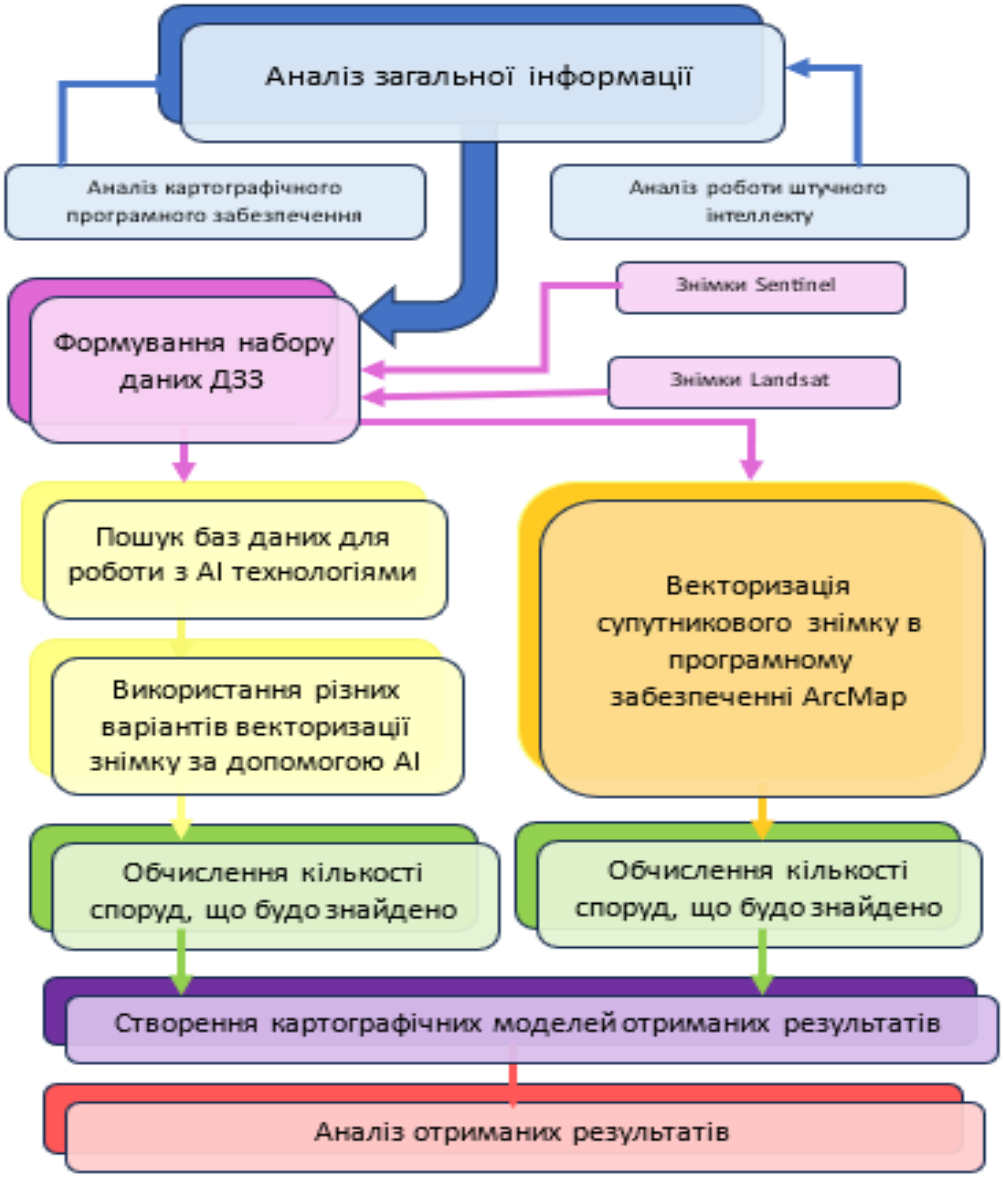


Рисунок 2.1 – Структурна схема роботи

2.2 Дешифрувальні роботи

Дешифрування даних ДЗЗ – це процес визначення об'єктів та територій, їх властивостей, взаємозв'язків на основі їх зображень на знімку.

Дешифрування може бути полевим та камеральним. Камеральне поділяється на візуальне та автоматизоване. Візуальне дешифрування виконується за допомогою ока; виконавець те, що він бачить на знімку, і дешифрує.

Автоматизоване (машинне) дешифрування виконується виконавцем за допомогою програмних комплексів за спеціальними алгоритмами. Машинне дешифрування ґрунтується на кількох методах, які дозволяють групувати об'єкти за певними дешифрувальними ознаками і суттєво зводиться до різних механізмів класифікації. Класифікацію знімків розділяється на класифікацію з навчанням (Метод мінімального відстані, Метод спектрального кута, Метод дистанції Махаланобіса) та класифікацію без навчання (Метод ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm), Метод K-середніх).

Дешифрування матеріалів дистанційного зондування Землі (космічних та авіа-знімків) проводиться з метою отримання інформації щодо просторового розміщення географічних об'єктів, займаних ними площ, а також виявлення динаміки та особливостей функціонування таких об'єктів.

Залежно від завдань, які вирішуються під час дешифрування космічних знімків, розрізняють загальне дешифрування (комплексне, або загальногеографічне) та галузеве (тематичне або спеціальне).

Дешифрування зображень ДЗЗ включає в себе основні етапи, що передбачають обробку дистанційних даних, вирівнювання яскравісних характеристик для різних типів об'єктів, створення мозаїчних покриттів і інше.

Результати дешифрування реєструються у графічній, цифровій або текстовій формах.

В його сутності можна виділити три етапи цього процесу. Починається процес з пошуку на знімку ділянок, де ймовірніше всього зображені об'єкти місцевості. Оператор-дешифратор в результаті виявлення відзначає отриманий результат у себе. Надалі визначають сутності зображень на знімку та виявлених об'єктів. Це складний процес. В результаті розпізнавання можна або розпізнати, або не розпізнати (розпізнати невірно) вивчений об'єкт. Після чого відбувается визначення характеристик виявлених об'єктів - третій етап дешифрування. На цьому етапі здійснюється аналіз і узагальнення кількісних і якісних характеристик об'єктів з метою встановлення їх стану, значущості та можливостей в конкретній обстановці.

Кількісні і якісні характеристики об'єктів місцевості визначаються шляхом вимірювання параметрів фотоізображень: геометричних розмірів, паралаксів, щільностей тощо. В результаті оцінки вдається визначити склад лісу, характер грунту, матеріал покриття доріг, лінійні розміри об'єктів, відстань між об'єктами та інше.

2.3 Основні характеристики та вимоги до космічного обладнання

Вибір якісних супутникових знімків відіграє критичну роль у успішності дешифрування та інтерпретації даних. По-перше, знімки з високою роздільною здатністю надають більш детальну інформацію про земну поверхню, що дозволяє точніше виділяти та класифікувати об'єкти. Якісні знімки забезпечують більш точне геокодування і покращують можливості для аналізу дрібних деталей. Також, якісні знімки можуть охоплювати різні спектральні діапазони, що важливо для виділення різних типів поверхні (наприклад, води, рослинності, будівель). Багатозональні зображення дозволяють проводити більш точні дослідження різних об'єктів.

По-друге, використання часових серій знімків дозволяє аналізувати зміни на земній поверхні протягом часу. Якісні знімки з високою частотою оновлення можуть бути ключовим елементом для моніторингу динамічних

процесів, таких як зміни в рослинності, міське розвиток або природні катастрофи. Окрім самого зображення, якісні метадані (інформація про дату, час, кут зйомки тощо) є важливим аспектом. Вони допомагають точно визначити місцезнаходження об'єктів та забезпечують успішне геокодування. Відсутність хмар, низький кут освітлення та інші сприятливі умови зйомки сприяють отриманню якісних знімків, мінімізуючи спотворення та покращуючи загальну читабельність зображень.

Вибір якісних супутникових знімків забезпечує більш точні та достовірні результати при дешифруванні, що є фундаментальним для успішного використання даних у картографії, географічних інформаційних системах (ГІС) та інших областях, де потрібен просторовий аналіз.

Знімки можуть бути зроблені різними космічними апаратами, такими, як супутники спостереження Землі. Ці супутники оснащені різними сенсорами, які реєструють електромагнітне випромінювання у різних спектральних діапазонах. Для наукової роботи було узято декілька супутникових знімків з супутників «Sentinel-2» та «Landsat-8». Більш детальну характеристику супутників наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика супутників «Sentinel-2» та «Landsat-8»

Назва	Sentinel-2	Landsat-8
Спектральні зони	Мультиспектральний	Видимий, ІЧ, тепловий
Роздільна здатність	10 м (видимий, ІЧ), 20 м (короткохвильовий ІЧ), 60 м (тепловий ІЧ)	30 м (видимий, ІЧ), 15 м (панхроматичний)
Час знімання	Кожні 5 днів	Кілька разів на день
Масштаб	Великі площі	Великі площі
Зони знімання	100%, європейський охоплюючий	Глобальний охоплюючий

Діапазон зйомки	290–2420 нм	435–1375 нм (видимий), 1556–12608 нм (ІЧ)
Діапазон температур	-90°C to 60°C	-73°C to 83°C
Інтегрований коефіцієнт зсуву	<20 мс (для короткохвильових ІЧ)	<30 мс (панхроматичний), <85 мс (ІЧ)
Можливість записувати дані в режимі реального часу	Так	Частково
Продовжений термін служби	Тривалий	Тривалий
Відкритий доступ до даних	Так	Так

Це загальне порівняння характеристик супутників «Sentinel-2» і «Landsat-8». Обидва супутники є важливими для моніторингу земної поверхні та забезпечують дані для різних наукових та практичних застосувань. Властивості супутників можуть бути використані в залежності від конкретних потреб користувача та завдань досліджень. Основуючись на дані з таблиці 2.1 було узято для наукової роботи супутниковий знімок з космічного апарату «Landsat-8».

2.4 Етап векторизації (в ручну) супутникового знімку Landsat-8 в програмному забезпечені ArcMap

Беручи до уваги усю високоперелічену інформацію, для отримання кращого результату для наукової роботи було узято супутниковий знімок з космічного апарату «Landsat-8» (рис. 2.2).

Рисунок 2.2 – Супутниковий знімок м. Чернівці з «Landsat 8»

Після того, як завантажили знімок до програмного забезпечення «ArcMap», було обрано систему координат Гаусса-Крюгера спрямовану саме для України «Ukraine 2000 GK CM 27E» й обрано базову карту (рис. 2.3 - 2.4).

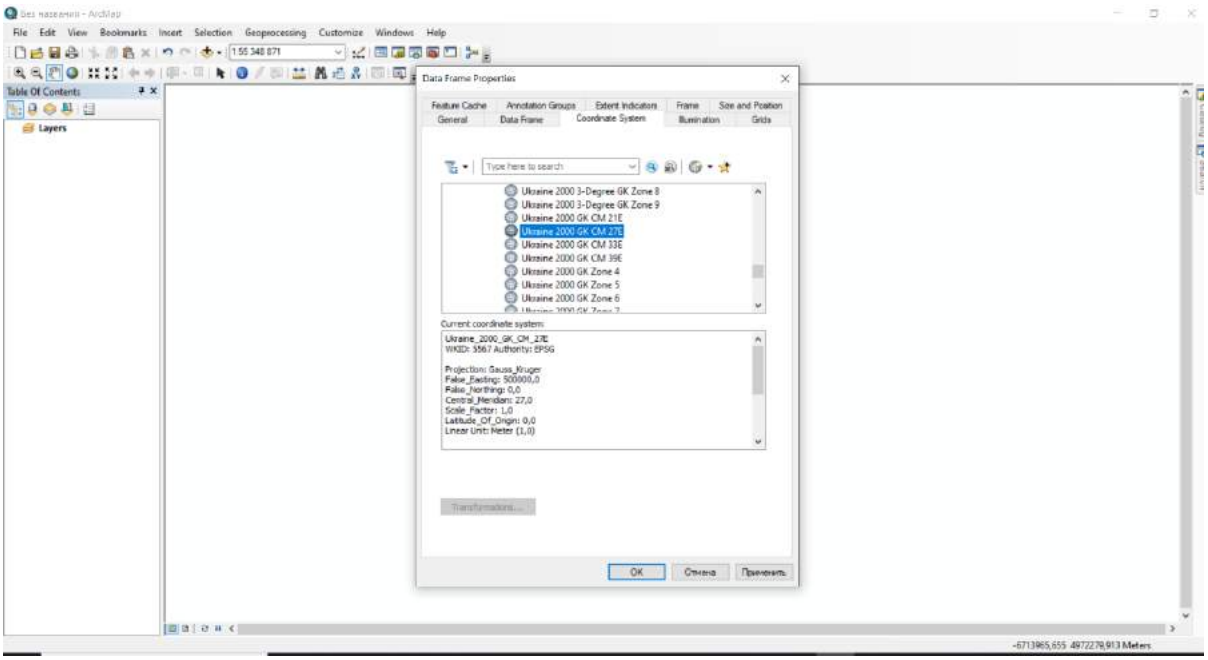


Рисунок 2.3 – Проекція Гауса-Крюгера

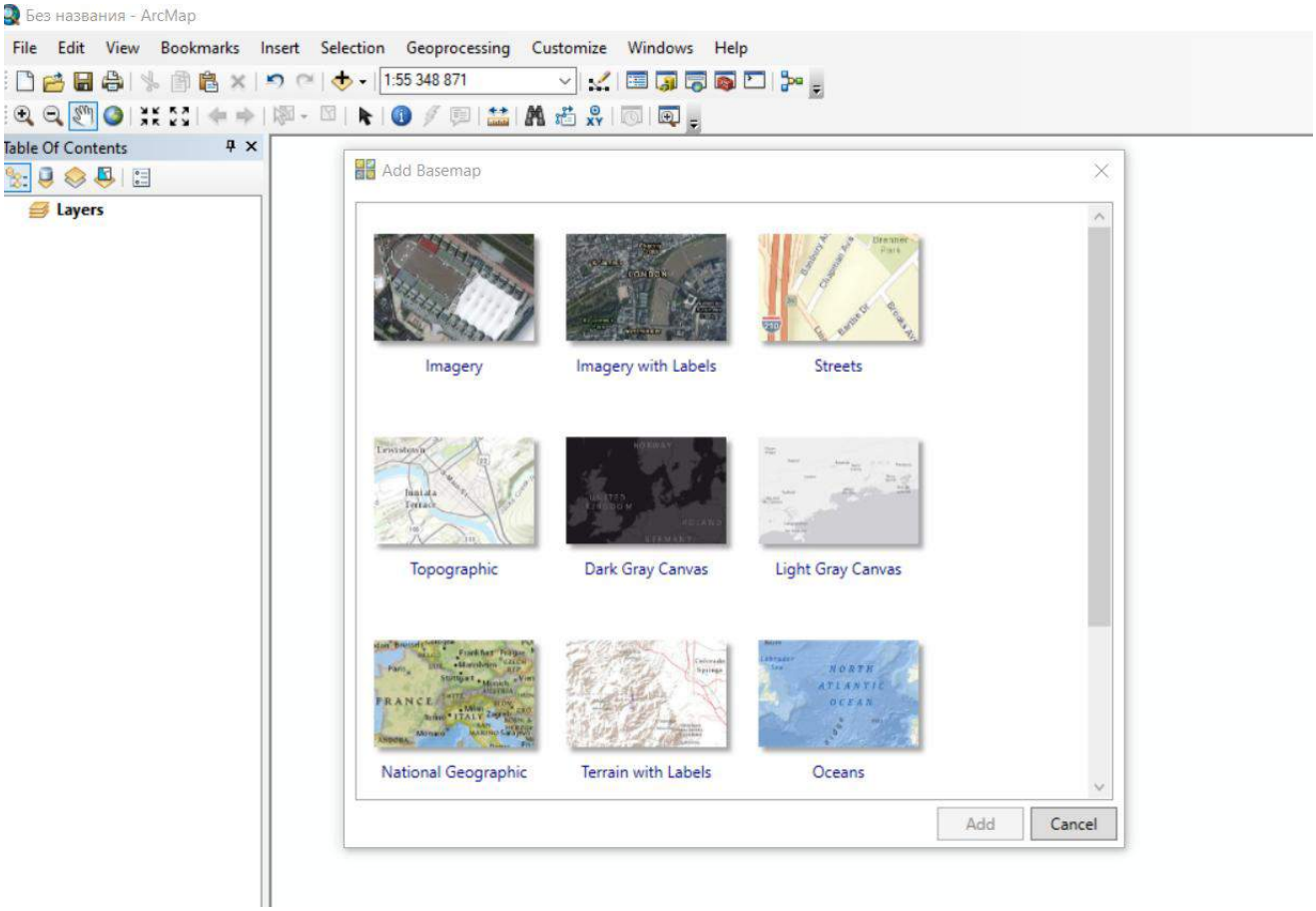


Рисунок 2.4 – Вибір серед базових карт у програмі «ArcMap»

Географічна прив'язка до місцевості є критично важливим аспектом дешифрування супутникових знімків. Цей процес забезпечує точне відповідність пікселів зображення географічним координатам на поверхні Землі. Важливість географічної прив'язки проявляється у декількох аспектах, це:

1. Географічна прив'язка дозволяє інтерпретувати об'єкти на зображенні з високою точністю і правильно визначати їх місце на карті. Це важливо для отримання достовірної інформації про земну поверхню.

2. Геокодування дозволяє порівнювати дані з різних джерел і періодів часу, що важливо для аналізу змін на земній поверхні. Наприклад, можна порівнювати дані з різних знімків для виявлення змін у використанні землі.

3. Географічна прив'язка забезпечує легкість інтеграції супутникових даних з ГІС. Це дозволяє користувачам об'єднувати різні шари інформації і проводити аналіз просторових даних.

4. Точна географічна прив'язка необхідна для моніторингу змін у певних місцях протягом часу. Це важливо в різних галузях, таких як міське планування, сільське господарство, екологія і інші.

5. Для створення карт і просторових продуктів, які будуть використовуватися в різних галузях, необхідне точне геокодування для гарантії правильного відображення об'єктів і явищ.

Отже, робимо прив’язку до баз геоданих для встановлення точних координат та масштабів супутникового знімку (рис. 2.5).

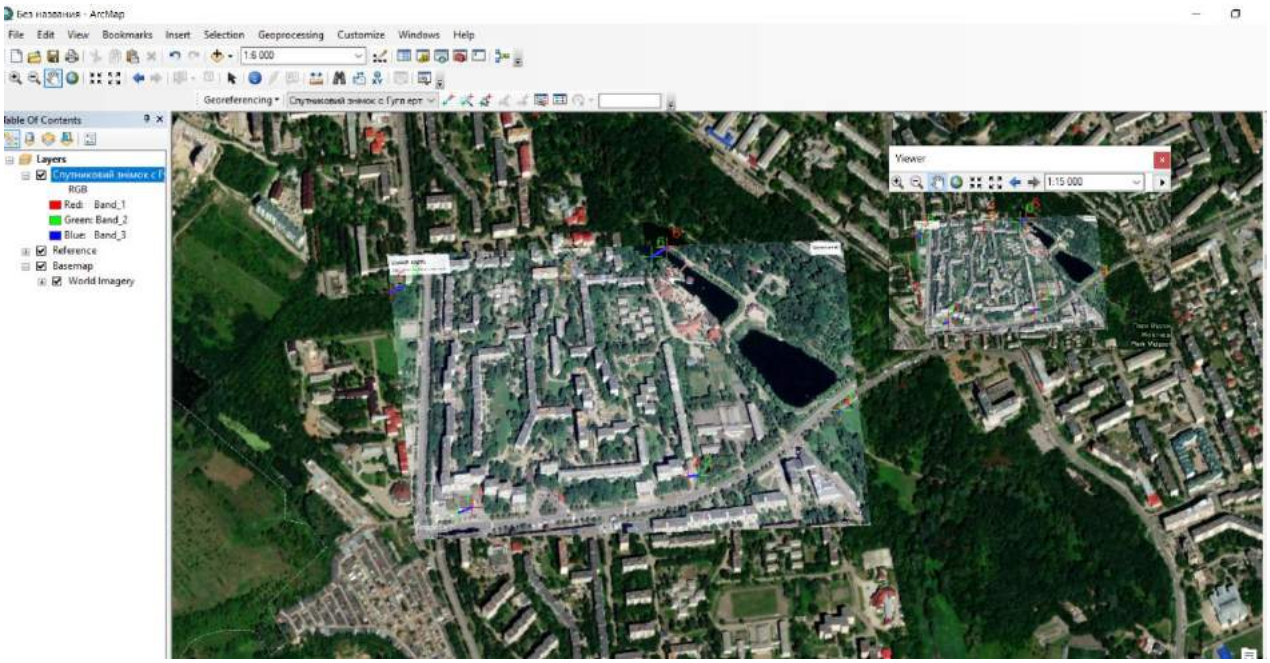


Рисунок 2.5 – Результат прив’язки супутникового знімку до баз геоданих у середовищі ArcMap

За результатами прив’язки супутникового знімку до баз геоданих було сформовано таблицю географічних координат (рис. 2.6).

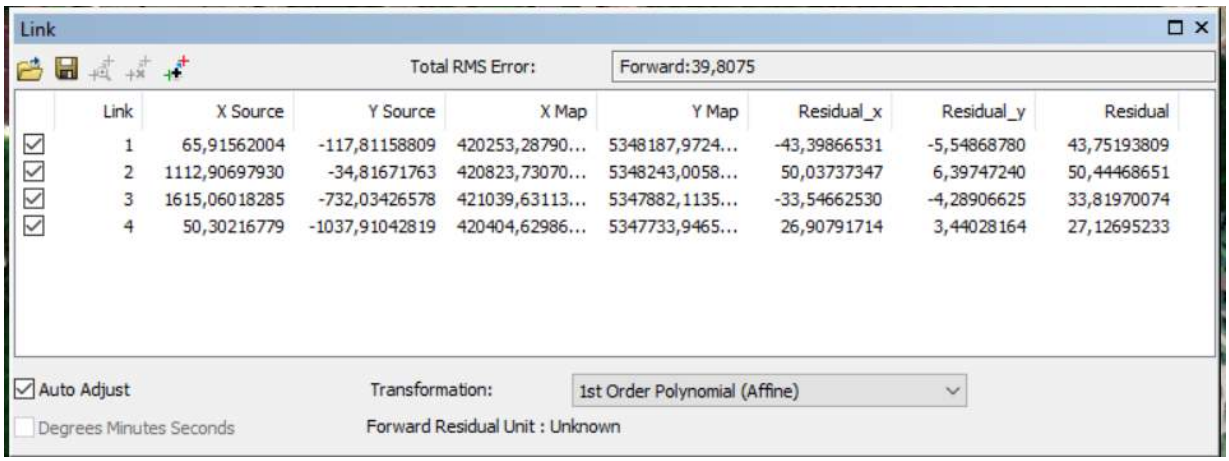


Рисунок 2.6 – Таблиця географічних координат супутникового знімку у середовищі ArcMap

Для подальшої векторизації супутникового знімку було створено новий «Shapefile» для збереження слою «Будівлі» (рис. 2.7).

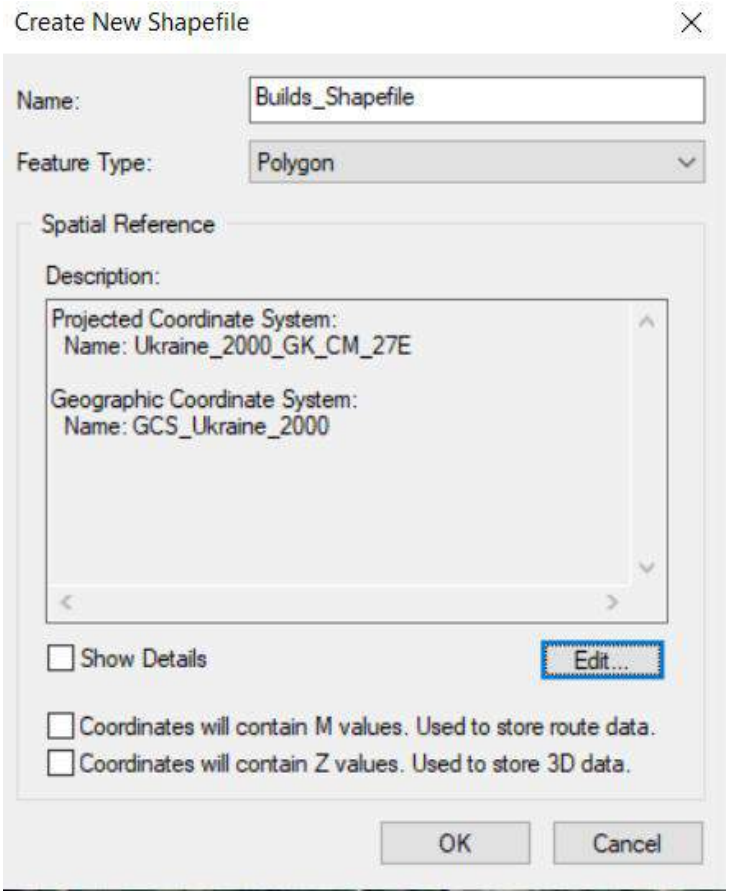


Рисунок 2.7 – Створення «Shapefile» для збереження слою «Будівлі»

Надалі було проведено векторизацію об’єктів місцевості з метою подальшого порівняння картографічних моделей побудованих двома різними інструментами. Результат векторизації наведено на рисунку 2.8.

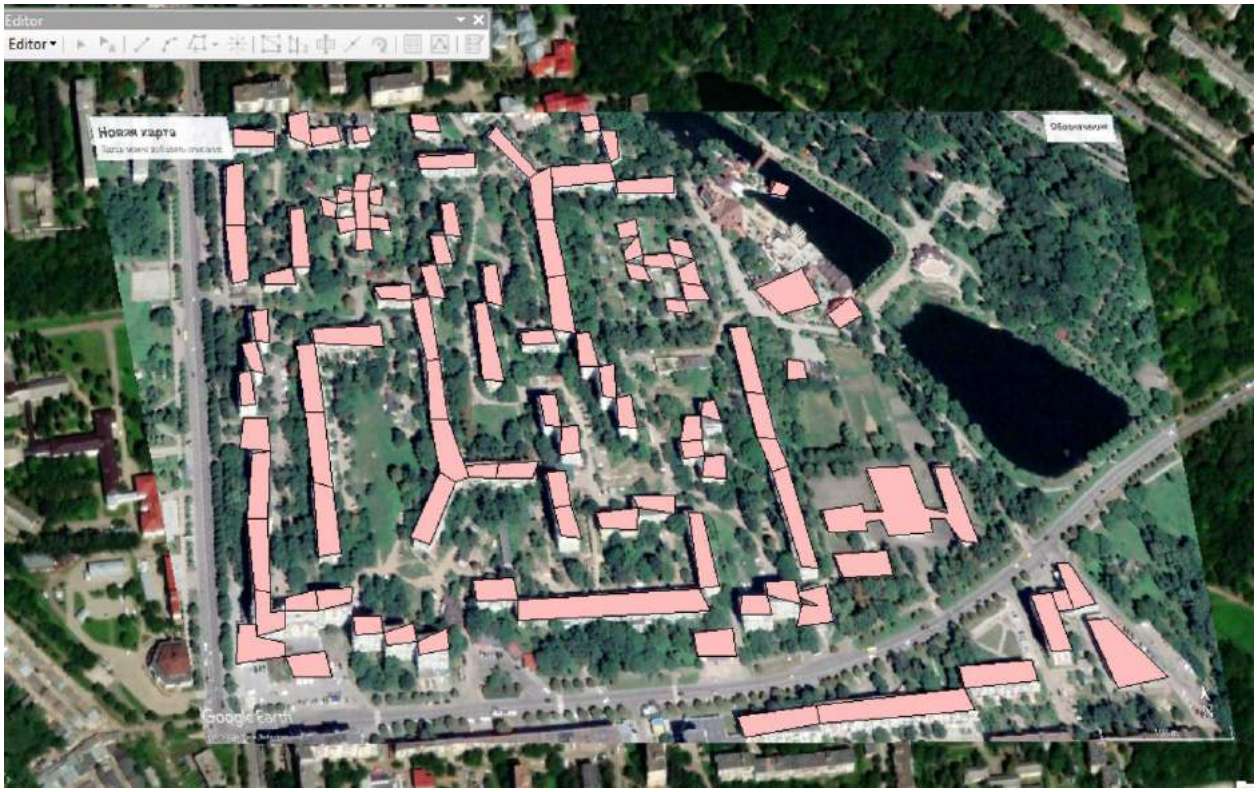


Рисунок 2.8 – Векторний шар «Будівлі», отриманий в результаті векторизації

В результаті векторизації знімку було нараховано 101 будівлю. Загальну площу об’єктів розраховно за допомого таблиць «Excel», вона становить: 6,328942 га. Процес векторизації супутникового знімку та розрахунку площ шару зайняв приблизно 1.5-2 робочі години. Отримані дані перебувають в атрибутивній таблиці шару «Будівлі» (рис. 2.9).

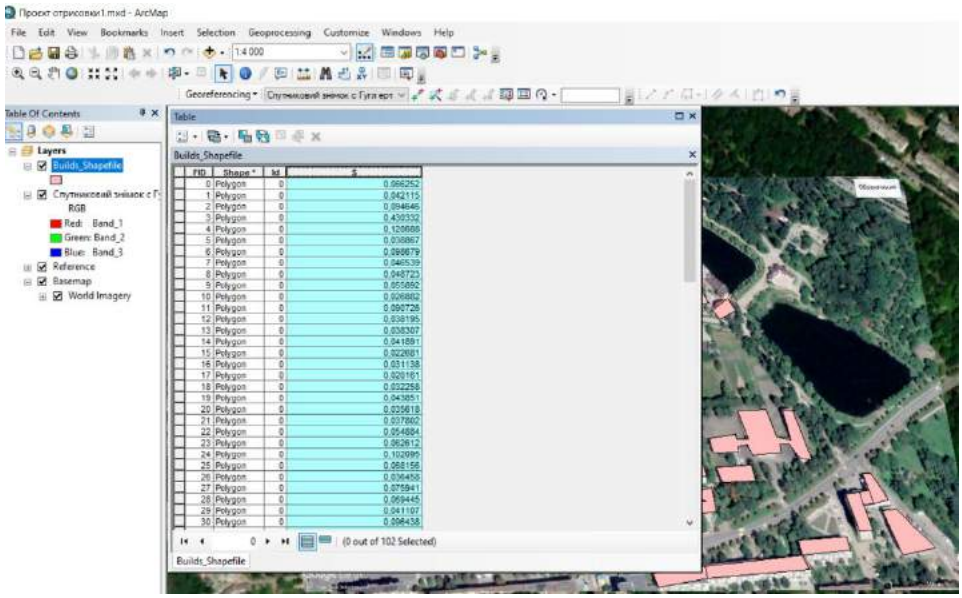


Рисунок 2.9 – Атрибутивна таблиця векторний шару «Будівлі»

Кінцевим етапом було створено картографічну модель векторизації (в ручну) супутникового знімку Landsat-8 в програмному забезпечені ArcMap та наведено на рисунку 2.10.

Рисунок 2.10 – Картографічна модель векторизації (в ручну) супутникового знімку Landsat-8 в програмному забезпечені ArcMap

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБКИ МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

3.1 Основні вимоги до технічного та програмного забезпечення для побудови картографічної моделі за допомогою «AI»

Штучний інтелект «AI» відіграє важливу роль в удосконаленні та автоматизації процесів дешифрування та векторизації супутникових знімків. У таблиці 3.1 наведено декілька способів, як «AI» може використовуватися в геоінформаційних системах.

Таблиця 3.1 – Способів, використання «AI» геоінформаційних системах

Автоматичне розпізнавання об'єктів	• Виявлення об'єктів: «AI» може використовуватися для автоматичного виявлення об'єктів на супутникових знімках, таких як будівлі, дороги, ліси та інше. Це може бути досягнуто за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору та нейронних мереж. • Класифікація об'єктів: «AI» також може класифікувати виявлені об'єкти, допомагаючи ідентифікувати різні типи земельного покриву, що корисно для картографії та моніторингу середовища.
Векторизація та реконструкція	• Автоматизована векторизація: «AI» може бути використаний для автоматичної векторизації знімків, тобто перетворення растрових даних в векторні форми для

	створення цифрових карт. Це може включати в себе виділення контурів об'єктів та створення векторних шарів. • Удосконалення просторового розширення: Деякі методи глибокого навчання дозволяють збільшувати просторове розширення зображень, що може бути корисно для отримання більш детальних карт.
Машинне навчання для підвищення точності	• Класифікація з навчанням: Моделі машинного навчання можуть бути навчені на великому обсязі даних для більш точної класифікації об'єктів на знімках. • Алгоритми машинного навчання для дешифрування: «AI» може навчатися дешифрувати супутникові знімки, враховуючи безліч факторів, таких як тіні, хмарність і зміни у сезонах.
Інтеграція з геоінформаційними системами ГІС	• Автоматизована обробка даних ГІС: «AI» може бути використаний для автоматизації обробки та інтеграції даних ГІС, спрощуючи процеси аналізу просторових даних.
Аналіз змін в реальному часі	• Моніторинг змін: «AI» може забезпечувати системи моніторингу змін на супутникових знімках в реальному часі, що важливо для відстеження різних подій, таких

	як стихійні лиха або зміни в землекористуванні.

Використання «AI» дозволяє значно прискорити та удосконалити процеси обробки супутникових даних, що в свою чергу сприяє більш ефективній, точній та швидкій роботі в галузі картографії та моніторингу навколишнього середовища.

Використання бібліотек машинного навчання є ключовою складовою при навчанні моделей для визначення об'єктів на картографії в контексті штучного інтелекту «AI». Бібліотеки машинного навчання надають інструменти для створення, навчання та оцінки моделей, які можуть автоматично виявляти та класифікувати об'єкти на картах чи знімках.

Деякі популярні бібліотеки машинного навчання включають відкриті бібліотеки машинного навчання, розроблені Google. Вони підтримують створення та навчання різних моделей, включаючи нейронні мережі. Додаткового було створено фреймворки глибокого навчання з відкритим вихідним кодом. Популярні для досліджень у галузі штучного інтелекту та машинного навчання. Існує бібліотека машинного навчання для мови програмування Python, яка надає інструменти для класифікації, регресії, кластеризації та ін. І також, бібліотека комп'ютерного зору з широким спектром функцій для обробки зображень та відео.

Вибір конкретної бібліотеки залежить від ваших потреб та досвіду. Проте, у більшості випадків використання бібліотек машинного навчання є невід'ємною частиною розробки рішень з «AI» в картографії, особливо якщо потрібно навчити модель визначати та класифікувати об'єкти на зображеннях.

Для побудови векторного шару «Будівлі» за допомогою «AI» було узято 2 різні бібліотеки машиного навчання для знаходження об’єктів «Будівлі». Першу бібліотеку, було розроблено представниками Сполучених Штатів Америки «США», друга бібліотека була представлена від Австралії. Обидві

знаходились у відкритому доступі на платформі «ESRI», фрагмент якої представлено на рисунку 3.1.

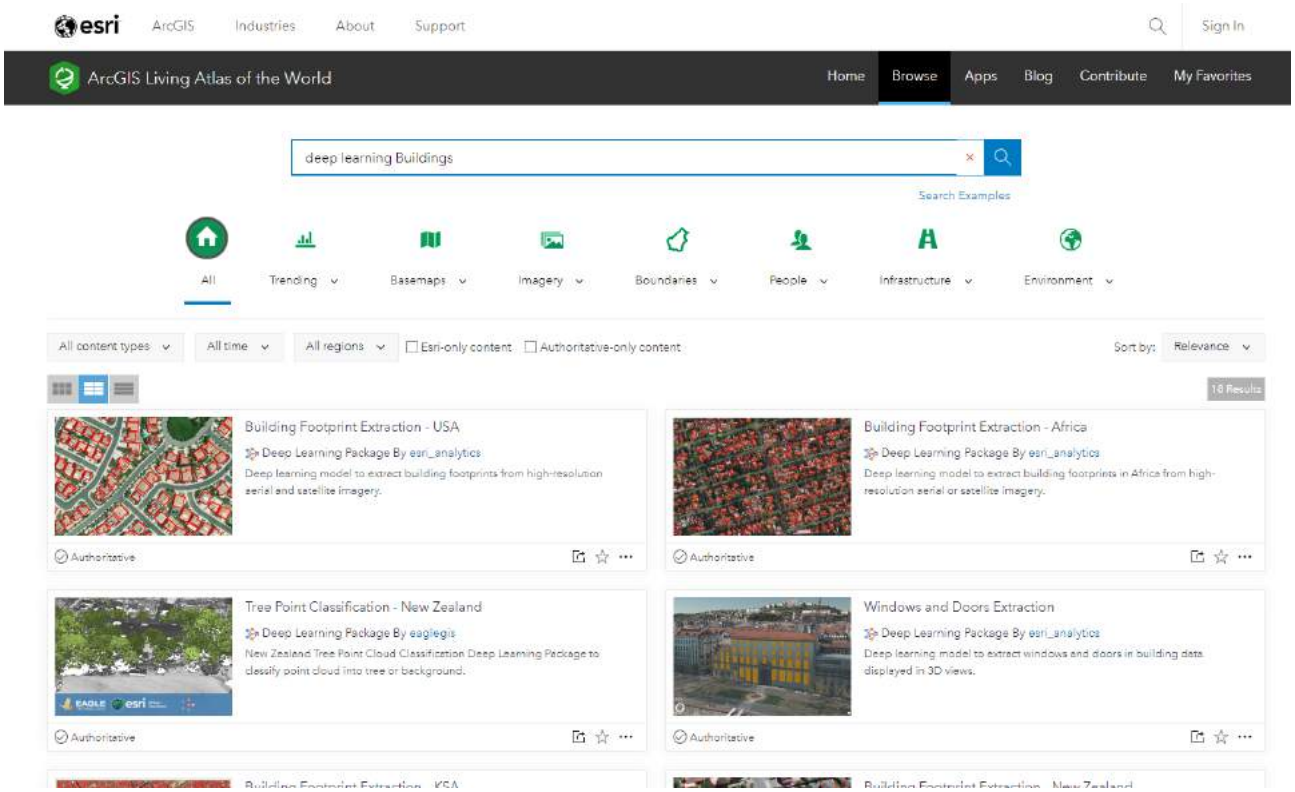


Рисунок 3.1 – Перечень відкритих бібліотек машинного навчання для знаходження будівель на супутникових знімках за допомогою «AI»

За кожною бібліотекою на сайті «ArcGIS» закріплен опис роботи штучного інтелекту, які супутникові знімки та якої якості потрібні, а також який результат буде. Для більшої наглядності характеристика двох бібліотек наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристика двох бібліотек машинного навчання для використання програмним забезпечення «ArcGIS Pro» функцією штучного інтелекту «AI»

Країна розробник	Сполучені Штати Америки (США)	Австралія
Яка потреба в цій бібліотеці		

Ліцензійні вимоги	ArcGIS Desktop – розширення ArcGIS Image Analyst і ArcGIS 3D Analyst для ArcGIS Pro ArcGIS Enterprise – сервер зображень ArcGIS із налаштованою аналітикою растру ArcGIS Online – зображення ArcGIS для ArcGIS Online	ArcGIS Desktop – розширення ArcGIS Image Analyst і ArcGIS 3D Analyst для ArcGIS Pro ArcGIS Enterprise – сервер зображень ArcGIS із налаштованою аналітикою растру ArcGIS Online – зображення ArcGIS для ArcGIS Online
Використання моделі	Перед використанням цієї моделі переконайтеся, що встановлено підтримувані бібліотеки глибокого навчання. Щоб отримати додаткові відомості, перевірте Deep Learning Libraries Installer для ArcGIS. Примітка: глибоке навчання потребує великих обчислень, тому для обробки великих наборів даних рекомендується потужний графічний процесор.	Перед використанням цієї моделі переконайтеся, що встановлено підтримувані бібліотеки глибокого навчання. Щоб отримати додаткові відомості, перевірте Deep Learning Libraries Installer для ArcGIS. Примітка: глибоке навчання потребує великих обчислень, тому для обробки великих наборів даних рекомендується потужний графічний процесор.

Необхідна якість вхідних даних	8-бітове, 3-смугове зображення з високою роздільною здатністю (10–40 см).	8-бітове, 3-смугове зображення з високою роздільною здатністю (10–40 см). Щоб отримати найкращі результати, зображення потрібно аналізувати з роздільною здатністю 30 см.
Очікуваєми й результат	Клас об’єктів, що містить контури будівлі	Клас об’єктів, що містить контури будівлі.
Архітектура моделі	MaskRCNN	MaskRCNN
Середній показник точності	71,8%	79,4%
Обмеження	Немає жодних обмежень чи застережень у використані	• Помилкові спрацьовування спостерігаються поблизу прибережних зон. Їх можна відфільтрувати за допомогою значень достовірності. •У деяких місцях спостерігалося випадкове зміщення слідів і зображень (близько 3-7 метрів). •Модель погано працює із сильно

		нахиленими зображеннями (за межами надира), особливо під час окреслення слідів висотних будівель.
Зразок результатів		

Характеристика у двох бібліотеках між собою дуже схожа, тож потрібно робити перевірку у практичній роботі, який результат отримаємо. Та чи відповідає опис машинного навчання дійсності.

Також, для використання будь яких бібліотек машиного навчання в програмному середовищі «ArcGisPro» потрібно мати необхідні характеристики комп’ютеру. Для того щоб програма завантажилась без помилок та працювала без затримок у часі для завантаження системи. У таблиці 3.3 наведено основні вимоги до обладнання , щоб програма працювала.

Таблиця 3.3 – Основні вимоги до обладнання для програмного середовища «ArcGisPro».

Елемент	Підтримуючі та рекомендовані
CPU	Мінімально: 2 ядра, одночасна багатопотокова обробка Одночасна багатопотокова або гіперпотокова обробка CPU зазвичай використовує два потоки на ядро. Багатопоточний 2-ядерний процесор матиме чотири

	потоки для обробки, а багатопоточний 6-ядерний процесор буде включати 12 потоків для обробки. Full Motion Video має вищі мінімальні та рекомендовані характеристики процесора. Для отримання докладнішої інформації див. Введення у Full Motion Video. Рекомендується: 4 ядра Оптимально: 10 ядер
Платформа	x64
Зберігання	Мінімум: 32 Гб вільного дискового простору Рекомендується: щонайменше 32 Гб вільного простору на твердотільному диску (SSD)
Пам’ять / ОЗУ	Мінімум: 8 ГБ Рекомендується: 32 ГБ Оптимально: 64 ГБ або більше
Виділена (не загальна) графічна пам'ять	Рекомендується: 4Гб або більше Якщо ви використовуєте ноутбук із вбудованою ЦПУ, розгляньте можливість збільшення системної пам'яті, щоб компенсувати використання спільної пам'яті.
Кеш візуалізації	Тимчасовий кеш візуалізації може займати до 32 Гб простору, якщо він доступний, у вказаному користувачем місці. За умовчанням кеш візуалізації записується в підпапку профілю користувача \Local, тому він не

	переноситься разом з профілем користувача, якщо системним адміністратором включається профіль, що переміщається.
DirectX*	Минимально: DirectX 11, feature level 11.0, Shader Model 5.0
OpenGL*	Мінімально: OpenGL 4.3 з модулями ARB_clip_control та EXT_texture_compression_s3tc. Рекомендується: OpenGL 4.5 з ARB_shader_draw_parameters, EXT_swap_control, EXT_texture_compression_s3tc та розширення EXT_texture_filter_anisotropic.
Роздільна здатність екрану	Мінімальна роздільна здатність 1024x768 Рекомендується: 1080p або вище

Після технічної перевірки дієздатності робочого обладнання переходимо до етапу ідентифікації споруд на космічних знімках за допомогою різних бібліотек «AI».

3.2 Розробка методики побудови картографічної моделі за допомогою штучного інтелекту «AI»

Після того, як було завантажено бібліотеку машинного навчання та відкрито програмне забезпечення «ArcGIS Pro». До програми спочатку було завантажено знімок з космічного апарату «Sentinel-2».

Надалі було відкрито вкладку «Аналітики», після чого обрано «Інструменти», з’явилось вікно «Геопроцесів» показано на рисунку 3.2.

Рисунок 3.2 – Вікно «Геопроцесів»

Вводимо у строку пошуку «Detect Object Using Deep Learning» та обираємо необхідно вкладку. Після чого відкривається нове вікно, де потрібно вести початкові дані про супутниковий знімок (рис. 3.3).

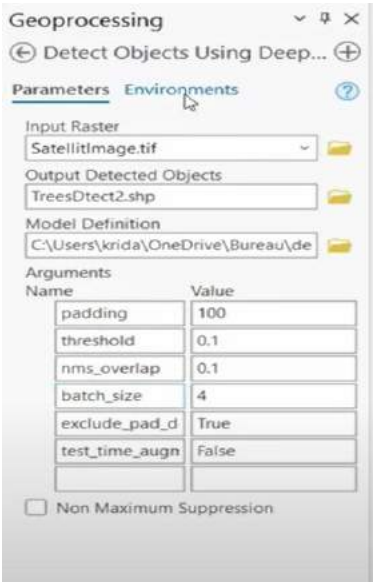


Рисунок 3.3 – Початкові дані супутникового знімку, як початок роботи з «AI»

На рисунку зображено які самі дані було введено. А саме, растр з яким йдеться робота, в який «Shapefile» зберігається векторизований знімок у кінці роботи, а також яку саме бібліотеку використовуємо. Після налаштування всіх полів у вікні, відкриваються автоматично додаткові дані зображені на рисунку 3.3. Надалі переходимо до вкладки «Environment» у тому ж вікні, та заповнюємо пусті строки (рис. 3.4). Потрібно вказати систему координат зображення, географічну трансформацію, розмір, маску, тип процесору та інше. Після вводу усіх даних натиснули кнопку «Run» та зачекали на результат обробки запиту.

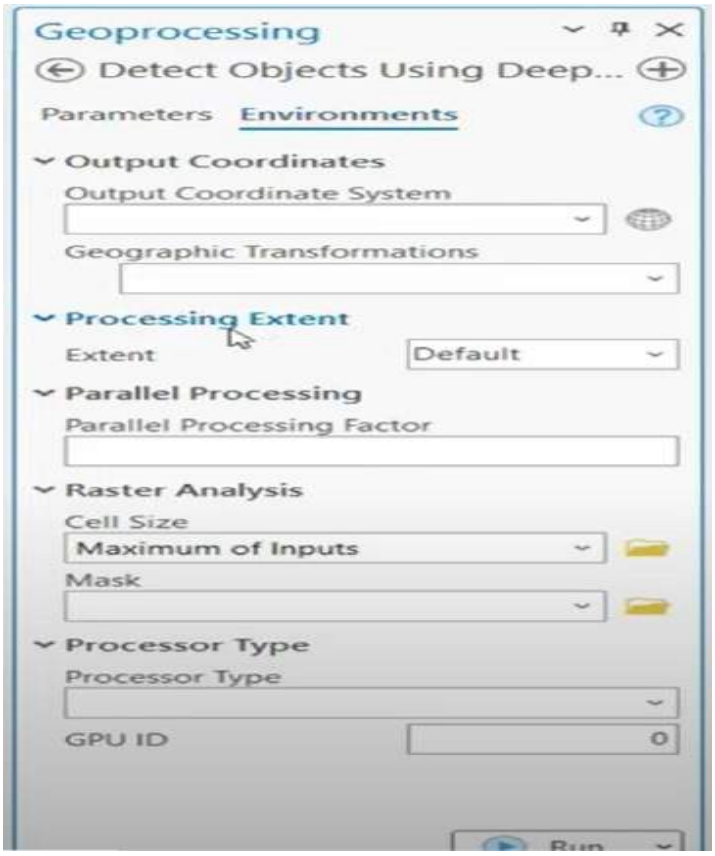


Рисунок 3.4 – Вікно «Environment»

Як можна побачити на рисунку 3.5, знімок вийшов не дуже якісний, його просторовий дозвіл сягав близько 10м. За цим знімком були спроби використання обох бібліотек різних країн розробників. Але програма штучного інтелекту не знайшла жодного будинку на знімку в результаті.

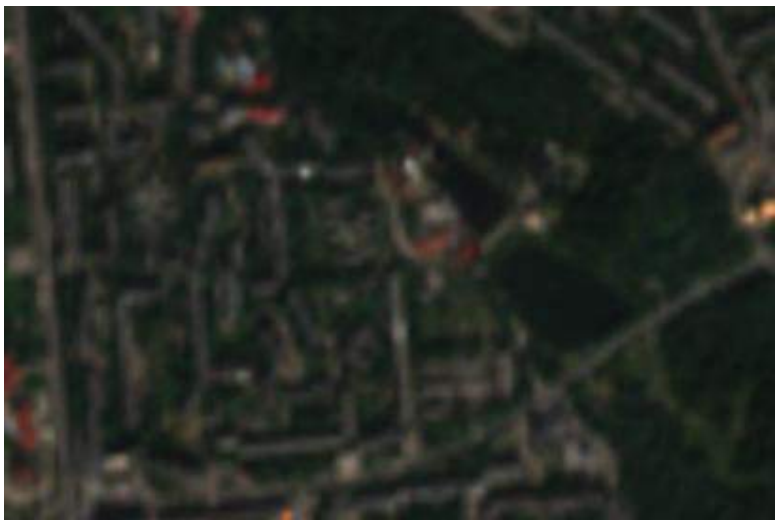


Рисунок 3.5 – Знімок з космічного апарату «Sentinel-2»

Після невдалої роботи над першим супутниковим знімком, було рішення обрати інший космічний апарат з більш якісним просторовим дозволом. Ним виявився «Landsat-8» (рис. 3.6).

Рисунок 3.6 – Знімок з космічного апарату «Landsat-8»

Після завантаження космічного знімку, було проведено вище описаний алгоритм дій. Та обрано бібліотеку розроблену у США. Результат наведено на рисунку 3.7.

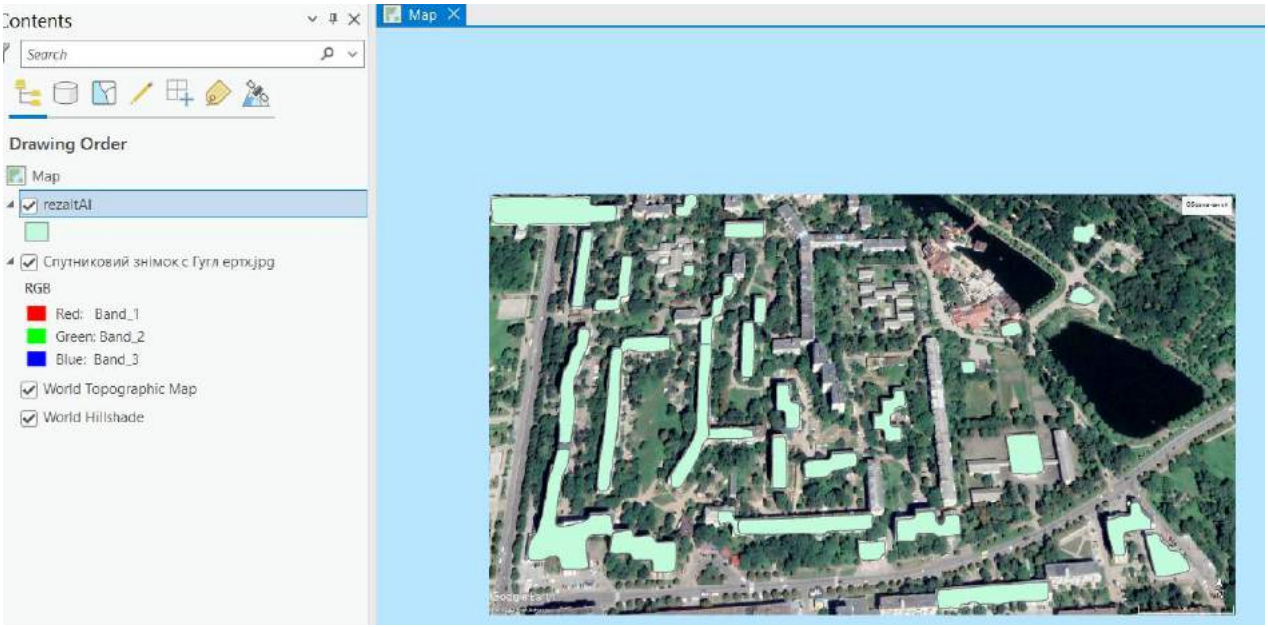


Рисунок 3.6 – Результат обробки знімку на базі даних США

Наглядно зображено, що штучний інтелект не зміг розпізнати усі житлові споруди. В атрибутивній таблиці вказано 32 полігональних об’єкта «Будівлі» сумарна площа яких становить : 2,414736 Га.

Додатково, після першої спроби було запущено процес обробки знімку «Landsat-8» за Австралійською бібліотекою пошуку об’єктів. Результат наглядно зображено на рисунку 3.7.

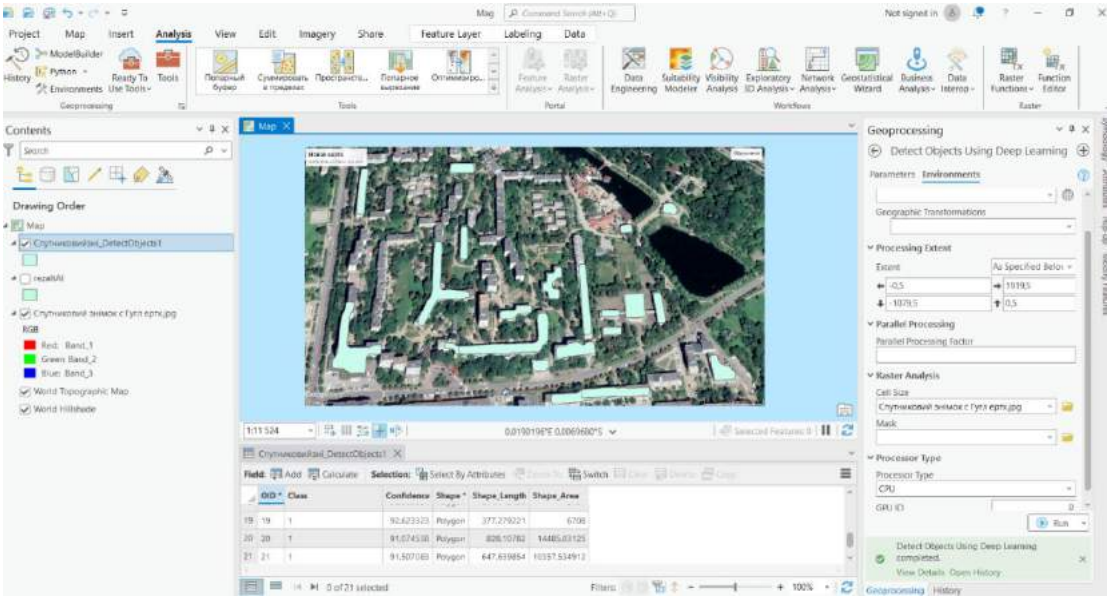


Рисунок 3.7 – Результат обробки знімку штучним інтелектом «AI» на Австралійській базі даних

За другою спробою, з Австралійською базою пошуку споруд, штучний інтелект «AI» зміг знайти всього 21 полігональний об’єкт. Сумарна площа яких становить : 1,342731 Га.

В подальшому було прийнято рішення, перевірити результат роботи «AI» за методом ідентифікації споруд при розділені знімку на блоки 400х400 м. Космічний знімок було розділено на 8 рівних частин та кожний з них було прив’язано до геопросторових даних у програмному забезпечені «ArcGisPro» (рис. 3.8-3.9).

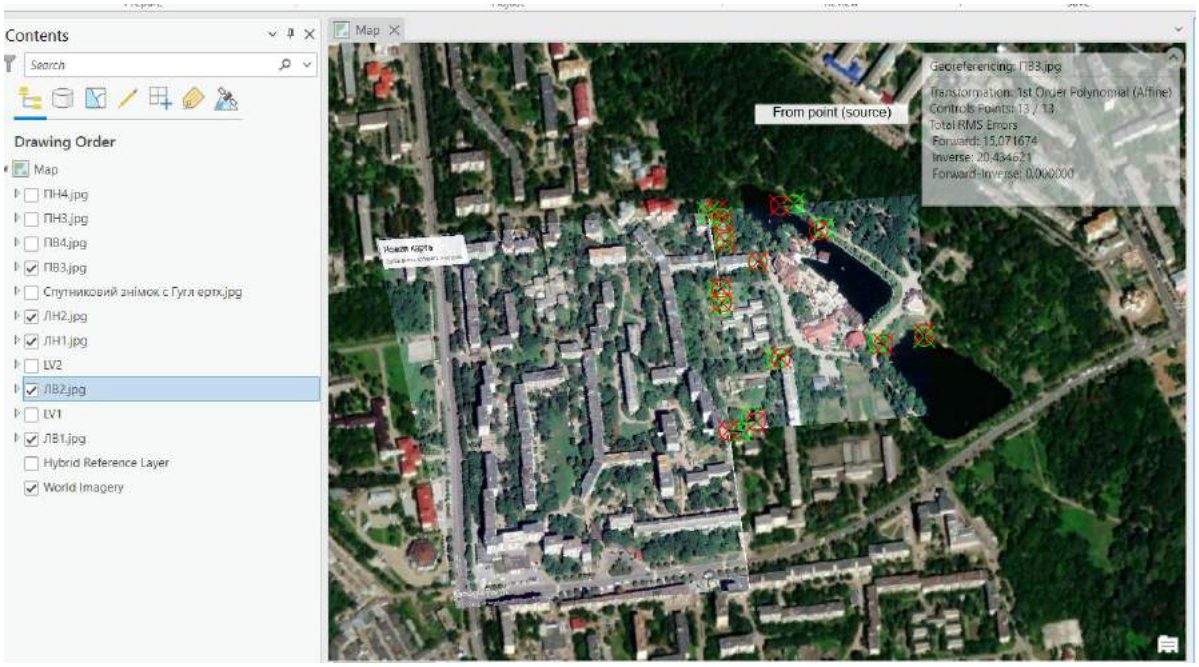
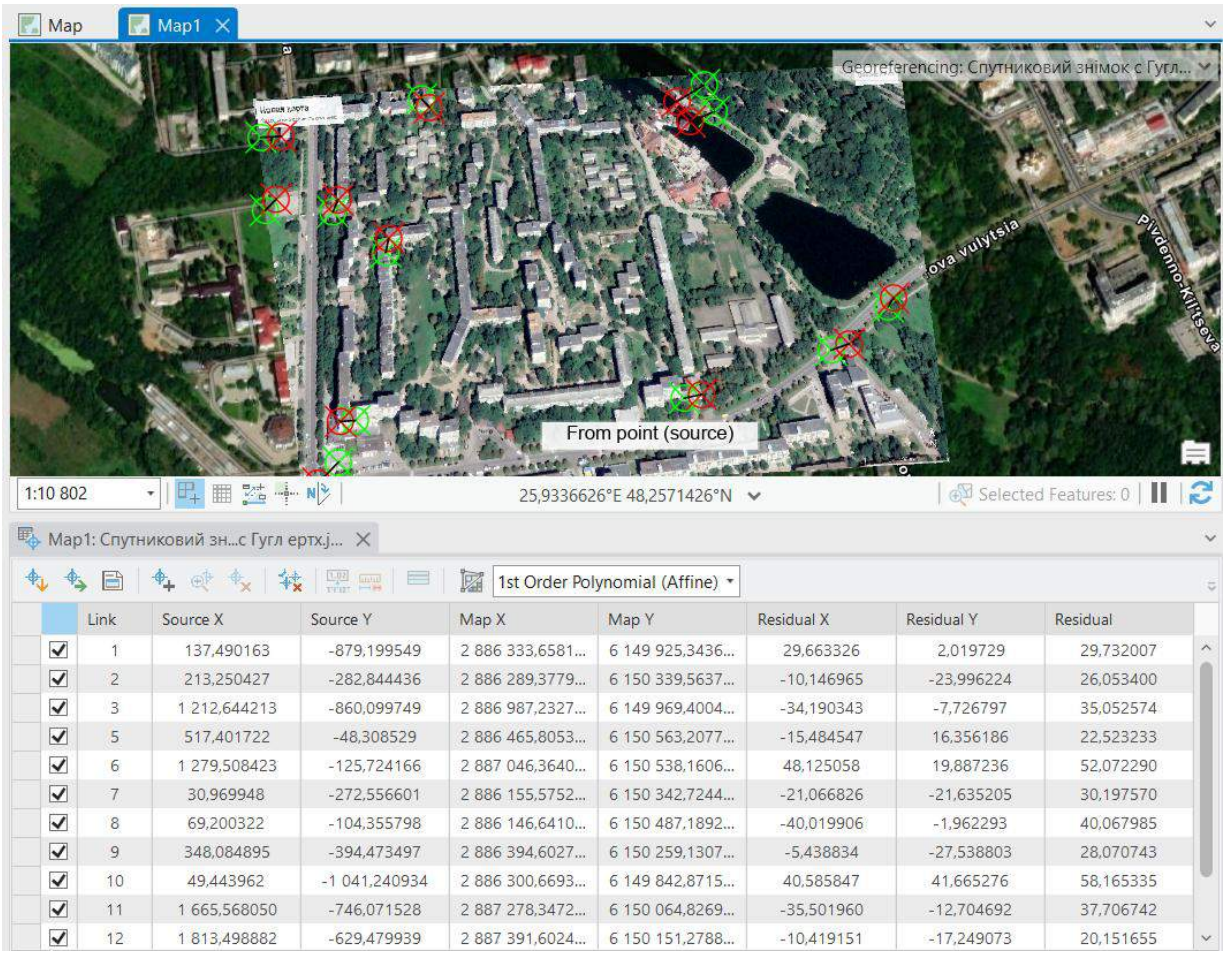


Рисунок 3.8 – Процес розбиття на блоки (400х400 м) та їх геоприв’язка



	Link	Source X	Source Y	Map X	Map Y	Residual X	Residual Y	Residual
☑	1	137,490163	-879,199549	2 886 333,6581...	6 149 925,3436...	29,663326	2,019729	29,732007
☑	2	213,250427	-282,844436	2 886 289,3779...	6 150 339,5637...	-10,146965	-23,996224	26,053400
☑	3	1 212,644213	-860,099749	2 886 987,2327...	6 149 969,4004...	-34,190343	-7,726797	35,052574
☑	5	517,401722	-48,308529	2 886 465,8053...	6 150 563,2077...	-15,484547	16,356186	22,523233
☑	6	1 279,508423	-125,724166	2 887 046,3640...	6 150 538,1606...	48,125058	19,887236	52,072290
☑	7	30,969948	-272,556601	2 886 155,5752...	6 150 342,7244...	-21,066826	-21,635205	30,197570
☑	8	69,200322	-104,355798	2 886 146,6410...	6 150 487,1892...	-40,019906	-1,962293	40,067985
☑	9	348,084895	-394,473497	2 886 394,6027...	6 150 259,1307...	-5,438834	-27,538803	28,070743
☑	10	49,443962	-1 041,240934	2 886 300,6693...	6 149 842,8715...	40,585847	41,665276	58,165335
☑	11	1 665,568050	-746,071528	2 887 278,3472...	6 150 064,8269...	-35,501960	-12,704692	37,706742
☑	12	1 813,498882	-629,479939	2 887 391,6024...	6 150 151,2788...	-10,419151	-17,249073	20,151655

Рисунок 3.9 – Атрибутивна таблиця геопросторових точок

Після етапу геоприв’язки до кожного з блоків було проведено ідентифікацію споруд за допомогою «AI» окремо один від одного. Результат наглядно зображено на рисунку 3.10.

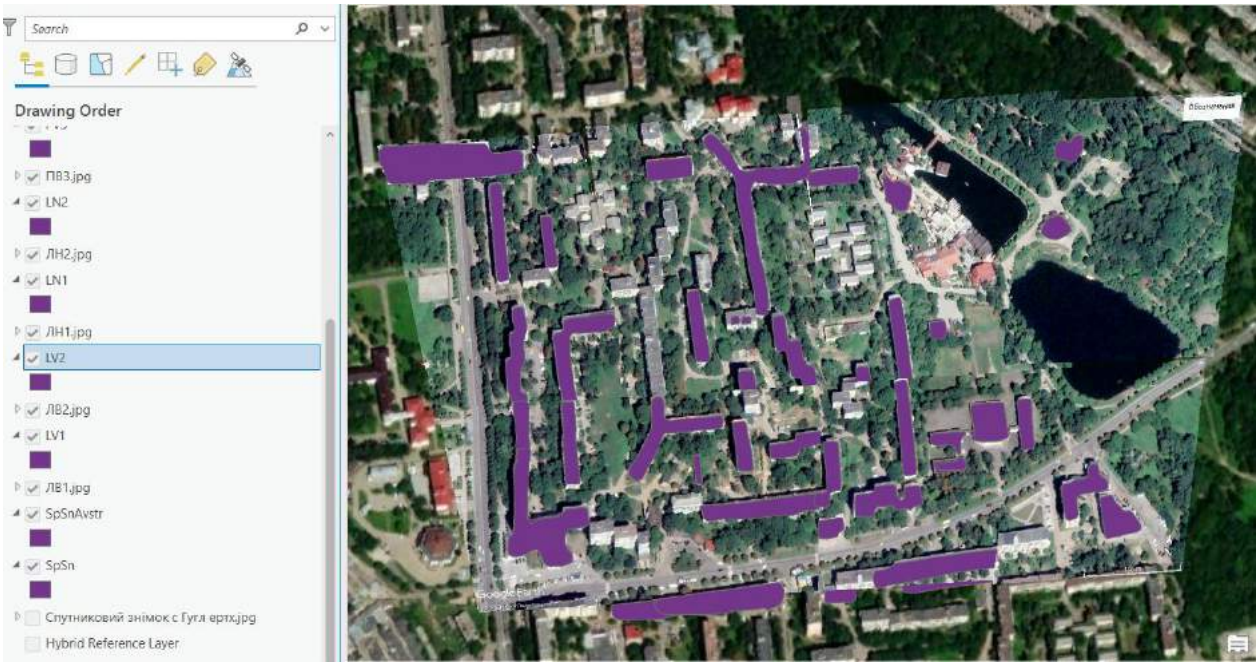


Рисунок 3.10 – Результат використання «AI» для ідентифікації споруд по блоках

На основі отриманого результату у 69 знайдених об’єктів, було зроблено припущення що штучний інтелект з кожним новим разом знаходить нові шаблони споруд, за якими навчається й надає кращі результати. Для підтвердження гіпотези у різні часові проміжки було зроблено нову спробу використання бібліотек «AI» розроблених США та Австралією для ідентифікації споруд. Результат роботи представлено на рисунку 3.11-3.12.

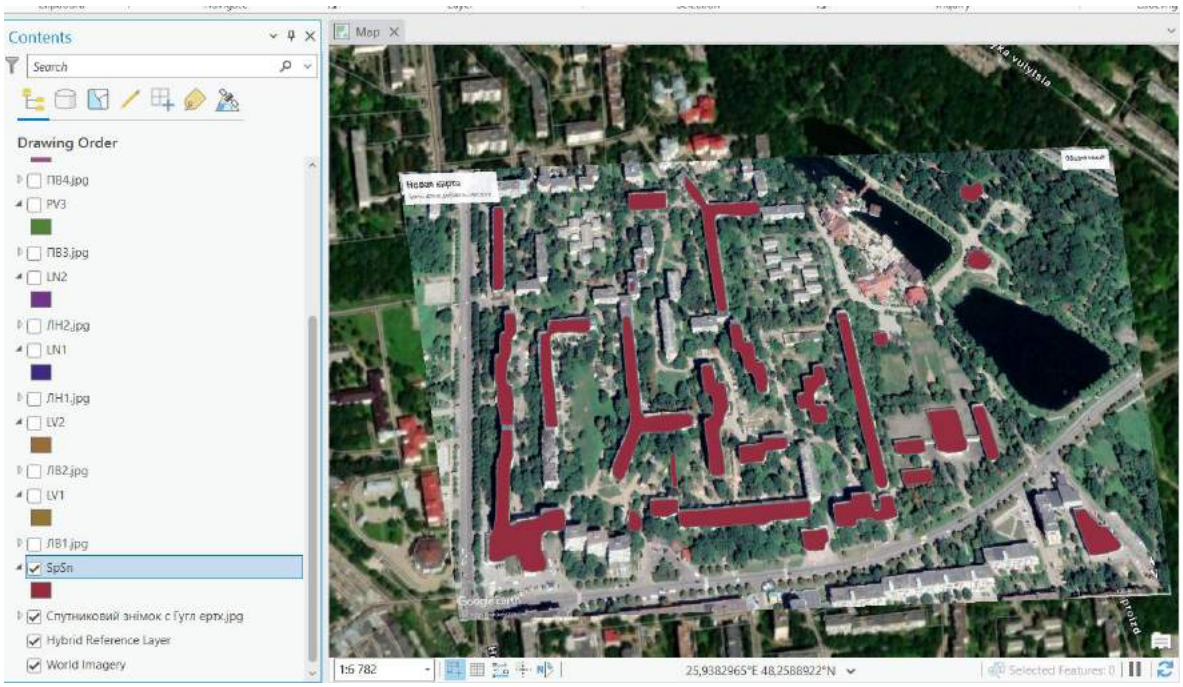


Рисунок 3.11 – Повторна спроба ідентифікації споруд на супутниковому знімку Landsat-8 за допомогою бібліотеки США

Рисунок 3.12 – Повторна спроба ідентифікації споруд на супутниковому знімку Landsat-8 за допомогою бібліотеки Австралії

Отриманий результат двох повторних спроб індентифікації споруд вийшов набагато ефективніший. Загалом, за бібліотекою від США було знайдено 57 будівель, а за бібліотекою Австралії всього 29 об’єктів, що перевищую попередній результат всього на 8 споруд.

В результаті роботи було продемонстровано новітній процес обробки та дешифрування космічних знімків. Функції штучного інтелекту «AI» у бібліотеках вільного доступу ще не до кінця пораються з поставленими задачами до знімків, наприклад: не розпізнають усі об’єкти; не працюють зі знімками поганої якості і інше. Але, у час нових технологій та автоматизації людської праці останнє слово буде за штучним інтелектом «AI».

3.3 Порівняння результатів та аналіз дослідження

На основі проведеного наукового дослідження можна виділити декілька етапів роботи, а саме:

-Пошук космічних знімків;

-Прив’язка супутникового знімка до баз геоданих;

-Пошук бібліотек машиного навчання для роботи штучного інтелекту «AI»;

-Робота з дешифрування та векторизації космічного знімку за декількома способами.

Мета роботи полягала в тому, щоб зрозуміти й оцінити можливості штучного інтелекту «AI» в таких геодезичних роботах, як: пошук об’єктів, їх векторизація, обробка отриманих даних, а також, наскільки впливає точність вхідних даних на потрібний результат у програмному забезпечені «ArcGIS PRO». Робота склала 2 методи векторизації, 2 супутникові знімки різної якості, а також 2 бібліотеки машинного навчання різних розробників.

До уваги взято різницю роздільної здатності між двома супутниковими знімками. Де «Sentinel-2» дає всього точність 10м, а «Landsat-8» в свою чергу дає більш якісний знімок роздільною здатністю 0.5м на піксель. Нажаль,

штучний інтелект «AI» потребував якісних знімків для роботи. Тож при роботі зі знімком «Sentinel-2» штучний інтелект «AI» видав помилку обробки й не відвекторизував растр. Натомість, знімок якістю 0.5м від «Landsat-8» надав можливість отримати довгоочікуваний результат й став основою досліджень.

Основні відмінності між обробкою та прив’язкою знімків в ручну та за допомогою штучного інтелекту «AI» за двома різними бібліотеками можна побачити у таблиці 3.4.

Рисунок 3.4 – Таблиця відмінностей роботи ручною працею та штучним інтелектом «AI» з допомогою двох різних бібліотек машинного навчання

Різновид методики	Векторизація в ручну	Векторизація за допомогою штучного інтелекту «AI» з бібліотекою створеною у США	Векторизація за допомогою штучного інтелекту «AI» з бібліотекою створеною у Австралії	Повторна спроба ідентифікації споруд за бібліотекою США	Повторна спроба ідентифікації споруд за бібліотекою Австралії
Витрачений час на знаходження відповідних вхідних данних виходячи з вимог	30 хв	90 хв	90 хв	5 хв	5 хв

методики (Бібліотеки, космічні знімки)					
Яка максимальний роздільна здатність може підійти до виконання роботи	10м на піксель	0.6м на піксель	0.6м на піксель	0.6м на піксель	0.6м на піксель
Метод прив’язки растру до баз геоданих	Ручна праця	Ручна праця	Ручна праця	Ручна праця	Ручна праця
Витрачений час на векторизацію	60 хв	10 хв	10 хв	9 хв	9 хв
Кількість знайдених об’єктів на знімку	101	32	21	57	29
На скільки відсотків отриманий результат відповідав запиту	99%	32%	21%	57%	29%

На основі таблиці 3.2 було розроблено діаграми представлені на рисунку 3.13-3.15 В основу аналізу було узято бібліотеку від американських розробників. Діаграми наглядно демонструють недоліки та переваги штучного інтелекту «AI» у геоінформаційних системах.

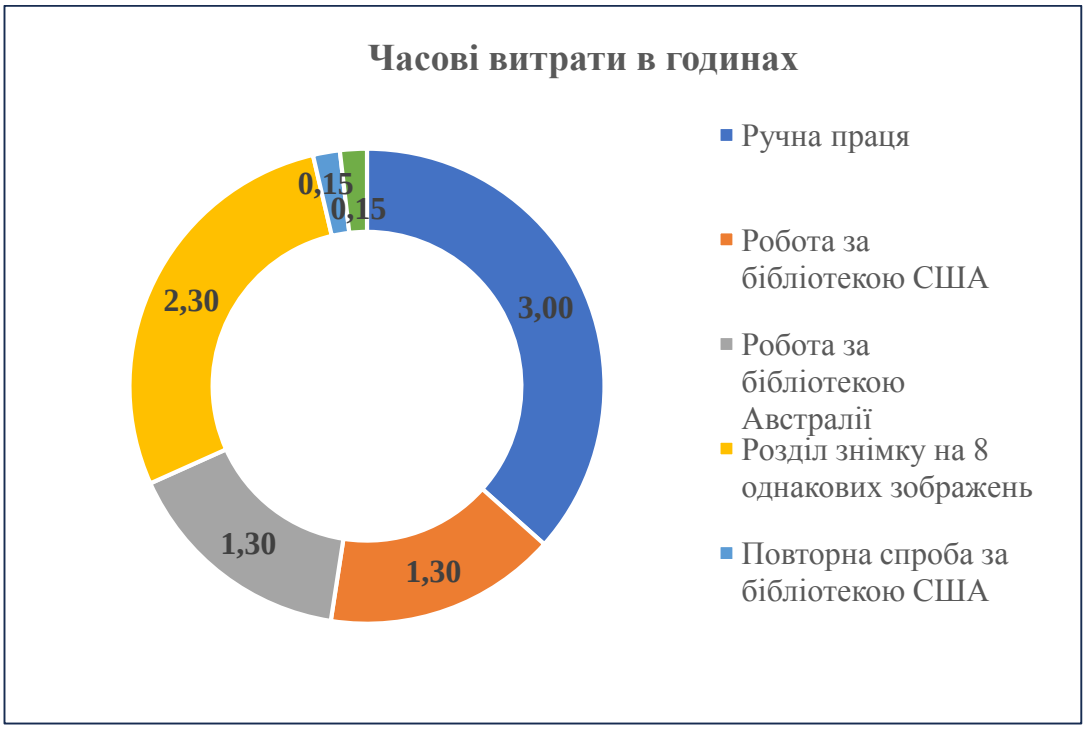


Рисунок 3.13 – Часові витрати в годинах кожного з способу

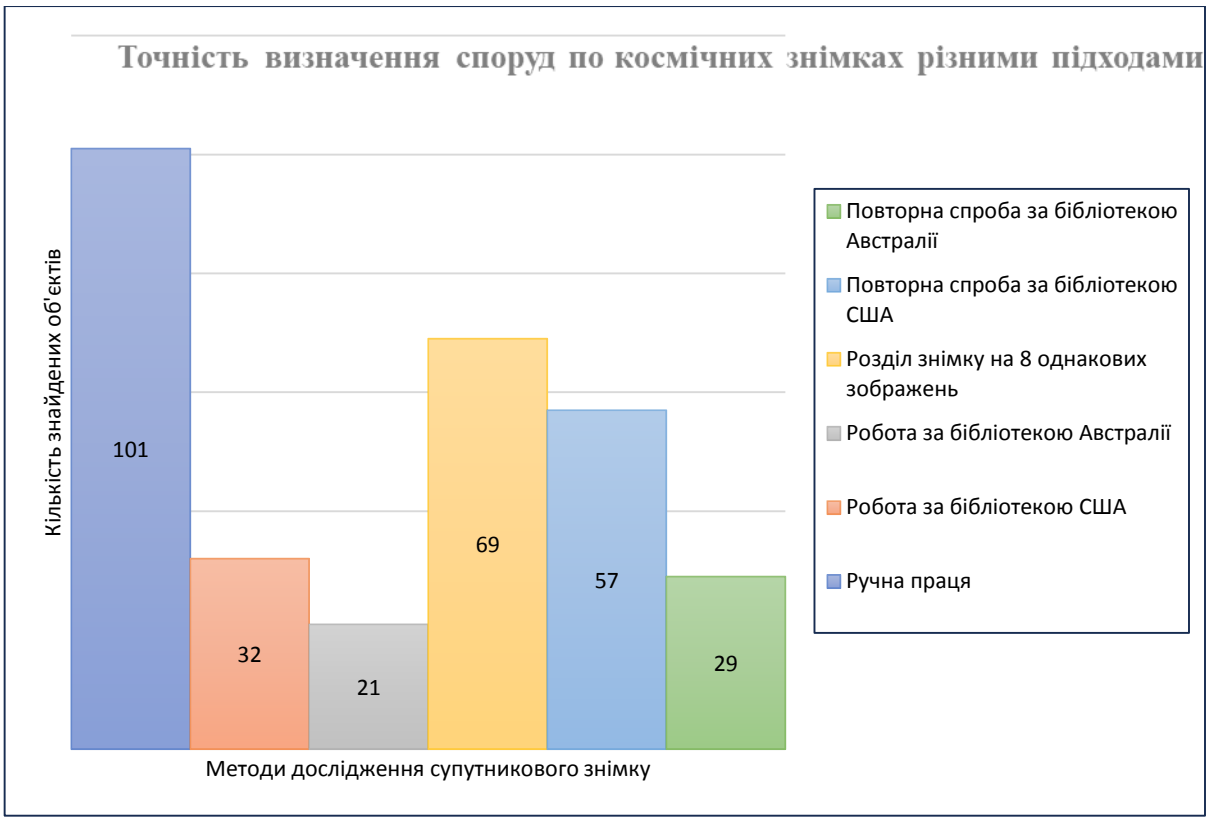


Рисунок 3.14 – Точність визначення споруд по космічних знімках різними підходами

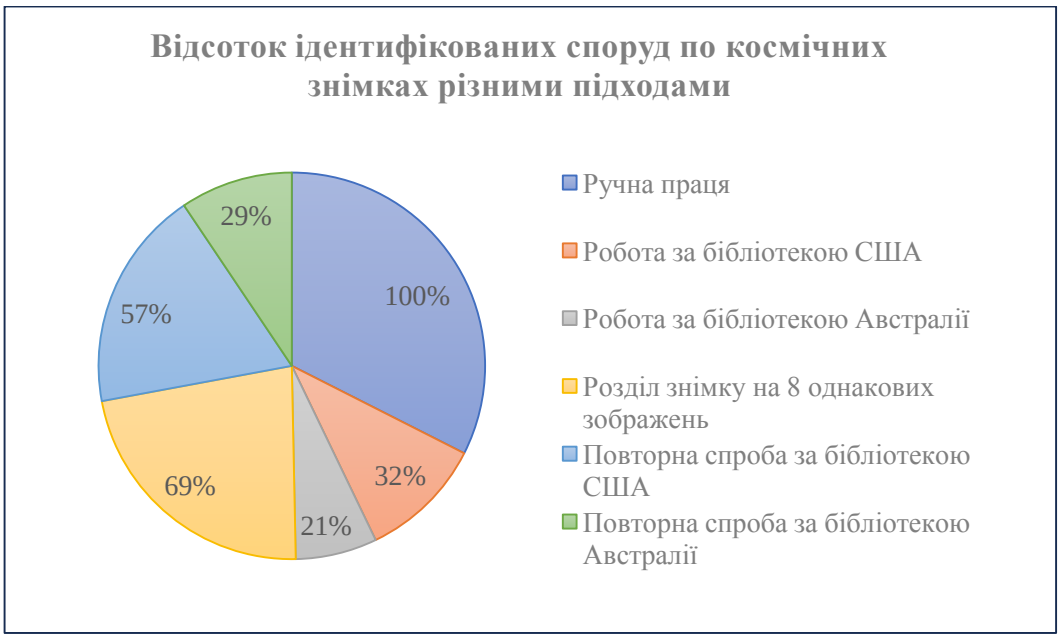


Рисунок 3.15 – Відсоток ідентифікованих споруд по космічних знімках різними підходами

Був проведений аналіз між двома методами пошуку та векторизації супутникових знімків. На рисунках 3.8-3.10 зображено діаграми, за якими було зроблено висновки, що використання методу векторизації штучного інтелекту «AI» набагато скорочує час обробки знімку, легший у використані навіть для початківців. Але також, він ще не точний у своїх результатах, не дає гарантію того що усі потрібні об’єкти будуть векторизовані, не працює зі знімками поганої якості.

Створення картографічних моделей знаходить практичне застосування в геодезії. Автоматизація процесу побудови картографічних моделей на основі штучного інтелекту «AI» через 1-2 роки стане невід’ємною частиною у сфері геодезії та картографії. Звісно, тільки після покращення фунціоналу «AI» у програмному забезпеченні «ArcGIS», а також бібліотек машиного навчання. Результат картографічних моделей представлено на рисунках 3.16-3.17.

Рисунок 3.17 – Картографічна модель ідентифікації споруд визначених методом «AI» по блогах

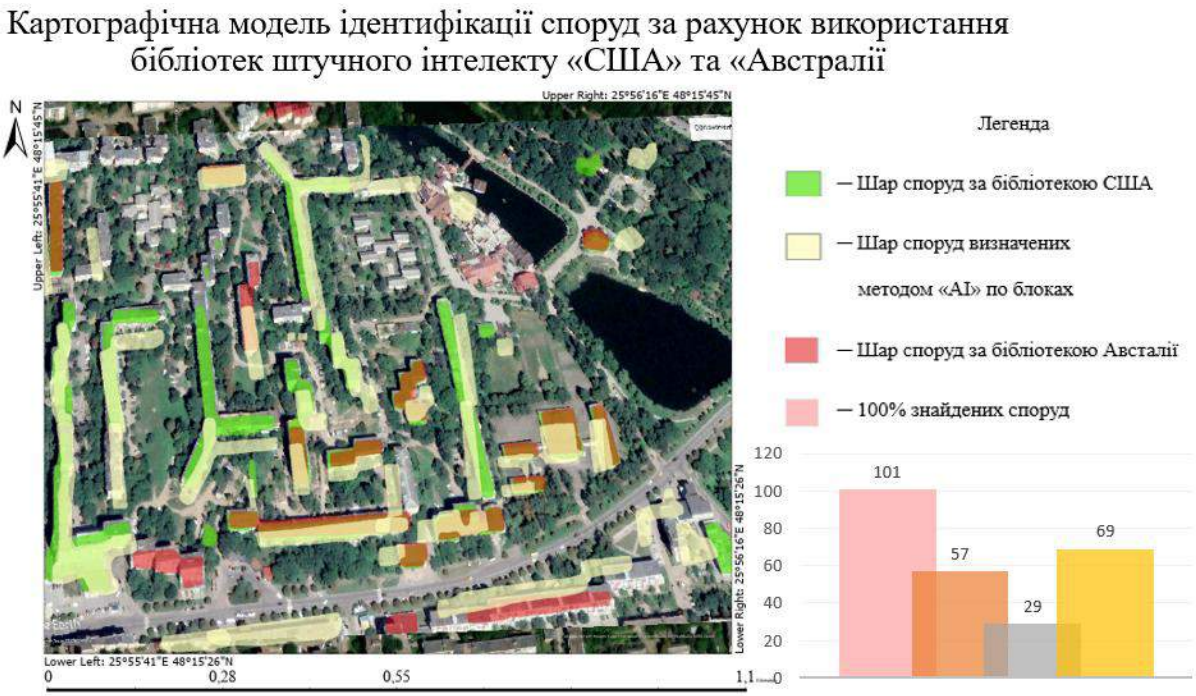


Рисунок 3.18 – Картографічна модель ідентифікації споруд за рахунок використання бібліотек штучного інтелекту «США» та Австралії

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було проаналізовано дані ДЗЗ з відкритих джерел з метою розробки методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій, які у подальшому можуть бути використані для моніторингу змін у навколишньому середовищі, виявлення об'єктів та класифікації природних явищ. А також, розробка зменшить навантаження на операторів та збільшить ефективність роботи систем.

Був проведений аналіз можливостей ідентифікації споруд по космічних знімках методами штучного інтелекту з використанням геоінформаційних систем, що показав існування багатьох різноманітних бібліотек «AI» для визначення різнотипних об’єктів у «ArcGISPro».

Також, для реалізації розробленої методики необхідно використання космічних знімків з високим просторовим розрізненням та бібліотек «AI» з найбільшою точністю ідентифікації споруд.

Результатом даної роботи є розроблена методика побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій, яка показала, що використання «AI» значно підвищує ефективність ідентифікації споруд. При цьому часові витрати на ідентифікацію будівель при використанні «AI» в 3 рази менше ніж при ручній векторизації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Геопространственное агенство Иннотер [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://innoter.com/services/tematicheskiy-analiz/deshifrirovanie-dannykh-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli-dzz/

2. Туз В. І. Розробка побудови картографічної моделі за допомогою штучного інтелекту «AI» на основі даних ДЗЗ. VI Всеукраїнська науково-технічна конференція. 2023. Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення.

3. Utama H. W. STRUKTUR GEOLOGI DAN VULKANOSTRATIGRAFI; PENDEKATAN MODEL ELEVASI DIGITAL DAN CITRA LANDSAT 8. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. 2020. Vol. 6, no. 2. P. 156–168. URL: https://doi.org/10.23960/jge.v6i2.80 (date of access: 15.01.2024).

4. Глушкова Г. Esri CIS. ArcGIS Pro: Візуалізація ваших даних на карті. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=ADHHimwiZmU

5. Esri. ArcGIS Pro. Створення компоновки. [Електронний ресурс]. https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/get-started/add-maps-to-a-layout.htm

6. Esri. Просторова прив'язка історичного зображення в ArcGIS Pro. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://learn.arcgis.com/ru/projects/georeference-imagery-in-arcgis-pro/

7. Esri. ArcGIS Pro 3.2 system requirements. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/get-started/arcgis-pro-system-requirements.htm

8. Wikipedia. Shapefile. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Shapefile

9. How to use Deep learning model in ArcGIS Pro to extract Trees and Building. Made 4 Geek. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

https://www.youtube.com/watch?v=20ZMPALFAE0&ab_channel=Made4Geek

10. Esri. ArcGIS Online. Building Footprint Extraction – USA. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.arcgis.com/home/item.html?id=a6857359a1cd44839781a4f113cd5934

11. ArcGIS Living Atlas of the World. Building Footprint Extraction – Australia. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.arcgis.com/home/item.html?id=4e38dec1577b4b7da5365294d8a66534

12. Wikipedia. Landsat-8. 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Landsat-8

13. Esri. Огляд набору інструментів GeoAI. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/tool-reference/geoai/an-overview-of-the-geoai-toolbox.htm

14. Artificial-intelligence. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.esri.com/en-us/artificial-intelligence/overview#ebook

15. Storymaps Arcgis. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://storymaps.arcgis.com/stories/a5580fb553654d139312bebc3d6ee175

16. Pro.Arcgis. . [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.0/get-started/create-a-project.htm

17. ArcGIS pro license for free. Geospatial Guy.2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=wA2YlW-UZjg&ab_channel=GeospatialGuy

18. GeoAI Education. AI for Good.2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=MkLpejga_8Q&list=RDCMUC4e35vN3-tSBZMNLE-wm45A&start_radio=1&t=4s&ab_channel=AIforGood

ДОДАТОК А

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Спеціальність: 193-Геодезія та землеустрій
Освітня програма: Геоінформаційні системи та технології

Виконавець:
Студентка гр. №462-М,
Туз Вікторія Ігорівна

Керівник:
к.т.н., доцент, зав. кафедри
Горелик Станислав Ігоревич

Актуальність роботи — Актуальність використання методу побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій пов'язана з численними факторами, які роблять це поєднання потужним інструментом для аналізу просторових даних та прийняття рішень.

Сучасні ГІС збирають та обробляють величезні обсяги геопросторових даних з різних джерел, таких як супутники, дрони, сенсори та соціальні медіа. «АІ» може ефективно обробляти та аналізувати великий обсяг інформації, виявляючи шаблони та надаючи цінні відомості. У результаті, метод побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту корисно використовувати для моніторингу змін у навколишньому середовищі, виявлення об'єктів та класифікації природних явищ. А також, це зменшує навантаження на операторів та збільшує ефективність роботи систем.

Мета роботи — Підвищення ефективності визначення споруд за рахунок використання геоінформаційних технологій та штучного інтелекту.

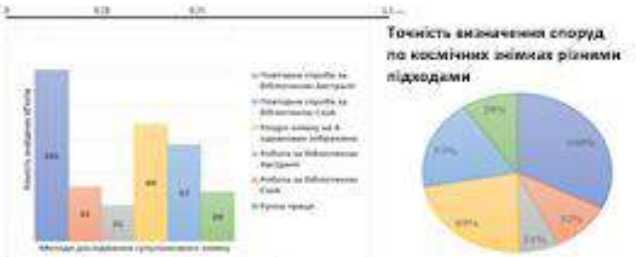
Об'єкт дослідження — Процес ідентифікації споруд за космічними знімками за допомогою штучного інтелекту.

Предмет дослідження — Методика побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій.

Отримані результати

Назва	Sentinel-2	Landsat-8
Спектральні зони	Мультиспектральний	Видимий, ІЧ, тепловий
Роздільна здатність	10 м (видимий, ІЧ), 20 м (короткохвильовий ІЧ), 60 м (тепловий ІЧ)	30 м (видимий, ІЧ), 15 м (панхроматичний)
Час знімання	Кожні 5 днів	Кілька років на день
Масштаб	Великі площі	Великі площі
Зона знімання	100%, європейський околоземний	Глобальний околоземний
Діапазон знімки	290-1430 км	415-1575 км (видимий), 1150-12600 км (ІЧ)
Діапазон температур	-90°C до 60°C	-70°C до 83°C
Інтегральний коефіцієнт огуку	<20 м (для короткохвильових ІЧ)	<30 м (панхроматичний), <65 м (ІЧ)
Можливість зменшувати дані в режимі реального часу	Так	Частково
Продовжений період служби	Тривалий	Тривалий
Відкритий доступ до даних	Так	Так

Картографічна модель ідентифікації споруд визначених методом «АІ» по блоках



Картографічна модель ідентифікації споруд за рахунок використання бібліотек штучного інтелекту «США» та «Австралії

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
“Харківський авіаційний університет”
Факультет ракетно-космічної техніки
Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі
Кваліфікаційна робота магістра
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»
Освітня програма «Геоінформаційні системи та технології»
Розробка методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій
Виконав: студент 462-М Туз В.І.
Науковий керівник: к.т.н., зав. каф. Горелик С.І.
Харків – 2024

Актуальність

Актуальність використання методу побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій пов'язана з численними факторами, які роблять це поєднання потужним інструментом для аналізу просторових даних та прийняття рішень.

Сучасні ГІС збирають та обробляють величезні обсяги геопросторових даних з різних джерел, таких як супутники, дрони, сенсори та соціальні медіа. «AI» може ефективно обробляти та аналізувати великий обсяг інформації, виявляючи шаблони та надаючи цінні відомості. Це дозволяє автоматизувати багато задач в ГІС, таких як ідентифікація об'єктів за даними ДЗЗ, класифікація ґрунтів, аналіз рельєфу та інші. Програмне забезпечення «ArcGisPro» додатково включає в собі такі технології «AI», як комп'ютерний зір та глибоке навчання, що можуть використовуватися для обробки та аналізу геопросторових зображень та відео. Результат побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту корисно використовувати для моніторингу змін у навколишньому середовищі, виявлення об'єктів та класифікації природних явищ. А також, це зменшує навантаження на операторів та збільшує ефективність роботи систем.

3

Мета: Підвищення ефективності визначення споруд за рахунок використання геоінформаційних технологій та штучного інтелекту

Об'єкт: Процес ідентифікації споруд за космічними знімками за допомогою штучного інтелекту

Предмет досліджень: методика побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій

Завдання дослідження:

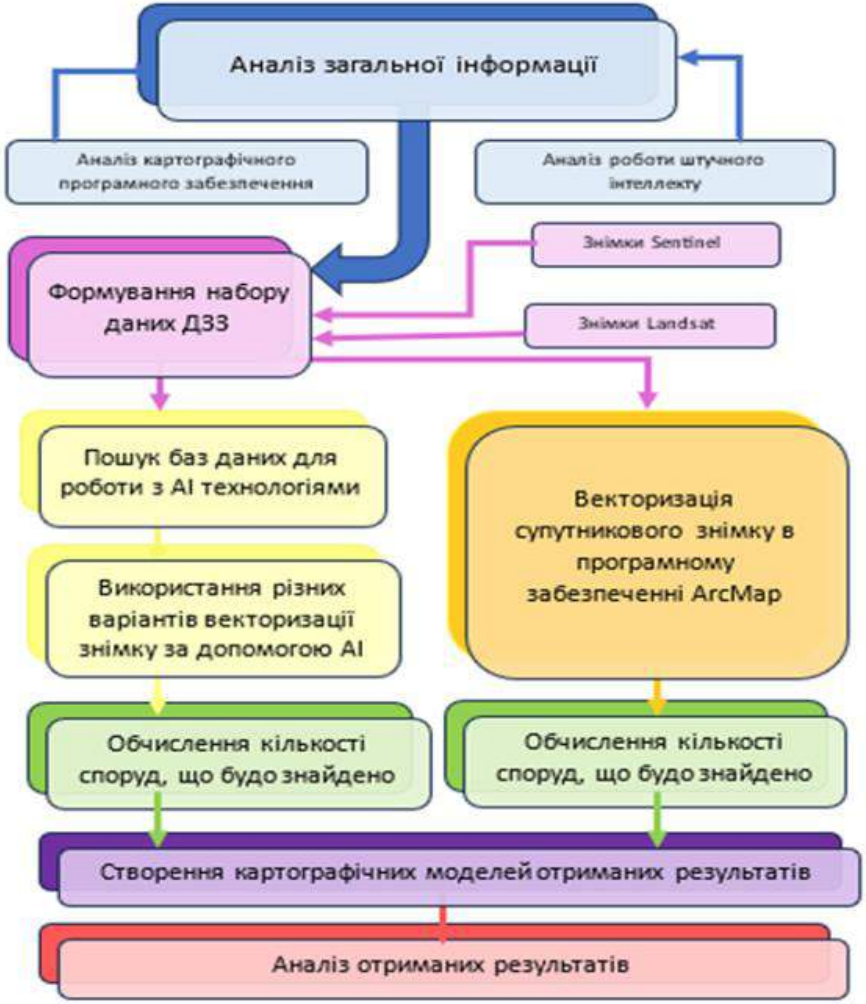
1. Проаналізувати можливості ідентифікації споруд по космічних знімках методами штучного інтелекту з використанням геоінформаційних систем

2. Визначення необхідних вхідних даних та програмного забезпечення

3. Розробка методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій

4. Практична реалізація розробленої методики з визначенням критеріїв ефективності

Структурна схема роботи 4



11% Теоретичні знання

6% Пошук даних ДЗЗ

23% Векторизація знімку в ArcGIS Pro

25% Векторизація знімку в ArcMap

4% Розрахунок кількості об’єктів

20%Створення картографічних моделей

11% Аналіз отриманих результатів

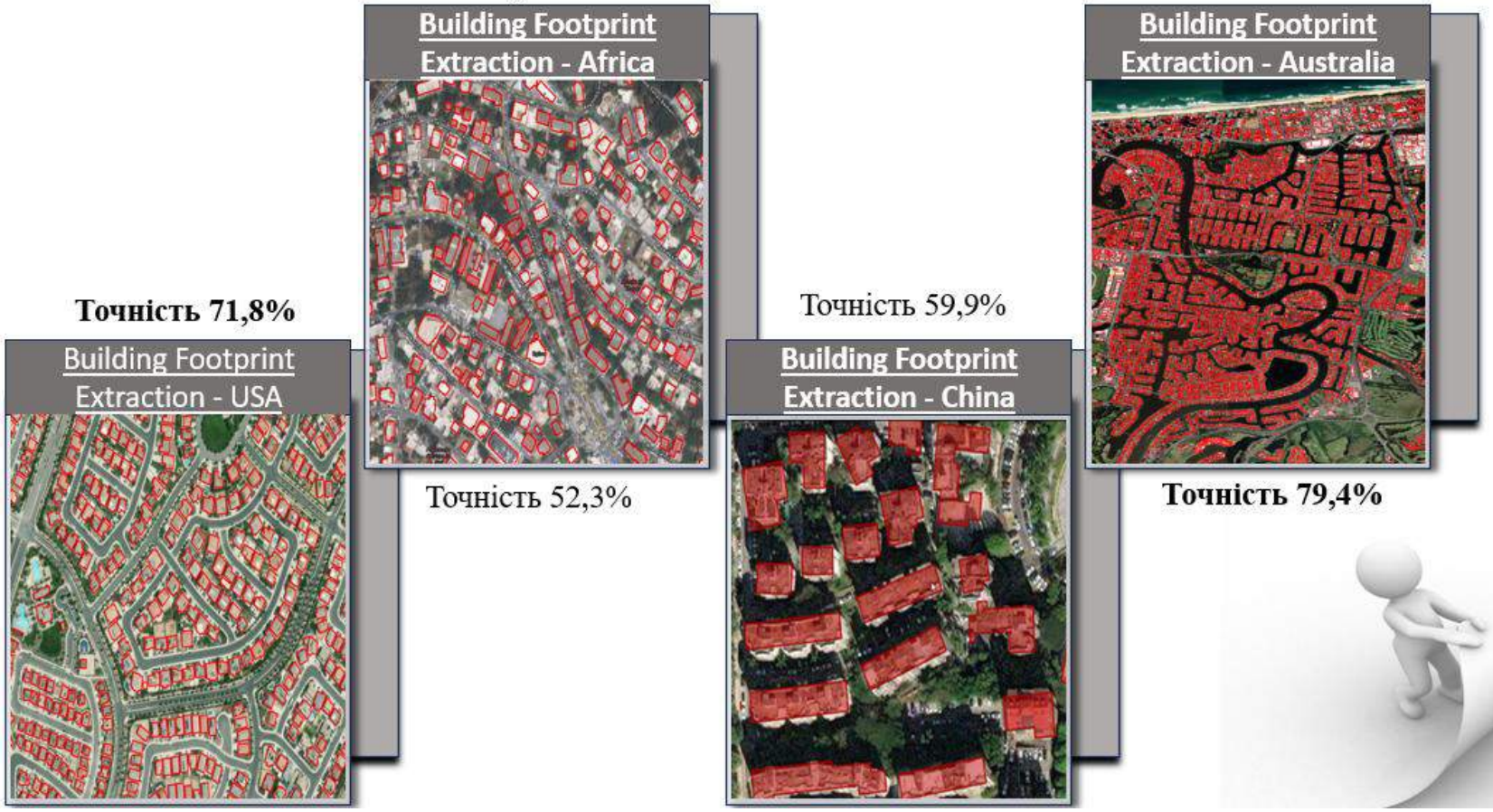
Характеристика супутників та необхідне програмне забезпечення для векторизації знімків за допомогою штучного інтелекту

На сьогоднішній момент можливості штучного інтелекту впроваджені тільки в геоінформаційному програмному забезпечені «ArcGIS Pro»

Назва	Sentinel-2	Landsat-8
Спектральні зони	Мультиспектральний	Видимий, ІЧ, тепловий
Роздільна здатність	10 м (видимий, ІЧ), 20 м (короткохвильовий ІЧ), 60 м (тепловий ІЧ)	30 м (видимий, ІЧ), 15 м (панхроматичний)
Час знімання	Кожні 5 днів	Кілька разів на день
Масштаб	Великі площі	Великі площі
Зони знімання	100%, європейський охоплюючий	Глобальний охоплюючий
Діапазон зйомки	290–2420 нм	435–1375 нм (видимий), 1556–12608 нм (ІЧ)
Діапазон температур	-90°C to 60°C	-73°C to 83°C
Інтегрований коефіцієнт зсуву	<20 мс (для короткохвильових ІЧ)	<30 мс (панхроматичний), <85 мс (ІЧ)
Можливість записувати дані в режимі реального часу	Так	Частково
Продовжений термін служби	Тривалий	Тривалий
Відкритий доступ до даних	Так	Так

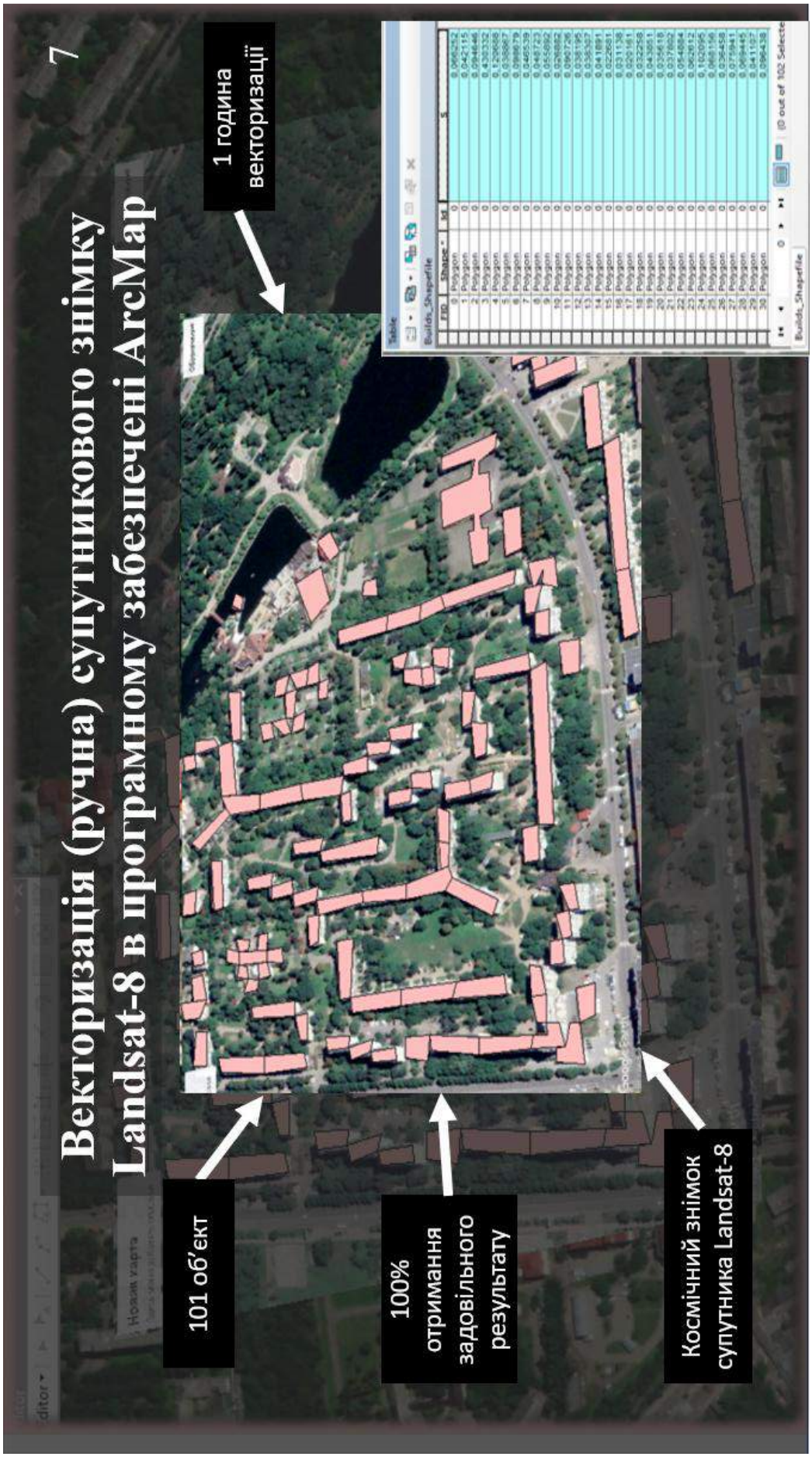
Приклад використання бібліотек «AI» в «ArcGIS Pro» при визначенні будівель за космічними знімками

6



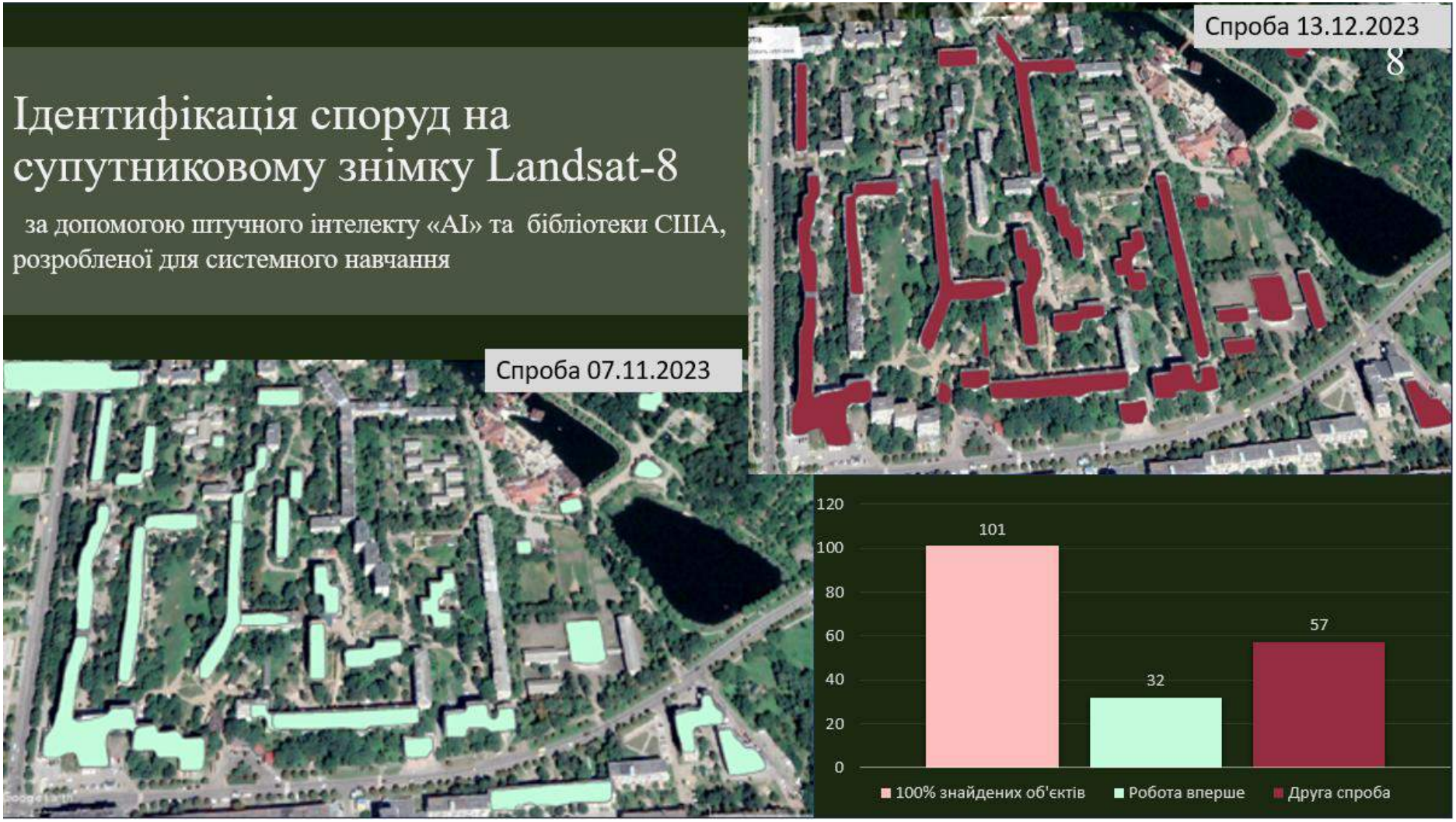
ДОДАТОК Е

ДОДАТОК Є


7
Векторизація (ручна) супутникового знімку Landsat-8 в програмному забезпечені ArcMap
1 година векторизації
101 об'єкт
100% отримання задовільного результату
Космічний знімок супутника Landsat-8

Ідентифікація споруд на супутниковому знімку Landsat-8

за допомогою штучного інтелекту «AI» та бібліотеки США, розробленої для системного навчання



ДОДАТОК З

Ідентифікація споруд на супутниковому знімку Landsat-8
за допомогою штучного інтелекту «AI» та бібліотеки Австралії, розробленої для системного навчання
Спроба 07.11.2023
Спроба 13.12.2023
120
100
80
60
40
20
0
101
21
29
9
100% знайдених об'єктів
Робота вперше
Друга спроба

Методика ідентифікації споруд при розділені знімку на блоки 400х400 м

за допомогою штучного інтелекту «АІ»

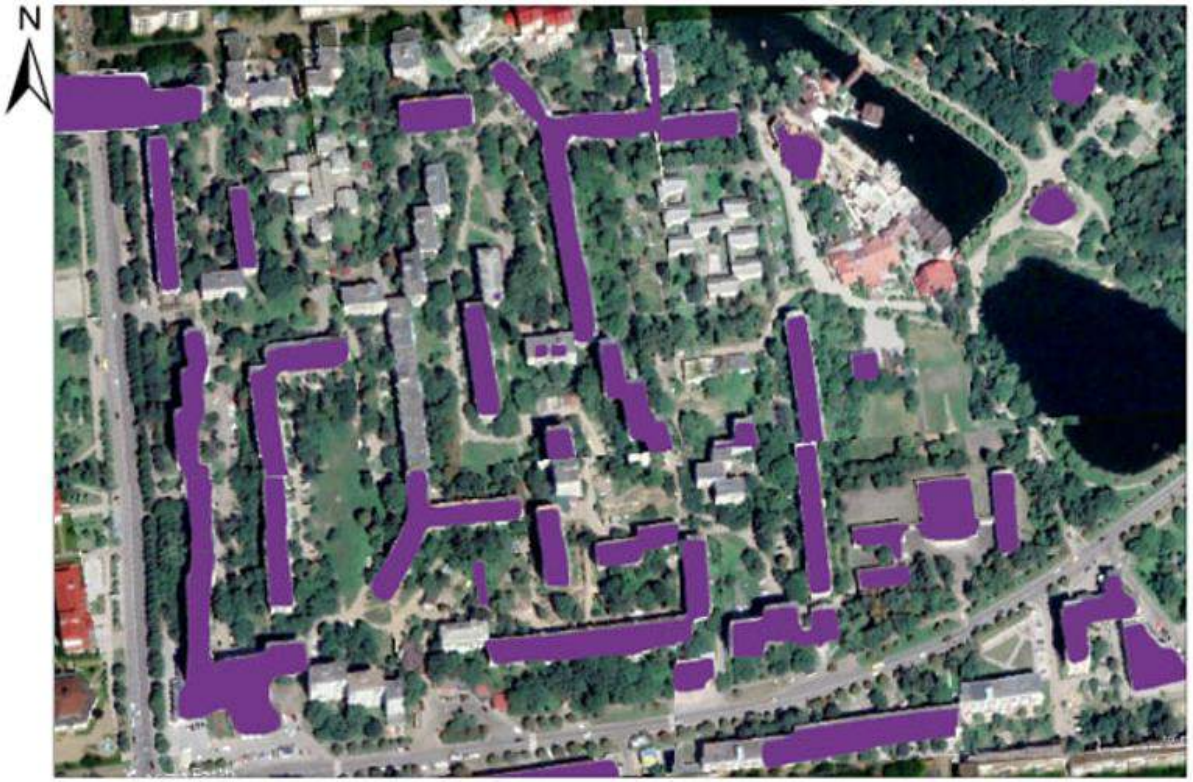
Процес розбиття на блоки (400х400 м) та їх геоприв'язка

Результат використання «АІ» для ідентифікації споруд по блоках

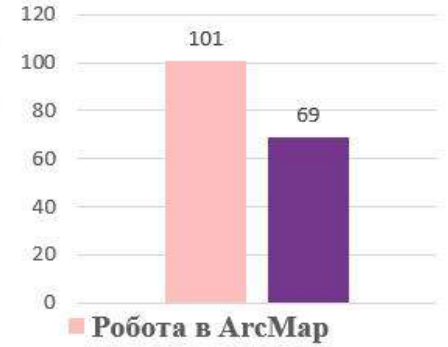
	Link	Source X	Source Y	Map X	Map Y	Residual X	Residual Y	Residual
☑	1	137,490163	-879,199549	2 886 333,6581...	6 149 925,3436...	29,663326	2,019729	29,732007
☑	2	213,250427	-282,844436	2 886 289,3779...	6 150 339,5637...	-10,146965	-23,996224	26,053400
☑	3	1 212,644213	-860,099749	2 886 987,2327...	6 149 969,4004...	-34,190343	-7,726797	35,052574
☑	5	517,401722	-48,308529	2 886 465,8053...	6 150 563,2077...	-15,484547	16,356186	22,523233
☑	6	1 279,508423	-125,724166	2 887 046,3640...	6 150 538,1606...	48,125058	19,887236	52,072290
☑	7	30,969948	-272,556601	2 886 155,5752...	6 150 342,7244...	-21,066826	-21,635205	30,197570
☑	8	69,200322	-104,355798	2 886 146,6410...	6 150 487,1892...	-40,019906	-1,962293	40,067985
☑	9	348,084895	-394,473497	2 886 394,6027...	6 150 259,1307...	-5,438834	-27,538803	28,070743
☑	10	49,443962	-1 041,240934	2 886 300,6693...	6 149 842,8715...	40,585847	41,665276	58,165335
☑	11	1 665,568050	-746,071528	2 887 278,3472...	6 150 064,8269...	-35,501960	-12,704692	37,706742
☑	12	1 813,498882	-629,479939	2 887 391,6024...	6 150 151,2788...	-10,419151	-17,249073	20,151655

Картографічна модель ідентифікації споруд визначених методом «AI» по блоках

11



Upper Left: 25°55'37"E 48°15'45"N
Upper Right: 25°56'15"E 48°15'45"N
Lower Left: 25°55'37"E 48°15'27"N
Lower Right: 25°56'15"E 48°15'27"N

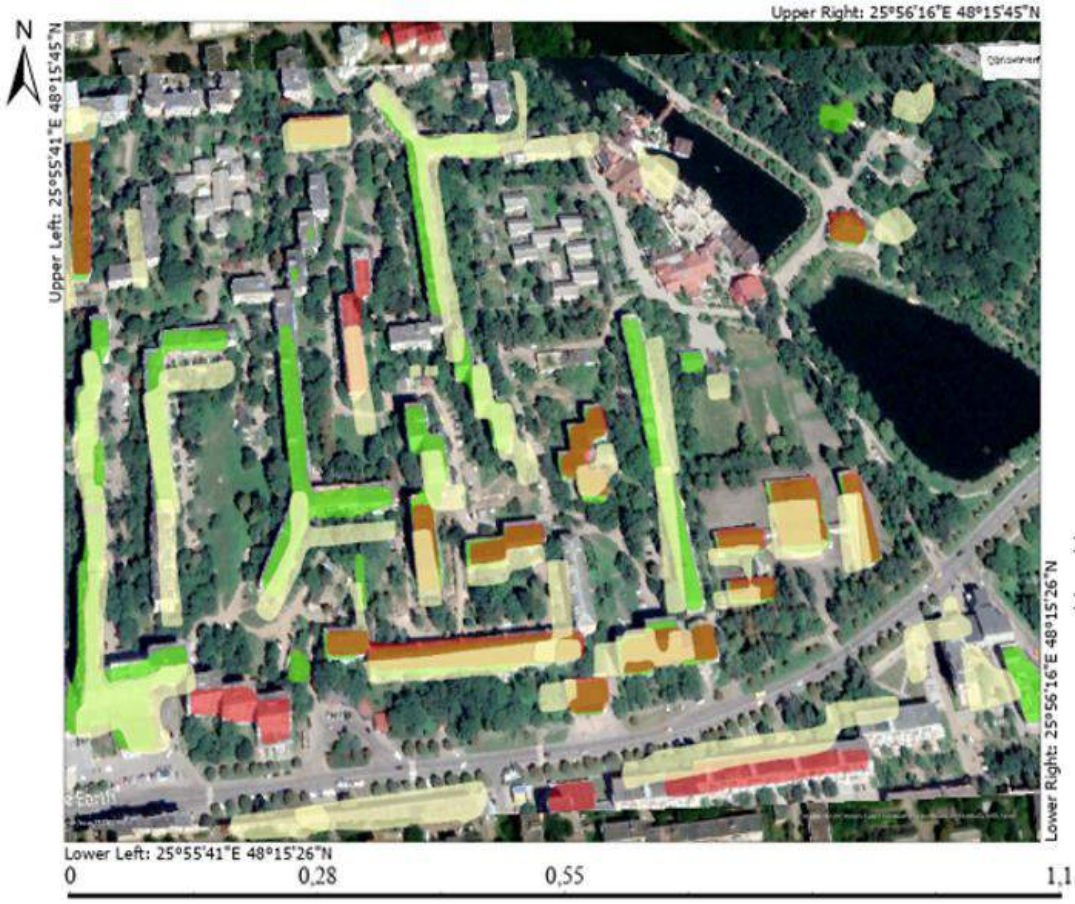


Умовні позначки:

- об'єкт «Споруди»

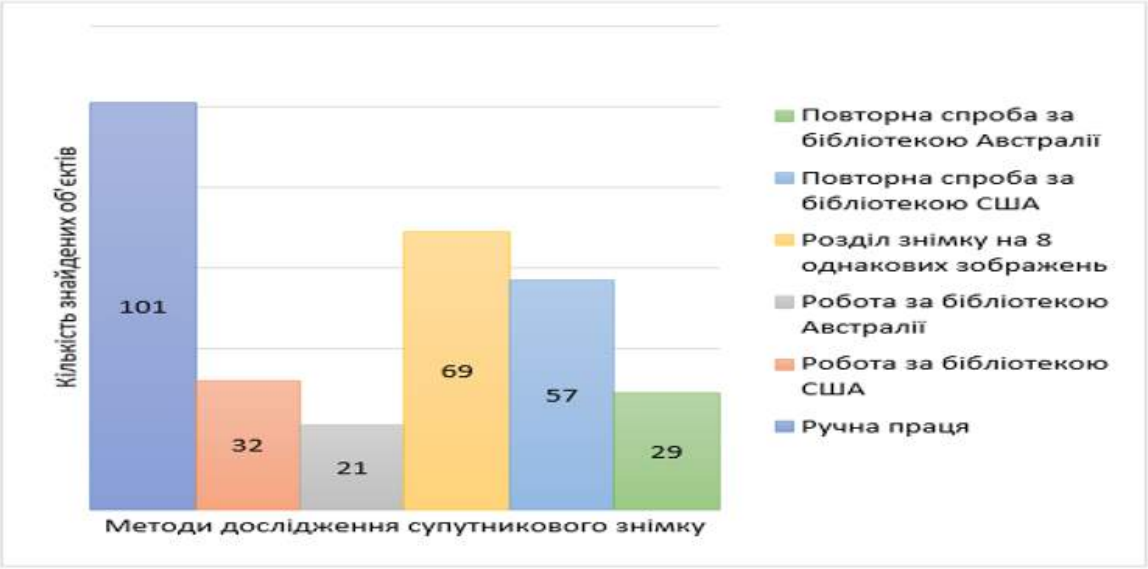
Картографічна модель ідентифікації споруд за рахунок використання бібліотек штучного інтелекту «США» та «Австралії

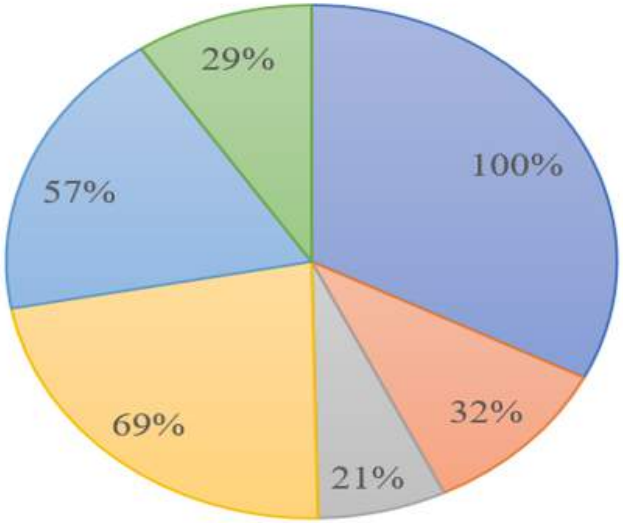
12



Оцінка ефективності розробленої методики побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій

Точність визначення споруд по космічних знімках різними підходами





Висновки

14

1. Аналіз можливостей ідентифікації споруд по космічних знімках методами штучного інтелекту з використанням геоінформаційних систем показав, що існують багато різноманітних бібліотек «AI» з визначенні різнотипних об'єктів у ArcGIS Pro.

2. Для реалізації розробленої методики необхідно використання космічних знімків з високим просторовим розрізненням та бібліотек «AI» з найбільшою точністю ідентифікації споруд.

3. Розроблена методика побудови картографічних моделей за допомогою штучного інтелекту з використанням геоінформаційних технологій показала, що використання «AI» значно підвищує ефективність ідентифікації споруд. При цьому часові витрати на ідентифікацію будівель при використанні «AI» в 3 рази менше ніж при ручній векторизації.

Апробація

Туз В. І. Розробка побудови картографічної моделі за допомогою штучного інтелекту «AI» на основі даних ДЗЗ. VI Всеукраїнська науково-технічна конференція. 2023. Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення.