

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.8.430-443

УДК 528.4

канд. тех. наук, доцент **Лазоренко Н. Ю.**,
lazorenko.niu@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1572-4947,
Київський національний університет будівництва та архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ (GEOAI) ДЛЯ ЗАВДАНЬ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ

Проаналізовано основні напрями застосування штучного інтелекту (Artificial intelligence – AI) для завдань топографічного картографування на прикладі шістьох проєктів, в рамках яких було реалізовано функції із застосуванням штучного інтелекту. Також було сформовано основні цілі, проблеми, виклики, підходи та методи, які дозволяють автоматизувати процеси створення та оновлення геопросторових даних і підвищити якість цих даних.

Метою статті є дослідження застосування інструментів на основі технології штучного інтелекту для завдань топографічного картографування.

Інтеграція AI та геопросторового штучного інтелекту (Geospatial Artificial Intelligence – GeoAI) в топографічне картографування та містобудівний моніторинг призвела до значних досягнень у точності, ефективності та обсягах даних для геопросторового аналізу, який можна виконати значно зекономивши час і ресурси. Розглянуті проєкти у цій статті демонструють потенціал цих технологій, проте вирішення викликів, пов'язаних з якістю даних, інтерпретацією моделей та етичними питаннями, є критичним для продовження успішного впровадження та використання рішень, керованих моделями AI у геоінформаційному середовищі.

Ключові слова: геоінформаційна система; геопросторові дані; штучний інтелект; топографічне картографування; GeoAI; AI; класифікація.

Постановка проблеми. На сьогодні штучний інтелект (*Artificial Intelligence – AI*) став новим популярним інструментом для вирішення різноманітних завдань в багатьох сферах економіки провідних країн світу, потужним трендом розвитку геоінформаційних технологій, а також все частіше використовується для топографічного картографування, пропонуючи значні переваги в створенні, оновленні карт для забезпечення системи ведення топографічного моніторингу та використання для геопросторового аналізу.

Геопросторовий штучний інтелект (*Geospatial Artificial Intelligence – GeoAI*) – це технологія, яка поєднує моделювання геопросторових даних із

розширеною аналітикою за допомогою штучного інтелекту в процесах прийняття рішень. Одними із основних переваг GeoAI є:

- автоматизація класифікації об'єктів;
- інтерпретація даних дистанційного зондування Землі;
- тривимірне моделювання у картографуванні територій;
- інтеграція даних у реальному часі;
- прогнозування процесів і явищ;
- зменшення помилок та контроль якості геопросторових даних.

Автоматизація класифікації об'єктів. Алгоритми GeoAI, особливо ті, що базуються на машинному навчанні, можуть автоматично визначати та класифікувати об'єкти місцевості на основі супутникових зображень, аерофотознімків тощо. Ця автоматизація прискорює процес картографування та дозволяє зменшити помилки дешифрування.

Інтерпретація даних дистанційного зондування Землі. Техніки, такі як згорткові нейронні мережі (*convolutional neural networks, CNN*), використовуються для покращення аналізу зображень, зроблених супутниками та безпілотними літальними апаратами (БПЛА), що дозволяє створювати якісні топографічні карти і плани.

Тривимірне моделювання у картографуванні територій. GeoAI допомагає у створенні тривимірних топографічних моделей шляхом обробки великих наборів даних, які одержані за допомогою технології лазерного сканування (LiDAR) та/або методами фотограмметрії.

Інтеграція даних у реальному часі. Системи штучного інтелекту можуть інтегрувати та аналізувати дані з декількох джерел у реальному часі. Ця можливість є важливою для оновлення карт, щоб відображати зміни, викликані як природними, так і техногенними явищами і подіями.

Прогнозування процесів і явищ. Технологія GeoAI дозволяє передбачати зміни земного покриву на основі ретро- та актуальних даних. Таке застосування GeoAI корисне, наприклад, для просторового розвитку територій, управління сільським та лісовим господарствами.

Зменшення помилок та контроль якості геопросторових даних. Алгоритми GeoAI допомагають виявляти невідповідності та помилки на картах, забезпечуючи підвищення точності та надійності. Вони можуть перевіряти створені/оновлені карти на наявність розбіжностей і помилок із існуючими офіційними достовірними даними, покращуючи якість кінцевого продукту.

Новітня технологія опрацювання геопросторових даних має проблемні питання та виклики у сфері топографо-геодезичної та картографічної діяльності, які було систематизовано і подано у таблиці 1.

Таблиця 1

Основні цілі і проблемні питання застосування ГеоАІ для завдань топографічного картографування

Цілі	Проблеми	Виклики	Підходи	Методи АІ
<p>1. Підвищення точності: топографічних карт і класифікації земного покриву.</p> <p>2. Зменшення ручної роботи, автоматизація трудомістких завдань в опрацюванні геопросторових даних.</p> <p>3. Оптимізація процесів картографування з метою економії часу та ресурсів.</p> <p>4. Сприяння впровадженню АІ в національних картографічних агентствах, приватному секторі.</p> <p>5. Підтримка сервісів. Забезпечення точними та актуальними геопросторовими даними різних застосунків, наприклад, реагування на надзвичайні ситуації.</p>	<p>1. Труднощі у визначенні точних контурів типів земного покриву (проблема класифікації).</p> <p>2. Інтеграція різномірних даних.</p> <p>3. Забезпечення зрозумілості та обґрунтованості рішень моделей, які генерує АІ.</p> <p>4. Високі вимоги щодо обчислювальної потужності для навчання та розгортання моделей АІ.</p> <p>5. Дотримання нормативних вимог щодо конфіденційності даних та етичного використання АІ, а також забезпечення захисту інформації.</p>	<p>1. Забезпечення високоякісних різноманітних навчальних даних для моделей АІ.</p> <p>2. Об'єднання різних джерел даних (наприклад, аерофотознімків, даних LiDAR) для застосування комплексного методу картографування.</p> <p>3. Інтерпретація моделей. Забезпечення зрозумілості моделей АІ користувачу.</p> <p>4. Масштабованість. Застосування АІ рішень на території будь-якого розміру і великі в тому числі.</p> <p>5. Управління конфіденційністю даних і вирішення етичних питань у застосуванні АІ.</p>	<p>1. Моделі глибокого навчання. Використання нейронних мереж, таких як UNet, RoadVecNet та NestNet для ідентифікації об'єктів і розпізнавання змін.</p> <p>2. Трансферне навчання. Підвищення продуктивності моделей за рахунок використання попередньо навчених мереж.</p> <p>3. Багатоцільове навчання. Навчання моделей виконувати кілька завдань одночасно, наприклад, таких як сегментація елементів дорожнього покриття.</p> <p>4. Відкритий обмін даними. Поширення високоякісних навчальних даних і результатів для підтримки подальших досліджень та розвитку.</p>	<p>1. UNet [17]: для ідентифікації будівель, доріг, гідрографічних об'єктів з аерофотознімків та даних LiDAR.</p> <p>2. RoadVecNet [18]: для ідентифікації доріг із застосуванням багатозадачного навчання.</p> <p>3. NestNet [19]: для розпізнавання змін об'єктів місцевості, наприклад, у будівлях та дорогах.</p> <p>4. Трансферне навчання: для підвищення точності моделей за рахунок використання попередньо навчених мереж.</p>

GeoAI є перспективною технологією, яка забезпечить підвищення ефективності та точності геопросторових даних для топографічного картографування та є важливим компонентом сучасних геоінформаційних систем. У цій роботі розглянуто інструменти для завдань топографічного картографування у геоінформаційній системі QGIS.

Аналіз досліджень та публікацій по темі дослідження. Застосування сучасних геоінформаційних технологій та баз геопросторових даних є позитивною тенденцією і перспективним напрямом у розвитку топографо-геодезичної та картографічної діяльності [1]. Питанням застосування штучного інтелекту для завдань топографічного та тематичного картографування, а також для виконання геопросторового аналізу на основі актуальних та якісних геопросторових даних займаються різні провідні країни світу в рамках певних грантових досліджень, результати яких здебільшого є відкритими для інших дослідників і можуть бути використані на інші території [2 – 10]. Слід зазначити, що технології машинного навчання мають власні стандарти, які регламентують цю сферу, перелік яких наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Міжнародні стандарти ISO у сфері застосування штучного інтелекту

№	Назва стандарту	Стислий опис	Посилання
1	2	3	4
1	ISO/IEC 22989:2022, Information technology – Artificial intelligence – Artificial intelligence concepts and terminology	Цей стандарт встановлює термінологію та описує концепції у сфері штучного інтелекту. Цей стандарт може бути використаний під час розроблення інших стандартів і для підтримки комунікацій між різними зацікавленими сторонами або стейкхолдерами. Цей стандарт може бути застосований до всіх типів організацій (наприклад, комерційних підприємств, державних установ, некомерційних організацій).	https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:74296:en
2	ISO/IEC 23053:2022 Framework for Artificial Intelligence (AI) Systems Using Machine Learning (ML)	Цей стандарт встановлює фреймворк штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML) для опису загальної системи AI з використанням технології машинного навчання. Фреймворк описує компоненти системи та їхні функції в екосистемі штучного інтелекту. Цей	https://www.iso.org/standard/74438.html

№	Назва стандарту	Стислий опис	Посилання
1	2	3	4
		документ може бути застосований до всіх типів і розмірів організацій, включаючи державні та приватні компанії, урядові установи та некомерційні організації, які впроваджують або використовують системи штучного інтелекту.	
3	ISO/IEC 5339:2024 Information technology Artificial intelligence Guidance for AI applications	ISO/IEC 5339 містить рекомендації щодо застосування штучного інтелекту (AI), акцентуючи увагу на залученні зацікавлених сторін і життєвому циклі застосування AI. Стандарт має на меті покращити комунікацію між багатьма зацікавленими сторонами, пропонуючи структуру, яка включає перспективи створення, використання та впливу систем штучного інтелекту.	https://www.iso.org/standard/81120.html
4	OGC Training Data Markup Language for Artificial Intelligence (TrainingDML-AI) Part 1: Conceptual Model Standard	Навчальні дані - це будівельний матеріал для моделей машинного навчання. Ці моделі зараз складають більшість програм машинного навчання в науках про Землю. Навчальні дані використовуються для навчання моделей AI/ML, а потім для перевірки результатів моделювання. Формалізація та документування навчальних даних шляхом опису змісту навчальних даних, метаданих, якості та походження даних тощо є дуже важливими. Цей OGC Стандарт навчальних даних описує робочі дії з навчальними даними: Документує модель UML з метою максимізації інтероперабельності та зручності використання навчальних даних аерофотозображень; Визначає різні завдання та мітки AI/ML у спостереженні Землі з	https://docs.ogc.org/is/23-008r3/23-008r3.html#_6db1179c-424d-4d9a-9c6a-bf3ea7722df1

№	Назва стандарту	Стислий опис	Посилання
1	2	3	4
		<p>точки зору керованого навчання, включаючи завдання на рівні сцен, об'єктів та пікселів;</p> <p>Надає опис постійного ідентифікатора, версії, ліцензії, розміру навчальних даних, вимірювань або зображень, що використовуються для анотації, і так далі;</p> <p>Визначає опис якості (наприклад, помилки навчальних даних, нерепрезентативність навчальних даних) та походження [22].</p>	

Метою статті є дослідження застосування інструментів на основі технології штучного інтелекту для завдань топографічного картографування.

Виклад основного змісту дослідження. Для аналізу застосування інструментів на основі технології штучного інтелекту для завдань топографічного картографування було розглянуто такі проєкти:

- 1) Advanced Technology for National Topographic Map Updating (ATMU);
- 2) AI для картографування земного покриття в EPFL;
- 3) Топографічне картографування з використанням БПЛА;
- 4) Ініціативи AI Європейського Космічного Агентства (ESA);
- 5) Співпраця NASA та IBM;
- 6) MethaneSAT.

Метою проєкту Advanced Technology for National Topographic Map Updating (ATMU, Фінляндія) було розроблення методів AI для ідентифікації будівель, доріг та гідрографічних об'єктів з аерофотознімків та даних LiDAR. Одними із досягнень цього проєкту є висока точність у ідентифікації об'єктів та розпізнаванні змін і значне зменшення ручної роботи [11 – 12].

У рамках проєкту «AI для картографування земного покриття в EPFL» (Швейцарія) було розроблено надійні моделі AI для реальних сценаріїв у картографуванні земного покриття для інтерпретації та аналізу топографічних даних у сфері охорони навколишнього середовища [13].

Проєкт «Топографічне картографування з використанням БПЛА» (США) мав на меті використання БПЛА для збору детальних геопросторових даних та створення гідрологічних моделей, що дозволило підвищити точність та ефективність збору даних [14].

Ініціатива AI Європейського Космічного Агентства (ESA) передбачала місію *φ-sat-1*, яка використовує AI для автоматичного відсіювання зображень з хмарами, що забезпечує передачу лише корисних даних на Землю [15].

У співпраці NASA та IBM (США) було створено відкриту AI-модель, яка покращує аналіз супутникових зображень, зокрема, даних *Harmonized Landsat* та *Sentinel-2*. Науковці проєкту *MethaneSAT* дослідили виявлення та картографування викидів метану в усьому світі з використанням штучного інтелекту.

Найчастіше результатами наведених проєктів є розроблені інструменти на основі технології AI, які є складовими геоінформаційних систем. Наприклад, *ArcGIS* має власні модулі мовою програмування *Python* для виконання класифікації та ідентифікації об'єктів на супутникових знімках, зображень з БПЛА [20].

Розглянемо основні плагіни AI, які інтегрують можливості штучного інтелекту у програмному забезпеченні *QGIS* [21], покращуючи його аналітичну потужність та автоматизацію:

Таблиця 3

Плагіни AI у програмному забезпеченні *QGIS* [21]

№	Назва плагіну	Функції	Застосування
1	2	3	4
1	<i>QGIS Deep Learning (QGIS DL) Plugin</i>	<p>1. Інтеграція моделей: Підтримує імпорт наперед навчених моделей з таких фреймворків, як <i>TensorFlow</i> та <i>PyTorch</i>.</p> <p>2. Класифікація зображень: Користувачі можуть класифікувати супутникові знімки та аерофотознімки за допомогою моделей машинного навчання.</p> <p>3. Ідентифікація об'єктів: ідентифікує об'єкти на зображеннях.</p>	<p>Класифікація земного покриву.</p> <p>Ідентифікація будівель, доріг та інших інфраструктурних об'єктів.</p> <p>Екологічний моніторинг.</p>
2	<i>Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) Плагін напівавтоматичної контрольованої класифікації зображень дистанційного зондування.</i>	<p>1. Попереднє опрацювання зображень: підтримує різні завдання попередньої обробки, такі як атмосферна корекція та комбінація смуг.</p> <p>2. Навчання та класифікація: користувачі можуть створювати навчальні набори та класифікувати зображення за допомогою алгоритмів, таких як <i>Random Forest</i>, <i>SVM</i> та <i>Neural Networks</i>.</p> <p>3. Посткласифікаційне опрацювання: забезпечує інструменти для оцінки точності та вдосконалення результатів.</p>	<p>Картографування використання земель.</p> <p>Моніторинг рослинного покриву.</p> <p>Просторове планування та розвиток територій.</p>

№	Назва плагіну	Функції	Застосування
1	2	3	4
3	Orfeo Toolbox (OTB) Plugin	1. Алгоритми машинного навчання: впроваджує алгоритми, такі як K-Nearest Neighbors, SVM та дерева рішень. 2. Сегментація: інструменти для сегментації зображень та об'єктно-орієнтованого аналізу зображень. 3. Опрацювання багатоспектральних та гіперспектральних даних: підтримує опрацювання та аналіз багатоспектральних та гіперспектральних даних.	Моніторинг сільськогосподарських земель. Управління катастрофами та оцінка ризиків. Управління природними ресурсами.
4	LAStools Plugin інструмент для обробки даних LiDAR	1. Опрацювання даних LiDAR: інструменти для фільтрації, класифікації та сегментації хмар точок LiDAR. 2. Створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та цифрових моделей поверхні (ЦМП). 3. Ідентифікація об'єктів, наприклад, таких як будівлі та рослинність, з даних LiDAR.	Інвентаризація лісових ресурсів. Моделювання забудованих територій. Топографічне картографування.
5	NNPlugin інструмент аналізу на основі нейронних мереж у QGIS.	1. Навчання та застосування моделей: користувачі можуть навчати моделі нейронних мереж та застосовувати їх до геопросторових даних. 2. Інтеграція з іншими плагінами: добре працює з іншими плагінами QGIS для попередньої та пост-опрацювання даних.	Прогнозне моделювання. Екологічний моніторинг.

Серед переваг плагінів AI у QGIS визначено:

- покращені аналітичні можливості: плагіни AI додають передові техніки машинного та глибокого навчання до QGIS, дозволяючи проводити все складніший просторовий аналіз.
- автоматизація: багато плагінів автоматизують складні завдання, знижуючи потребу у ручній праці та підвищуючи ефективність.
- доступність: інтеграція інструментів AI у широко використовувану платформу ГІС робить передові можливості AI доступними для широкого кола користувачів, включаючи тих, хто не має великих навичок програмування.
- налаштування та гнучкість: користувачі можуть налаштовувати використання моделей AI відповідно до своїх потреб, використовуючи відкритий код QGIS та його плагінів для створення індивідуальних рішень.

Плагіни AI у QGIS значно розширюють функціональність платформи, інтегруючи передові техніки машинного та глибокого навчання. Ці плагіни дозволяють користувачам виконувати складний просторовий аналіз, автоматизувати рутинні завдання та отримувати точніші та інформативні результати з їхніх геопросторових даних. Використовуючи ці інструменти, користувачі можуть підвищити свою ефективність та результативність у широкому спектрі застосувань, від топографічного картографування, міського планування до екологічного моніторингу та реагування на природні стихійні лиха та техногенні катастрофи.

Висновок. Незважаючи на значні досягнення, існує кілька викликів, які необхідно вирішити для повного розкриття потенціалу AI та GeoAI у геоінформаційних системах. Одним з основних викликів є забезпечення якості та точності даних, які використовуються для навчання моделей AI.

Інтерпретація моделей AI також має вирішальне значення, оскільки розуміння того, як ці моделі роблять прогнози, є важливим для забезпечення надійності результатів дослідження. Інтеграція різноманітних і нових потоків даних надає як можливості, так і виклики. Наприклад, дослідження містобудівного моніторингу за допомогою зображень вулиць та стаціонарних датчиків продемонструвало потенціал GeoAI для аналізу міських ландшафтів та забезпечення комфортного життя людей. Ці дослідження підкреслюють важливість використання різноманітних джерел даних для отримання комплексних результатів щодо міських середовищ. Етичні правила та конфіденційність даних також є критичними питаннями. Забезпечення відповідального використання AI та вирішення питань упередженості в навчальних даних є важливими для етичного впровадження цих технологій. Важливим та відкритим питанням є формування політики використання AI та GeoAI у сфері топографо-геодезичної та картографічної діяльності.

Список джерел

1. Lazorenko-Hevel, N., Karpinskyi, Y., & Kin, D. (2021). Some peculiarities of creation (updating) of digital topographic maps for the seamless topographic database of the main state topographic map in Ukraine. *Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, 162(1), 19-24. DOI: 10.19199/2021.162.1121-9041.019
2. Zhang, Yifan, Zhengting He, Jingxuan Li, Jianfeng Lin, Qingfeng Guan, Wenhao Yu. (2024). MapGPT: An Autonomous Framework for Mapping by Integrating Large Language Model and Cartographic Tools. DOI: 10.48550/arXiv.2401.07314.
3. Robinson, A.C., Çöltekin, A., Griffin, A.L., & Ledermann, F. (2023, November). Cartography in GeoAI: Emerging Themes and Research Challenges. In

Proceedings of the 6th ACM SIGSPATIAL International Workshop on AI for Geographic Knowledge Discovery (pp. 1-2). DOI: 10.1145/3615886.3627734

4. Sloan, S., Talkhani, R. R., Huang, T., Engert, J., & Laurance, W. F. (2024). Mapping Remote Roads Using Artificial Intelligence and Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 16(5), 839. DOI: 10.3390/rs16050839

5. Li, W., & Hsu, C.Y. (2022). GeoAI for large-scale image analysis and machine vision: Recent progress of artificial intelligence in geography. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7), 385. DOI: 10.3390/ijgi11070385

6. Scheider, S., & Richter, K.F. (2023). GeoAI. *KI-Künstliche Intelligenz*, 37(1), 5-9. DOI: 10.1007/s13218-022-00797-z

7. Song, Y., Kalacska, M., Gašparović, M., Yao, J., & Najibi, N. (2023). Advances in geocomputation and geospatial artificial intelligence (GeoAI) for mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103300. DOI: 10.1016/j.jag.2023.103300

8. Li, H., Liu, J., & Zhou, X. (2018). Intelligent map reader: A framework for topographic map understanding with deep learning and gazetteer. *IEEE Access*, 6, 25363-25376. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2823501.

9. Usery, E.L., Arundel, S.T., Shavers, E., Stanislawski, L., Thiem, P., & Varanka, D. (2022). GeoAI in the US Geological Survey for topographic mapping. *Transactions in GIS*, 26(1), 25-40. DOI: <https://doi.org/10.1111/tgis.12830>.

10. Biljecki, F. (2023). GeoAI for Urban Sensing. In S. Gao, Y. Hu, & W. Li (Eds.), *Handbook of Geospatial Artificial Intelligence* (pp. 351-366). *CRC Press*. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003308423-17>

11. The National Land Survey of Finland. (2023). Advanced Technology for National Topographic Map Updating (ATMU) Project. URL: https://www.maanmittauslaitos.fi/en/topical_issues/training-data-artificial-intelligence-available-open-data. (дата звернення: 10.06.2024)

12. Lingli Zhu, Jere Raninen, Emilia Hattula. (2023). How the National Land Survey of Finland is Exploring AI Technology *GIM*. URL: <https://www.gim-international.com/content/article/how-the-national-land-survey-of-finland-is-exploring-ai-technology> (дата звернення: 10.06.2024)

13. Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL). (2023). AI for Land Cover Mapping. URL: <https://www.std.ch/de/Innovation-news-de/12.12.23---AI-for-Environmental-Monitoring%253A-The-Future-of-Land-Cover-Maps.htm>. (дата звернення: 10.06.2024)

14. Sullivan, N. (2019). GIS, Drone Mapping, and Artificial Intelligence (AI): The High Tech Behind Business Results. *Mapware Blog*. <https://mapware.com/blog/gis-drone-mapping-and-artificial-intelligence-ai-the-high-tech-behind-business-results> (дата звернення: 10.06.2024)

15. European Space Agency. (2023). AI in Earth observation: a force for good. URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/AI_in_Earth_observation_a_force_for_good. (дата звернення: 10.06.2024)
16. Canada Centre for Mapping and Earth Observation. (2023). Enhancing Geospatial Data Capabilities with AI. URL: <https://geo.ca/initiatives/geobase/geoai/>. (дата звернення: 10.06.2024)
17. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *Medical image computing and computer-assisted intervention–MICCAI 2015: 18th international conference*, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III 18 (pp. 234-241) Springer International Publishing. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1505.04597>
18. Abdollahi, A., Pradhan, B., & Alamri, A. (2021). RoadVecNet: a new approach for simultaneous road network segmentation and vectorization from aerial and google earth imagery in a complex urban set-up. *GIScience & Remote Sensing*, 58(7), 1151-1174. DOI: <https://doi.org/10.1080/15481603.2021.1972713>
19. Yu, X., Fan, J., Chen, J., Zhang, P., Zhou, Y., & Han, L. (2021). NestNet: A multiscale convolutional neural network for remote sensing image change detection. *International Journal of Remote Sensing*, 42(13), 4898-4921. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2021.1906982>.
20. ESRI. An overview of the GeoAI toolbox [Електронний ресурс] / ESRI. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/geoai/an-overview-of-the-geoai-toolbox.htm>. (дата звернення: 10.06.2024)
21. QGIS plugins web portal [Електронний ресурс] / QGIS. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://plugins.qgis.org/>. (дата звернення: 10.06.2024)
22. OGC Training Data Markup Language for Artificial Intelligence (TrainingDML-AI) Part 1: Conceptual Model Standard [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: OGC Training Data Markup Language for Artificial Intelligence (TrainingDML-AI) Part 1: Conceptual Model Standard. (дата звернення: 10.06.2024)

Ph. D., Associate Professor **Lazorenko Nadiia**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

RESEARCH ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (GEOAI) FOR TASKS OF TOPOGRAPHIC MAPPING

This paper analyzes the main areas of artificial intelligence application for topographic mapping tasks using the example of six projects that implemented AI

functions. It also forms the main goals, problems, challenges, approaches, and methods for automating the processes of creating and updating geospatial data and improving the quality of the data itself.

The study's purpose is to investigate the use of tools based on artificial intelligence technology for topographic mapping tasks.

The integration of AI and GeoAI into topographic mapping and urban monitoring has led to significant advances in the accuracy, efficiency, and scope of geospatial analysis. Projects such as Swisstopo's LCLU monitoring and NLS's ATMU project demonstrate the transformative potential of these technologies. However, addressing challenges related to data quality, model interpretation, and ethical issues is critical to the continued successful adoption and use of AI-driven solutions in geospatial applications.

Integrating diverse and emerging data streams presents both opportunities and challenges. For example, a study of urban monitoring using street imagery and wearable sensors demonstrated the potential of GeoAI to analyze urban soundscapes and human comfort. These studies underscore the crucial role of using a variety of data sources. They show that it's not just about the data but about the comprehensive insights they can provide into urban environments.

Keywords: geographic information system; geospatial data; artificial intelligence; topographic mapping; GeoAI; AI; classification

REFERENCES

1. Lazorenko-Hevel, N., Karpinskyi, Y., & Kin, D. (2021). Some peculiarities of creation (updating) of digital topographic maps for the seamless topographic database of the main state topographic map in Ukraine. *Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, 162(1), 19-24. DOI: 10.19199/2021.162.1121-9041.019. {in English}
2. Zhang, Yifan, Zhengting He, Jingxuan Li, Jianfeng Lin, Qingfeng Guan, Wenhao Yu. (2024). MapGPT: An Autonomous Framework for Mapping by Integrating Large Language Model and Cartographic Tools. DOI: 10.48550/arXiv.2401.07314. {in English}
3. Robinson, A.C., Çöltekin, A., Griffin, A.L., & Ledermann, F. (2023). Cartography in GeoAI: Emerging Themes and Research Challenges. In *Proceedings of the 6th ACM SIGSPATIAL International Workshop on AI for Geographic Knowledge Discovery* (pp. 1-2). DOI: 10.1145/3615886.3627734. {in English}
4. Sloan, S., Talkhani, R.R., Huang, T., Engert, J., & Laurance, W. F. (2024). Mapping Remote Roads Using Artificial Intelligence and Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 16(5), 839. DOI: 10.3390/rs16050839. {in English}
5. Li, W., & Hsu, C.Y. (2022). GeoAI for large-scale image analysis and machine vision: Recent progress of artificial intelligence in geography. *ISPRS*

International Journal of Geo-Information, 11(7), 385. DOI: 10.3390/ijgi11070385. {in English}

6. Scheider, S., & Richter, K.F. (2023). GeoAI. *KI-Künstliche Intelligenz*, 37(1), 5-9. DOI: 10.1007/s13218-022-00797-z. {in English}

7. Song, Y., Kalacska, M., Gašparović, M., Yao, J., & Najibi, N. (2023). Advances in geocomputation and geospatial artificial intelligence (GeoAI) for mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103300. DOI: 10.1016/j.jag.2023.103300. {in English}

8. Li, H., Liu, J., & Zhou, X. (2018). Intelligent map reader: A framework for topographic map understanding with deep learning and gazetteer. *IEEE Access*, 6, 25363-25376. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2823501. {in English}

9. Usery, E.L., Arundel, S.T., Shavers, E., Stanislawski, L., Thiem, P., & Varanka, D. (2022). GeoAI in the US Geological Survey for topographic mapping. *Transactions in GIS*, 26(1), 25-40. DOI: <https://doi.org/10.1111/tgis.12830>. {in English}

10. Biljecki, F. (2023). GeoAI for Urban Sensing. In S. Gao, Y. Hu, & W. Li (Eds.), *Handbook of Geospatial Artificial Intelligence* (pp. 351-366). *CRC Press*. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003308423-17>. {in English}

11. The National Land Survey of Finland. (2023). Advanced Technology for National Topographic Map Updating (ATMU) Project. URL: https://www.maanmittauslaitos.fi/en/topical_issues/training-data-artificial-intelligence-available-open-data. (access date on: 10.06.2024). {in English}

12. Lingli Zhu, Jere Raninen, Emilia Hattula. (2023). How the National Land Survey of Finland is Exploring AI Technology *GIM*. URL: <https://www.gim-international.com/content/article/how-the-national-land-survey-of-finland-is-exploring-ai-technology> (access date on: 10.06.2024). {in English}

13. Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL). (2023). AI for Land Cover Mapping. URL: <https://www.stdl.ch/de/Innovation-news-de/12.12.23---AI-for-Environmental-Monitoring%253A-The-Future-of-Land-Cover-Maps.htm>. (access date on: 10.06.2024). {in English}

14. Sullivan, N. (2019). GIS, Drone Mapping, and Artificial Intelligence (AI): The High Tech Behind Business Results. *Mapware Blog*. <https://mapware.com/blog/gis-drone-mapping-and-artificial-intelligence-ai-the-high-tech-behind-business-results> (access date on: 10.06.2024). {in English}

15. European Space Agency. (2023). AI in Earth observation: a force for good. URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/AI_in_Earth_observation_a_force_for_good. (access date on: 10.06.2024). {in English}

16. Canada Centre for Mapping and Earth Observation. (2023). Enhancing Geospatial Data Capabilities with AI. URL: <https://geo.ca/initiatives/geobase/geoai/>. (access date on: 10.06.2024). {in English}

17. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In Medical image computing and computer-assisted intervention–MICCAI 2015: 18th international conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III 18 (pp. 234-241) Springer International Publishing. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1505.04597>. {in English}

18. Abdollahi, A., Pradhan, B., & Alamri, A. (2021). RoadVecNet: a new approach for simultaneous road network segmentation and vectorization from aerial and google earth imagery in a complex urban set-up. *GIScience & Remote Sensing*, 58(7), 1151-1174. DOI: <https://doi.org/10.1080/15481603.2021.1972713>. {in English}

19. Yu, X., Fan, J., Chen, J., Zhang, P., Zhou, Y., & Han, L. (2021). NestNet: A multiscale convolutional neural network for remote sensing image change detection. *International Journal of Remote Sensing*, 42(13), 4898-4921. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2021.1906982>. {in English}

20. An overview of the GeoAI toolbox. (2024). ESRI. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/geoai/an-overview-of-the-geoai-toolbox.htm>. (access date on: 10.06.2024) {in English}

21. QGIS. (2024). QGIS plugins web portal. URL: <https://plugins.qgis.org/>. (access date on: 10.06.2024). {in English}

22. OGC Training Data Markup Language for Artificial Intelligence (TrainingDML-AI) Part 1: Conceptual Model Standard [Elektronnyi resurs] Rezhyim dostupu do resursu: OGC Training Data Markup Language for Artificial Intelligence (TrainingDML-AI) Part 1: Conceptual Model Standard. (data zvernennia: 10.06.2024). {in English}