

### ІІІ. КАРТОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 528:004.8(477)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2025.94.6>

Едуард БОНДАРЕНКО, д-р геогр. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-2295-146X

e-mail: [eduardbondarenko@knu.ua](mailto:eduardbondarenko@knu.ua)

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Тетяна ДУДУН, канд. геогр. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0002-9960-9793

e-mail: [t.dudun@knu.ua](mailto:t.dudun@knu.ua)

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ольга ЯЦЕНКО, асист.

ORCID ID: 0000-0001-5534-0211

e-mail: [o\\_yatsenko@knu.ua](mailto:o_yatsenko@knu.ua)

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

#### НАПРЯМИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ У СУЧАСНИХ УКРАЇНСЬКИХ РЕАЛІЯХ

**Вступ.** На сучасному етапі розвитку науково-технічного прогресу, загальної цифровізації та значного зростання обсягів геопросторових даних необхідно забезпечити реалізацію нових підходів до їхнього збору, обробки, аналізу та інтерпретації. Для цього дуже активно в останні кілька років застосовуються сучасні інструменти, програмні та технологічні рішення, серед яких особливе місце посідають засоби штучного інтелекту (ШІ). ШІ для процесів збору та обробки геопросторових даних, що називається геоШІ, здатен оптимізувати автоматизацію рутинних процесів, підвищити точність результатів, забезпечити виявлення прихованих закономірностей у великих масивах інформації.

**Методи.** Методологічною основою цього дослідження є синергія геонаук з інструментарієм автоматизації збору та обробки геопросторових даних, які імітують людську розумову діяльність для розв'язування поставлених завдань. Для досягнення мети під час виконання відповідних завдань застосовано системний підхід; методи: аналіз і синтез, абстрагування та конкретизація, індукція та дедукція, наукового експерименту, оцінювальний, наукової класифікації; геоінформаційний.

**Результати.** Встановлено, що на сучасному етапі розвитку штучного інтелекту три групи програмних продуктів (спеціалізоване програмне забезпечення з функціоналом автоматизації різних процесів; засоби генеративного ШІ, який створює різноманітні види інформаційних ресурсів; інструменти агентського ШІ, що є початком нового етапу в еволюції інтелектуальних продуктів) здійснюють інтелектуалізацію виконання поставлених завдань.

Вплив ШІ на технології збору та обробки геопросторових даних визначається розширеними можливостями для цих цілей та надається різними засобами машинного навчання стосовно виділених трьох груп програмного забезпечення.

Наведено приклади практичного використання геоШІ для збору і обробки геопросторових даних у процесі розроблення елементів цифрових моделей місцевості, зокрема шляхом лазерного сканування місцевості та опрацювання аерофотознімків з порівнянням застосованих методів машинного навчання (*k*-середніх та ISODATA). Ефективність використання інструментів ШІ оцінено на основі ключових критеріїв: швидкості і підвищення рівня автоматизації; точності та якості геопросторових даних; економічної ефективності.

**Висновки.** Розкрито напрями застосування засобів штучного інтелекту для збору та обробки геопросторових даних у сучасних українських реаліях, у рамках яких визначено групи необхідних програмних продуктів з інтелектуальними функціями, основні алгоритми та методи ШІ, основні переваги, виклики та можливості вдосконалення зазначених інструментів.

**Ключові слова:** штучний інтелект, ШІ, збір геопросторових даних, обробка геопросторових даних, програмні продукти, алгоритми штучного інтелекту, методи штучного інтелекту.

#### Вступ

У сучасному світі геопросторові дані стали критично важливим ресурсом для прийняття рішень у широкому спектрі сфер діяльності. Подальший розвиток науково-технічного прогресу та загальної цифровізації визначає стрімке зростання обсягів геопросторових даних, що потребує нових підходів до їхнього збору, обробки, аналізу та інтерпретації. У зв'язку із цим на перший план виходять сучасні інструменти, програмні та технологічні рішення, серед яких важливе місце посідають засоби штучного інтелекту (ШІ).

Штучний інтелект як сукупність методів, що дають змогу комп'ютерним програмам імітувати інтелектуальну діяльність людини, відкриває нові горизонти у сфері геоінформаційних технологій. ШІ здатен автоматизувати рутинні процеси збору та аналізу геопросторових даних, підвищити точність результатів, забезпечити виявлення

прихованих закономірностей у великих масивах інформації тощо.

Інтеграція ШІ з геопросторовими даними та технологіями їхнього збору та обробки для дослідження реальної дійсності забезпечує розвиток геопросторового ШІ (геоШІ). ГеоШІ являє собою інтердисциплінарну область, що поєднує геоматику, геоінформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), картографію та власне технології штучного інтелекту.

Використання геоШІ дає змогу більш раціонально проводити збір геопросторових даних, зокрема за допомогою геодезичного інструментарію, до якого вже інтегровано відповідні інтелектуальні модулі автоматизації вимірювань, включено підтримку алгоритмів машинного навчання для обробки одержаної інформації у режимі реального часу. Крім того, у ряді процесів системи ШІ здатні значно підвищити ефективність і зменшити людський фактор.

© Бондаренко Едуард, Дудун Тетяна, Яценко Ольга, 2025

Зважаючи на значний науковий і прикладний потенціал використання ШІ при зборі та обробці геопросторових даних, постає нагальна потреба в його глибшому аналізі. Також важливим є вивчення практичних кейсів, які демонструють ефективність таких рішень в сучасних українських реаліях, а також визначення переваг і викликів, що можуть постати під час впровадження ШІ у вітчизняну галузь геопросторових даних. Цим власне визначається актуальність теми цієї статті.

**Метою** роботи є дослідження можливостей і перспектив використання технологій ШІ для збору та обробки геопросторових даних, зокрема в контексті джерел їхнього одержання в реальних умовах місцевості топографо-геодезичними методами (первинний збір) і обробки існуючих геопросторових даних у вигляді цифрових наборів даних, картографічних творів, статистичної інформації (вторинне опрацювання).

На основі поставленої мети доцільно виділити такі головні **завдання**:

1. Проаналізувати сучасний стан розвитку штучного інтелекту та його вплив на технології збору та обробки геопросторових даних.

2. Охарактеризувати основні алгоритми та методи штучного інтелекту, які можуть бути застосовані у процесі збору та обробки геопросторових даних.

3. Дослідити практичні приклади використання ШІ для збору і обробки геопросторових даних та оцінити їхню ефективність.

4. Виявити основні переваги та обмеження впровадження технологій ШІ при зборі та обробці геопросторових даних.

5. Розглянути можливості вдосконалення методів використання ШІ та перспектив їхнього розвитку у зазначеній сфері.

**Об'єктом дослідження** визначено геопросторові дані як цифрові інформаційні масиви, що описують положення, розміри, властивості чи динаміку об'єктів, явищ або процесів у географічному просторі.

**Предмет дослідження** – сучасні та перспективні напрями застосування засобів ШІ для збору та обробки геопросторових даних (принципи, підходи, алгоритми).

**Огляд літератури.** Для визначення стану досліджень за обраною тематикою ми аналізуємо низку різноманітних вітчизняних і зарубіжних джерел, у яких розглядаються можливості та перспективи використання технологій ШІ (зокрема й геопросторового ШІ (геоШІ)) для збору та обробки геопросторових даних.

У роботі (Dudinova et al., 2020) для обробки геопросторових даних у спеціалізованій геоінформаційній системі, призначеній для проведення ландшафтно-екологічного моніторингу території, запропоновано авторський підхід до залучення інтелектуальних засобів, які визначають різні можливості аналізу та розподілені по підсистемах: попередньої обробки геопросторових даних з формуванням оцифрованих зображень; сегментації зображень та виділення контурів; категорійної класифікації зображень ландшафтних об'єктів; стиснення зображень з використанням фрактальної моделі та генетичного алгоритму; стиснення та відновлення "зачумлених" оцифрованих зображень з використанням шумопригнічуючого автокодувальника. По суті за назвами підсистем ГІС можна легко (для фахівців. – *Авт.*) визначити функції, які вони виконують і виявити інструменти інтелектуальної обробки, які логічно звести до засобів ШІ, що запрограмовані розробниками відповідного програмного забезпечення. Такі засоби загалом є

стандартом функціоналу сучасних ГІС та іншого спеціалізованого програмного забезпечення. Зокрема інструменти ШІ досить докладно описано у статті (Bondarenko, & Dudun, 2025), де автори провели їхнє групування за функціональними можливостями зазначених класів програмних продуктів, обґрунтовано їх властивість, яка називається мультимодальністю та передбачає одночасне забезпечення роботи (збору та обробки) з різними типами даних: графічними, табличними, текстовими та ін.

У статті (Srivastava, & Saxena, 2023) відзначено, що з неухильним збільшенням обсягів геопросторових даних науковців спонукає впровадження високотехнологічних засобів (розуміємо інструментів ШІ) для їхньої обробки. Вони кардинально змінюють дослідницьке середовище, роблять процес ефективнішим та дають змогу отримувати глибоке розуміння та інформацію з даних.

У дослідженні (Trisnyuk, & Marushchak, 2024) продемонстровано значний потенціал інтеграції технологій великих даних і ШІ для автоматизованого дешифрування супутникових знімків, моніторингу змін ландшафтів, виявлення порушень та прогнозування техногенних ризиків. Доведено, що використання алгоритмів машинного навчання у візуалізації геопросторових даних значно прискорює аналіз інформації великих масивів, що критично важливо для екологічного моніторингу під час воєнних дій та швидкого відновлення території. Також зазначено, що виявлення стану наземних об'єктів значно поліпшується за рахунок використання багатоспектральних і гіперспектральних знімків, зокрема з безпілотних літальних апаратів, після їх дешифрування дає змогу створювати високоякісні інформаційні продукти. Однак вказано, що станом на поточний момент гіперспектральні знімки з космічної висоти поки не забезпечують необхідного рівня деталізації для проведення оперативно-тактичної розвідки.

Робота (Josea, 2024) визначає ШІ як невід'ємний елемент геопросторової галузі, що змінив способи управління, аналізу та інтерпретації геопросторових даних. Вказано, що нові можливості для прийняття рішень та розв'язання проблем у процесі збору та обробки геопросторових даних відкрив геоШІ, який поєднує геонауки та ШІ. Застосування геоШІ через технології машинного навчання та глибоких нейронних мереж визначило ряд його суттєвих переваг: підвищення ефективності, надійна точність, швидке виявлення змін, запобігання ризикам та управління ними.

Стаття (Malanchuk et al., 2024) присвячена дослідженню перспектив використання ШІ у кадастрових і землепорядних процесах. Її автори виділили основні напрями впровадження ШІ, до яких віднесено автоматизовану обробку геопросторових даних, прогнозування змін у використанні земель, інтеграцію результатів аналізу у процеси прийняття управлінських рішень. Наведено практичні приклади застосування ГІС із вбудованими алгоритмами машинного навчання (як інструменту ШІ. – *Авт.*) для розв'язання завдань високої складності, зокрема для розрахунку вегетаційних індексів у точному землеробстві, для проведення автоматизованого моніторингу стану земельних ресурсів. У статті визначено ключові переваги ШІ в кадастрових процесах (підвищення точності даних, зменшення впливу людського фактору, оптимізація часу та ресурсів) та ряд викликів, пов'язаних з його впровадженням (потреба у стандартизації даних, адаптації законодавства та створенні нових методологічних підходів).

Робота (Pylypenko, 2024) спрямована на розгляд геоШІ як предмета дослідження для розробки інтелектуальних комп'ютерних програм, що імітують процеси людського сприйняття, просторового мислення та вивчення географічних явищ для поглиблення знань, розв'язання проблем у системах навколишнього середовища людини та їх взаємодії, з акцентом на просторовому контексті. Автор зазначеної роботи основні методи геоШІ розділив на кілька груп, які відрізняються за метою, сукупністю прийомів реалізації та видами отриманої інформації. Це загальновідомі методи (які ми подали у порядку збільшення функціональності. – *Авт.*): геопросторового аналізу з використанням ШІ; машинного навчання для обробки геопросторових даних; глибокого навчання для обробки геопросторових даних. В аналізованій роботі також вказано, що за властивостями геопросторової інформації (дискретна чи континуальна) мають застосовуватись відмінні набори прийомів просторового аналізу на основі ШІ.

Зіставні певною мірою з попередньою роботою висновки одержано у статті (Hochmaier et al., 2025), де зазначено, що геоШІ вирізняється інтеграцією географічних знань і позиціонується на перетині геопросторових наукових досліджень, технологій ШІ та високопродуктивних обчислень. Таке поєднання є критично важливим для розв'язання проблем, пов'язаних, зокрема, з обсягом геопросторових даних та алгоритмів їхніх обчислень. Водночас геоШІ виступає необхідним інструментом для усунення критичних прогалин у знаннях у низці дослідницьких напрямів, результатом чого є значний прогрес у аналізі геопросторової інформації, генерації, картографуванні. В той же час, як зазначають автори, подальший розвиток вимагатиме інтеграції просторового мислення в розробку моделей геоШІ, а також суттєвого вдосконалення теорій, методів та експериментів.

У роботі (Mai et al., 2025) її автори провели аналіз літератури з геоШІ зі спрямуванням на просторовий, часовий та семантичний аспекти. Вказано на п'ять напрямів поточного застосування геоШІ у процесі збору / обробки геопросторових даних: дистанційне зондування, науки про Землю, урбаністика та міське планування (urban computing), картографія, геопросторова семантика. Виділено кілька унікальних майбутніх напрямів досліджень геоШІ, які класифіковано на дві групи: проблеми розробки методів геоШІ та проблеми етики геоШІ. Окремі теми включають: геоШІ, що усвідомлює гетерогенність, геоШІ, який керується знаннями, навчання просторового представлення, моделі геофундаменту, геоШІ, що усвідомлює справедливість, геоШІ, який усвідомлює конфіденційність, а також геоШІ, що представляється та пояснюється.

У публікації (Трансформаційна сила ШІ..., 2025) відзначено, що обробка даних на основі ШІ-аналітики є значним кроком вперед порівняно з традиційними підходами. Така обробка пропонує неперевершену швидкість, масштаб і точність, даючи змогу отримувати складні, проактивні інсайти з різноманітних типів даних. Наступним кроком, як зазначають автори аналізованої публікації, стануть ШІ-агенти, що масово увійдуть у практику прийняття рішень. Останні програми, на нашу думку, можуть бути повною мірою застосовані й щодо геопросторових даних.

Таким чином, відібрані та проаналізовані праці дають чітке загальне розуміння доцільності та необхідності застосування засобів ШІ для збору та обробки геопросторових даних, але в них меншою мірою характеризуються можливості їх первинного збору. Тому відправною точкою в цьому дослідженні стає нагальна потреба в повнішому аналізі інструментів ШІ по роботі з геопросторовими даними.

## Методи

Методологічною основою цього дослідження є синергія геонаук з інструментарієм автоматизації збору та обробки геопросторових даних, які імітують людську розумову діяльність для розв'язування поставлених завдань.

На основі обраної методології для досягнення визначеної мети під час виконання завдань цього дослідження застосовано методи: *аналізу та синтезу* – для характеристики сучасного стану розвитку ШІ та його впливу на технології збору та обробки геопросторових даних, визначення основних переваг та обмежень щодо впровадження технологій ШІ у цьому процесі; *абстрагування та конкретизації* – для обґрунтування використання основних алгоритмів ШІ для збору та обробки геопросторових даних; *індукції та дедукції* – для вивчення можливостей інструментів ШІ з первинного одержання та вторинної обробки геопросторових даних; *наукового експерименту та оцінювальний* – при практичному використанні ШІ для збору / обробки геопросторових даних та визначення критеріїв оцінки ефективності застосованих інструментів для досягнення очікуваного результату; *наукової класифікації* – для обґрунтування можливостей удосконалення методів використання ШІ та перспектив їхнього розвитку у сфері геоінформаційних технологій. Збір та обробка геопросторових даних з використанням інструментів ШІ передбачає застосування *геоінформаційного методу*.

Для вивчення об'єкта дослідження як частини цілісної складної системи, що утворена низкою підсистем і має функціональні залежності та зв'язки в межах системи, між її окремими підсистемами, автори використали *системний підхід*.

При розгляді питань застосування ШІ для збору та обробки геопросторових даних у цій статті ми орієнтуємось, по суті, на застосування геоШІ.

## Результати

### 1. Сучасний стан розвитку штучного інтелекту та його вплив на технології збору та обробки геопросторових даних.

Розвиток інструментів ШІ для подальшої автоматизації різноманітних процесів, особливо досить швидкий їхній прогрес в останні кілька років, визначив у цілому сучасний стан таких засобів. Він характеризується наявністю трьох груп програмних продуктів, які забезпечують інтелектуалізацію виконання завдань. Це: спеціалізоване програмне забезпечення, функціонал якого тривалий час автоматизує різні процеси; засоби генеративного ШІ, який створює різноманітні види інформаційних ресурсів; поява агентського ШІ, що позиціонується як початок нового етапу в еволюції інтелектуальних продуктів.

У *спеціалізованому програмному забезпеченні* його типові запрограмовані функції (з наявністю можливостей їх удосконалення за допомогою мов програмування або без них), що виконуються за заданим (запрограмованим) сценарієм, дають змогу інтелектуалізувати процес досягнення поточного та кінцевого результату.

*Генеративний ШІ* на основі застосування інструментів (алгоритмів у вигляді покровкових інструкцій) машинного навчання вивчає шаблони, структури та закономірності тих масивів даних, які обертаються у мережному середовищі, в результаті чого може створюватись (створюється) новий вид правдоподібної або вигаданої інформації, що відповідає навченим шаблонам.

*Агентський ШІ* характеризується сукупністю незалежних інтелектуальних агентів, які координують свої дії з іншими агентами та переслідують визначені цілі під

обмеженим наглядом людини. Логічно стверджувати, що агентський ШІ зараз доповнює генеративний ШІ.

Загалом застосування ШІ для автоматизації виконання поставлених завдань значно пришвидшує та оптимізує процеси, але в центрі прийняття рішень мають залишатись

виключно фахівці, роль яких змінюється з необхідністю адаптації до цих нових умов та інструментів.

Інтегровані можливості інструментів ШІ, що визначають їхній сучасний стан розвитку, зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Сучасний стан розвитку інструментів ШІ\*

Властивості інструментів ШІ	Групи засобів інтелектуалізації виконання завдань / досягнення цілей		
	Спеціалізоване програмне забезпечення	Генеративний ШІ	Агентський ШІ
Рівень забезпечення виконання завдань у сфері застосування	У межах функціоналу програмних продуктів з можливістю його розширення засобами мов програмування	На рівні вмісту галузевої інформації у мережевому середовищі	Координація зусиль на виконання завдання / досягнення цілей незалежними ШІ-агентами
Рівень автономності виконання завдань	Низький	Середній	Високий
Орієнтування на виконання завдань чи досягнення цілей	На запрограмовані алгоритми	На вибір методу машинного навчання	На оптимізацію для досягнення результатів
Рівень адаптивності у процесі застосування	Уточнені правила	Вивчені закономірності згідно з обраним методом машинного навчання	Динамічне навчання
Рівень взаємодії фахівців для виконання завдань чи досягнення цілей	Розширений	Обмежений	Низький

\*Розробили автори на основі аналізу загальнодоступних джерел.

Наявні сьогодні три групи засобів інтелектуалізації виконання завдань та / або досягнення цілей визначають також розширені можливості збору та обробки геопросторових даних.

Первинне їхнє одержання (власне збір) проводиться шляхом інтеграції високоточного вимірювального геодезичного обладнання з комп'ютерними технологіями, програмним забезпеченням і засобами зв'язку та дає змогу автоматизувати відповідні процеси, мінімізувати людські помилки, значно підвищити швидкість і точність робіт.

Складовими інтелектуального збору геопросторових даних є:

- використання *роботизованих тахеометрів* (з функціями автоматичного наведення на ціль і слідування за призмою; дистанційного управління ними через польовий контролер; проведення автоматизованих вимірювань (кутових, лінійних, обчислень планово-висотного положення точок земної поверхні));

- *тривимірне лазерне сканування* (з формуванням хмар точок елементів місцевості з високою роздільною здатністю для подальшого створення детальної тривимірної моделі об'єктів реальної дійсності);

- *високоточне супутникове позиціонування* (з можливістю використання сигналів від кількох функціонуючих супутникових систем (GPS, Galileo, Beidou) для високоточного визначення координат у режимі реального часу; двокомпонентний режим роботи обладнання: "база – ровер", використання мереж постійно діючих базових станцій; використання GNSS-приймачів із вбудованими інерційними вимірювальними блоками, що дають змогу вимірювати точку без потреби ідеального вирівнювання віхи, значно прискорюючи польові роботи);

- використання *безпілотних літальних апаратів (БПЛА)* (з проведенням аерофотозйомки з високою точністю, що дає змогу одержувати ортофотоплани та тривимірні моделі реальної дійсності);

- *відеограмметрія* як поєднання відеозйомки зі смартфона або іншого відеопристрою з технологією визначення координат у режимі реального часу. Сюди можна віднести технологію *комп'ютерного зору*, в

основі якого лежить збір (з подальшою обробкою, аналізом та інтерпретацією візуальних даних, отриманих за допомогою камер або сенсорів);

- *інтеграція* геодезичного обладнання з мобільними пристроями для раціоналізації процесу збору геопросторових даних у польових умовах; обмін зібраними геопросторовими даними з ГІС та системами автоматизованого проектування та розрахунку; використання хмарних сервісів для зберігання одержаних геопросторових даних.

Обробка геопросторових даних (вторинне опрацювання) на основі застосування ШІ визначається наступними напрямками:

- *оптимізацією робочих процесів* (шляхом підвищення їх рівня автоматизації, що характеризується подальшим вбудовуванням у програмні продукти засобів розпізнавання растрових зображень з автоматичним визначенням та класифікацією об'єктів на них; автоматичним відокремленням контурів об'єктів на зображеннях (сегментацією); удосконаленням процесу векторизації растрових зображень; впровадженням у структуру ГІС асистентів ШІ для збільшення можливостей доступності до відповідних програмних засобів);

- *підвищенням точності та якості геопросторових даних* (через збільшення роздільної здатності супутникових зображень; візуалізацію результатів оброблення геопросторових даних у вигляді динамічних тривимірних моделей реальних об'єктів, які дістали назву цифрових двійників);

- *забезпеченням збільшення обчислювальних можливостей опрацювання великих обсягів геопросторових даних;*

- *удосконаленням процесу проведення моніторингу об'єктів, явищ і процесів, які описані за допомогою геопросторових даних, у режимі реального часу;*

- *зменшенням людського фактору та підвищенням економічної ефективності* обробки геопросторових даних (зниження залежності від малоавтоматизованих операцій, мінімізація людських похибок; скорочення часу на опрацювання геопросторових даних, оптимізація ціни на виконання відповідних робіт).

З урахуванням вищевикладеного можна припустити, що світ вступає в новий етап застосування геоінформаційних технологій, який все частіше вчені та виробничники воліють називати геопросторовим періодом 2.0.

## **2. Основні алгоритми та методи штучного інтелекту для збору і обробки геопросторових даних.**

Інтелектуалізація завдань зі збору / обробки геопросторових даних за визначеними групами програмних продуктів (спеціалізованого програмного забезпечення; генеративного ШІ; агентського ШІ) забезпечується виконанням основних відомих (описаних) алгоритмів автоматизації, які по суті й виступають методами ШІ.

Алгоритми, що вбудовані до *спеціалізованого програмного забезпечення* (наприклад, ГІС, вузькофункціональних програм автоматичної інтерполяції), виконують його типові запрограмовані розробниками функції, залишаючись функціонально сталими, за винятком можливостей удосконалення окремих засобів за допомогою мов програмування.

У рамках приведеного програмного забезпечення до методів ШІ у його можливостях для обробки геопросторових даних можна віднести:

- прості запити, запити за зразком, запити з використанням структурної мови (для обрахунку довжин, площ, формування вибірок геопросторових даних за встановленими критеріями тощо);
- методи розподілу рядів кількісних показників на градації (рівна кількість, рівні інтервали, довільні інтервали, стандартне відхилення, квантилювання);
- окремі методи машинного навчання (класифікації, кластеризація).

Згідно з аналізом загальнодоступних мережних джерел алгоритми *генеративного ШІ* базуються на парадигмі машинного навчання та включають ряд типів:

- *навчання з учителем* (контрольоване або кероване навчання), у рамках якого використовується еталонний набір даних з правильною відповіддю (міткою), яка імітує учителя, що й зазначає правильну відповідь. Даний тип машинного навчання використовує пари "вхід-вихід" для побудови функції, яка може прогнозувати новий результат;
- *навчання без учителя* (неконтрольоване (некероване) навчання), коли запрограмований алгоритм здатен знаходити певні приховані закономірності у даних без використання будь-яких правильних відповідей, так званих міток;
- *навчання з підкріпленням* являє собою машинний алгоритм, який навчається шляхом вибору різних варіантів відповідей, зокрема й після втручання користувача (в інтерактивному режимі) з коригуванням запитів на вирішення поставленого завдання);

- *напівконтрольоване навчання* інтегрує між собою різні попередні алгоритми, тобто застосовує алгоритми на основі частково розмічених наборів даних.

Серед загальних методів машинного навчання доволі популярними для генерації нової інформації у процесі обробки геопросторових даних виступають:

- класифікації за *методом опорних векторів*, що належить до навчання з учителем і характеризує представлення зразків як точок у просторі, відображених таким чином, що вони з окремих категорій розділяються якнайширшою порожньою частиною. У результаті цього нові зразки тоді входять до цього ж простору, роблячи передбачення про їхню належність до певної класифікаційної

категорії на основі того, на який бік порожньої частини вони потрапляють;

- *кластеризація на основі k-середніх*, що є одним із методів кластерного аналізу, забезпечує групування даних в однорідних кластерах і у прагненні мінімізувати відстань між кожним об'єктом та центром його кластера відбуваються повторювані кроки, кожен повтор яких наближає до очікуваного результату. Модифікацією цього методу є метод *ISODATA*, що використовується при обробці геопросторових даних, коли є недостатність повної інформації, а автоматичне розділення та об'єднання кластерів здійснюється під час застосування повторних операцій. Це дозволяє йому гнучкіше визначати оптимальну кількість і структуру кластерів у даних;

- *регресійний аналіз*, що також належить до керованого навчання та є методом прогнозування неперервної числової величини, яка виступає залежною змінною, на основі однієї або декількох вхідних змінних (які є незалежними). До цього методу належать лінійна та поліноміальна регресія (як базові моделі), "дерева рішень", "випадковий ліс", нейронні мережі, особливим типом яких є глибоке навчання.

Використання *агентського ШІ* поєднує можливості фундаментальних геопросторових моделей, великих мовних моделей і спеціалізованих алгоритмів для автономного виконання складних аналітичних завдань.

Відомими алгоритмами агентського ШІ є:

- виклик основними агентами "експертних" субагентів для проведення операцій методами класифікації;
- алгоритми планування послідовності дій для виконання запиту користувача, що дає змогу агенту розподіляти складне завдання на менші частини, які є керованими кроками. Це алгоритми міркування, багатокрокові робочі процеси (пошук геопросторових даних, обробка, аналіз, одержання результату);
- алгоритми навчання та адаптації (для поліпшення власної продуктивності з плином часу).

## **3. Приклади використання ШІ для збору та обробки геопросторових даних. Критерії ефективності інструментів штучного інтелекту для поставлених завдань.**

Важливим напрямом практичного застосування ШІ у зборі та обробці геопросторових даних виступає розроблення цифрових моделей місцевості (ЦММ). Вони є ключовими компонентами сучасних геоінформаційних систем, у середовищі яких реалізуються різноманітні проєкти на основі геопросторових даних. До появи дієвих засобів автоматизації створення ЦММ вимагало значних обсягів польових вимірювань і доволі складної обробки одержаних даних, однак із впровадженням методів ШІ з'явилася можливість суттєво прискорити й підвищити точність цього процесу.

Застосування алгоритмів машинного навчання, комп'ютерного зору та нейронних мереж дає змогу автоматично класифікувати поверхні, виявляти об'єкти, інтерпретувати дані дистанційного зондування (наприклад, аерокосмічні знімки) та формувати високоточні цифрові поверхні.

*Збір* геопросторових даних при створенні ЦММ на основі лазерного сканування місцевості (застосування LiDAR-технології) передбачає одержання хмар точок (наборів тривимірних координат, де кожна точка має просторове положення, визначене трьома значеннями (x, y, z), з додатковими метаякостями (GPS-мітками часу, інтенсивністю відбитого сигналу, кількістю повернень

лазерного імпульсу) та збагачені кольоровою інформацією в адитивній колірній моделі (що дає змогу створювати більш деталізовані моделі об'єктів реальної дійсності)). У процесі збору геопросторових даних здійснюється класифікація точок у хмарі за типом об'єкта, від якого було отримано відбитий сигнал. Зокрема, точки, що відбилися від поверхні землі, автоматично належать до класу "ґрунт", тоді як інші можуть бути класифіковані як водойми, будівлі, дороги, рослинність тощо. Для кожного класу в наборі геопросторових даних присвоюється відповідний числовий код.

Обробка геопросторових даних у вигляді хмар точок здійснюється на основі класифікації всієї хмари точок. Результативним методом у цьому процесі виступає керуване машинне навчання, де ШІ навчається на вже класифікованому (позначеному) наборі даних хмари точок, а кожна точка має унікальний код класу. Рисунок 1 наочно демонструє одержану внаслідок збору геопросторових даних хмару точок (а) та класифіковані точки, де коди класів призначені різним кольорам (б).

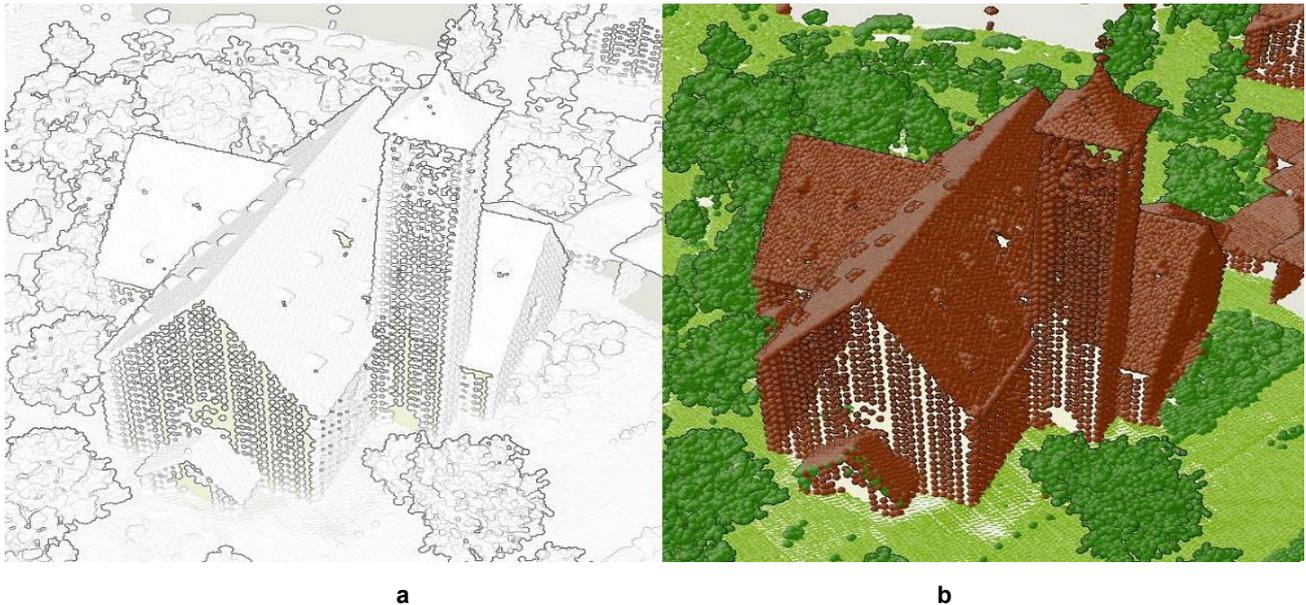


Рис. 1. Збір та обробка геопросторових даних на основі лазерного сканування місцевості (тривимірні ЦММ, ілюстративний матеріал) (Replacing..., 2020).

Окремим прикладом збору геопросторових даних у процесі створення елементів змісту ЦММ є використання доступних аерокосмічних знімків високої роздільної здатності.

Залежно від масштабу створення та вимог до результатуючих картографічних документів таких елементів обираються аерофотознімки або супутникові зображення.

Сукупність вихідних джерел геопросторових даних на район картографування стає основою для подальшої обробки вихідної картографічної інформації, яка в кінцевому підсумку дає змогу створювати точні й інформативні карти (або цифрові набори геопросторових даних) для різноманітних цілей – від планування та управління до екологічного моніторингу і аналізу змін на території.

Аерофотознімки для картографування локальної території вимагають ретельної попередньої обробки для забезпечення їхньої високої якості та підготовки до використання.

Попередня обробка складалася з кількох головних етапів, серед яких:

- геометрична корекція та вирівнювання зображень (для позбавлення геометричних спотворень);
- корекція кольору (для підвищення точності, візуальної якості та порівнянності даних).

Для цього можуть використовуватись інструменти генеративного ШІ, зокрема Flux AI (пріоритетно) та / або Mapflow AI.

Результатом цього етапу стає ряд знімків, які точно відображають реальні просторові координати об'єктів, що забезпечує їх коректне використання для проведення геоінформаційного аналізу та подальшого картографування.

Обробка ряду аерофотознімків необхідна для створення в середовищі спеціалізованого програмного продукту (наприклад, вітчизняного Digital або альтернативного – кросплатформової відкритої ГІС QGIS) ортофоплану території знімання. Останній став інструментом для подальшої обробки геопросторових даних шляхом застосування автоматизованих класифікацій (як інструментів ШІ). Це дає змогу виділяти на зображеннях ділянки, які відповідають певним класам об'єктів на земній поверхні.

Інструменти ШІ для проведення класифікацій растрових зображень є у функціоналі відкритої ГІС SAGA (System for Automated Geo-Scientific Analysis), у середовищі якої застосовані алгоритми некерованого машинного навчання двома методами кластеризації: на основі k-середніх та ISODATA. Обидва методи групують пікселі зображення на основі їхніх спектральних характеристик з генерацією нових растрових зображень, де кожному пікселю присвоєно значення, що відповідає номеру кластера, до якого його було віднесено (рис. 2).

Для визначення більш ефективного методу класифікації для генерації нової інформації шляхом обробки геопросторових даних зроблено порівняння їхніх характеристик (табл. 2).

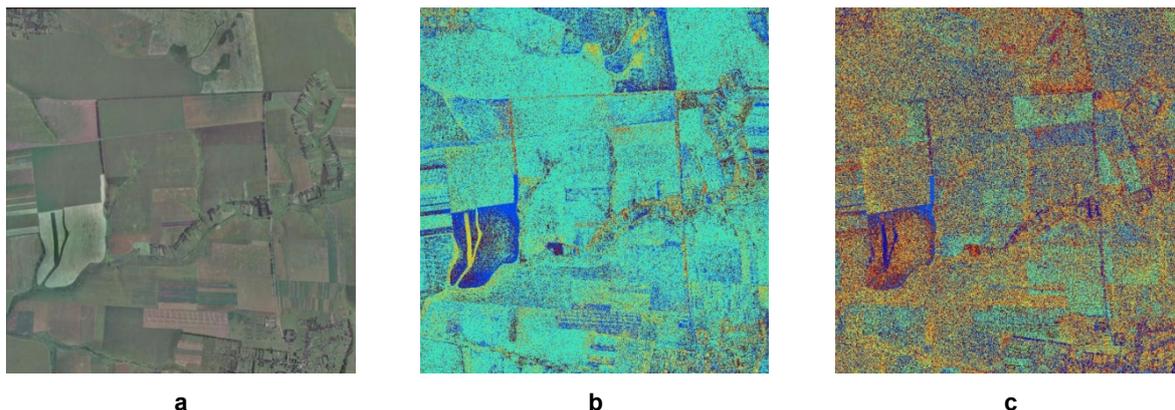


Рис. 2. Збір (ортофотоплан, а) та обробка геопросторових даних на основі застосування класифікацій за методами кластеризації: k-середніх (b) та ISODATA (c) (модельна територія для картографування)

Таблиця 2

Порівняння характеристик методів машинного навчання\*

Характеристика для порівняння	Некерований метод машинного навчання (метод кластеризації)		Значення для геопросторового ШІ
	k-середніх	ISODATA	
Кількість кластерів у методі	Фіксована. Здається користувачем перед початком виконання алгоритму	Динамічна. Алгоритм може об'єднувати або розділяти кластери під час проведення повторюваних операцій	Дає змогу моделі самостійно виявляти природну кількість спектральних класів на зображенні, що підвищує об'єктивність одержаного результату
Об'єднання виділених кластерів	Не передбачено алгоритмом	У випадку внутрішньої однорідності (гомогенності) кластерів або невеликої кількості пікселів	Запобігає надмірній фрагментації класифікованого зображення (утворення "шумових" кластерів), поліпшуючи просторову узгодженість
Розділення виділених кластерів	Не передбачено алгоритмом	У випадку внутрішньої неоднорідності кластерів	Дає змогу розділяти великі, неоднорідні класи, до прикладу, елемент рослинного покриву "Ліс" на більш вузькі спектральні підкласи: "Листяний ліс", "Хвойний ліс", підвищуючи точність класифікації
Використання в середовищі ГІС	Простіше, але менш реалістичне для складних знімків	Більш пристосовано використання на реальних та динамічно змінних багато-спектральних даних	Метод ISODATA зазвичай дає кращу внутрішню якість кластеризації, особливо на складних геопросторових наборах даних

\*Розробили автори на основі аналізу загальнодоступних джерел.

Для оцінки ефективності інструментів ШІ для збору та обробки геопросторових даних необхідно вказати ключові засоби її вимірювання. За логікою ними можуть бути такі основні критерії, як: швидкість і підвищення рівня автоматизації; точність і якість геопросторових даних; економічна ефективність.

**Швидкість і підвищення рівня автоматизації** визначається оцінкою зменшення часу на виконання завдань зі збору та обробки геопросторових даних. Наприклад, у процесі первинного збору геопросторових даних на основі лазерного сканування місцевості, що й так є дуже швидким, ШІ забезпечує оптимізацію планування маршрутів сканування; вибір розташування наземних станцій; мінімізацію дублювання даних. Вторинне камеральне опрацювання хмар точок характеризується значним прискоренням очищення даних; автоматичним узгодженням кількох зображень; автоматичною класифікацією об'єктів реальної дійсності на моделі, що забезпечує збереження

**Точність та якість геопросторових даних** формує оцінку підвищення надійності кінцевих геопросторових продуктів. Якість класифікації визначається показниками повноти, точності загальної та точності елементів зобра-

ження, величини перетину над об'єднанням для сегментації об'єктів. ШІ здатний виявляти тонкі зміни або структурні дефекти, які важко помітити людському оку або іншим алгоритмам, зокрема тріщини покриття на автомобільних дорогах, деформації мостових споруд тощо. Підвищення цінності геопросторових даних зумовлюється автоматичним виділенням засобами ШІ більш складних або дрібних елементів об'єктів реальної дійсності.

Оцінка зменшення витрат та оптимізації ресурсів характеризує **економічну ефективність** робіт із застосуванням інструментів ШІ, зокрема: підвищення продуктивності праці фахівців і спеціалізованого обладнання, що приводить до зменшення поточних витрат; зменшення необхідності проведення повторних робіт з первинного збору геопросторових даних.

**4. Основні переваги та обмеження впровадження технологій ШІ при зборі та обробці геопросторових даних.**

Впровадження технологій ШІ при зборі та обробці геопросторових даних має свої переваги та обмеження.

Основними перевагами, які узгоджуються з ключовими засобами вимірювання оцінки їхньої ефективності

та формують потенціал застосування інструментів ШІ, на нашу думку, є:

- підвищення безпеки проведення польових топографо-геодезичних робіт у процесі збору геопросторових даних (зокрема, використання БПЛА, автономних мобільних платформ і сенсорних систем лазерного сканування місцевості визначає можливість зменшення потреб у присутності фахівців у небезпечних або важкодоступних місцях: кар'єри, зони обвалів, скелі тощо);

- впровадження інноваційних засобів автоматизації первинного збору та вторинного опрацювання геопросторових даних (комп'ютерний зір, обробка даних без участі фахівця);

- підвищення точності та швидкості збору та обробки геопросторових даних (усі наявні алгоритми машинного навчання здатні з високою точністю ідентифікувати координати об'єктів, визначити їхні геометричні параметри та автоматично формувати цифрові набори даних з можливістю їхнього використання в поточних і кризових ситуаціях);

- виявлення особливостей геопросторових даних у режимі реального часу через інтеграцію інструментів ШІ з польовими сенсорами, GNSS-обладнанням та системами дистанційного зондування;

- прогнозування змін стану об'єктів (завдяки машинному навчанню можливо не лише проводити аналіз поточного стану геопросторових об'єктів, але й робити передбачення їх змін на основі сформованих трендів. Для прикладу, можна спрогнозувати ризики ерозій, затоплень, зсувів, неконтрольованої урбанізації. Це значно підвищує ефективність стратегічного планування та управління територіями різного рівня);

- збільшення обсягів збору / обробки геопросторових даних шляхом забезпечення синтезу великої кількості джерел до єдиної інформаційної моделі, що загалом сприяє підвищенню точності аналізу, зниженню інформаційного навантаження на фахівців-аналітиків;

- зниження впливу людського фактора з мінімізацією ймовірності помилок, пов'язаних із суб'єктивністю або неухважністю фахівця, що досить важливо при виконанні складних обчислень, аналізі великих даних.

Обмеження щодо впровадження технологій збору та оброблення геопросторових даних, що базуються на засобах ШІ, пов'язані з рядом груп викликів, усвідомлення яких виступає важливим фактором для обґрунтованого планування подальшої цифрової трансформації у геодезії, картографії, ГІС, дистанційному зондуванні в українських реаліях.

Головними групами викликів застосування інструментів ШІ можуть стати:

- значні фінансові витрати, що мають спрямовуватись на придбання / оренду необхідного для впровадження ШІ програмно-технічного забезпечення, забезпечення захисту комп'ютерних систем, створення навчальних вибірок для оброблення геопросторових даних;

- відсутність великої кількості еталонних даних, що використовуються в машинному навчанні, особливо для спеціалізованого програмного забезпечення з ШІ-плагінами;

- вузькоспрямованість і закритість алгоритмів ШІ, що вимагає їхньої адаптації до конкретних завдань обробки геопросторових даних і пояснення принципів роботи щодо одержаних результатів;

- потреба підготовки фахівців з належними компетентностями для використання інструментів ШІ зі збору / обробки геопросторових даних.

### **5. Можливості вдосконалення методів використання ШІ та перспективи їхнього розвитку у сфері геопросторових даних в українських реаліях.**

Підвищення ефективності застосування інструментів ШІ для збору та обробки геопросторових даних може бути пов'язане з розвитком власне спеціалізованого для цих процесів програмного забезпечення та визначається тими ж критеріями, які дають змогу оцінити їхню можливість вирішення поставлених завдань і формують потенціал застосування ШІ: подальшим розвитком засобів автоматизації; підвищенням точності та швидкості збору / обробки геопросторових даних; поліпшенням аналітичної здатності у процесі їхньої обробки.

Визначення перспектив розвитку інструментів ШІ є доволі невдячною справою через високу їхню динаміку, але з урахуванням поточної важливості (а в деяких сферах і необхідності) таких засобів окреслимо кілька напрямів перспективного розвитку ШІ в нашій країні щодо геопросторових даних. Це насамперед:

- інтеграція інструментів ШІ до загальнодержавних геоінформаційних проєктів, зокрема Національної інфраструктури геопросторових даних, органів центральної виконавчої влади та місцевого самоврядування, галузевих і спеціалізованих розробок;

- розвиток цифрових двійників об'єктів реальної дійсності різного територіального рівня;

- формування "розумних міст" для прогнозування завантаженості громадського транспорту, регулювання трафіку автомобільного транспорту в реальному часі, визначення оптимальних маршрутів, підвищення ефективності управління інфраструктурою;

- впровадження засобів ШІ до аграрної сфери для підвищення ефективності використання земельних ресурсів завдяки аналізу кліматичних і ґрунтових показників, точному моніторингу стану посівів, прогнозуванню врожайності, що дає змогу запроваджувати прецизійне землеробство, мінімізувати витрати на необхідні для цього ресурси і водночас знижувати негативний вплив на навколишнє середовище;

- створення нових напрямів для наукової діяльності в українських закладах вищої освіти і дослідницьких установах, стимулювання спеціалізованих і міждисциплінарних досліджень; оптимізація тематичного картографування, наприклад, зі створення карт продуктивності сільськогосподарських культур, ризиків деградації територій, рекомендацій щодо проведення агротехнічних заходів тощо;

- удосконалення освітніх програм з підготовки фахівців з геодезії, картографії, ГІС, дистанційного зондування Землі освітніми компонентами, спрямованими на вивчення та застосування інструментів ШІ;

- подальша взаємодія з міжнародними партнерами, участь фахівців з України у міжнародних геоінформаційних проєктах (наприклад, за програмою "Горизонт Європа") для доступу до технологій, супутникових даних, фінансових ресурсів.

#### **Дискусія і висновки**

В результаті проведеного дослідження напрямів застосування засобів штучного інтелекту для збору та обробки геопросторових даних у сучасних українських реаліях зроблено такі висновки:

1. Сучасний стан розвитку штучного інтелекту характеризується наявністю трьох груп програмних продуктів, які забезпечують інтелектуалізацію виконання завдань

(спеціалізованого програмного забезпечення, функціонал якого тривалий час автоматизує різні процеси; засобів генеративного ШІ, який створює різноманітні види інформаційних ресурсів; інструментів агентського ШІ, що позиціонується як початок нового етапу в еволюції інтелектуальних продуктів). Вплив ШІ на технології збору та обробки геопросторових даних визначається розширеними можливостями для цих процесів.

2. Основні алгоритми та методи ШІ, які можуть бути застосовані у процесі збору та обробки геопросторових даних, систематизовано та охарактеризовано стосовно виділених трьох груп програмних продуктів, які забезпечують раціоналізацію виконання поставлених завдань.

3. На практиці подано використання ШІ для збору і обробки геопросторових даних у процесі розроблення елементів ЦММ, зокрема шляхом лазерного сканування місцевості та опрацювання аерофотознімків з порівнянням застосованих методів машинного навчання (к-середніх та ISODATA). Ефективність застосування інструментів ШІ оцінено на основі ключових критеріїв: швидкості і підвищення рівня автоматизації; точності та якості геопросторових даних; економічної ефективності.

4. Визначено основні переваги застосування ШІ у процесі збору та обробки геопросторових даних, які узгоджуються з ключовими засобами вимірювання оцінки їхньої ефективності та формують потенціал інструментів ШІ. Серед викликів, які необхідно враховувати у процесі впровадження засобів ШІ у сферу геоінформаційних технологій, є: підвищення фінансових витрат, відсутність великої кількості еталонних даних, вузькоспрямованість і закритість алгоритмів ШІ, відсутність достатньої кількості фахівців.

5. Можливості вдосконалення методів використання ШІ пов'язані з розвитком спеціалізованого програмного забезпечення та визначається тими ж критеріями, які дають змогу оцінити їхню можливість вирішення поставлених завдань і формують потенціал застосування ШІ (подальший розвиток засобів автоматизації; підвищення точності та швидкості збору / обробки геопросторових даних; поліпшення аналітичної здатності у процесі їхньої обробки). Перспективи розвитку ШІ у сфері збору та оброблення геопросторових даних логічно пов'язуються із загальними процесами науково-технічного прогресу.

**Внесок авторів:** Едуард Бондаренко – концептуалізація; методологія; написання (перегляд і редагування); Тетяна Дудун – формальний аналіз; написання (оригінальна чернетка); Ольга Яценко – практичні приклади; написання (оригінальна чернетка).

**Джерела фінансування.** Це дослідження не отримало жодного гранту від фінансової установи в державному, комерційному або некомерційному секторах. Фінансування здійснюється за власні кошти авторів.

#### Список використаних джерел

- Бондаренко, Е., & Дудун, Т. (2025). Застосування систем штучного інтелекту у підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 106(2), 192–210. <https://doi.org/10.33407/itit.v106i2.6008>
- Дудінова, О. Б., Удовенко, С. Г., & Чала, Л. Е. (2020). Інтелектуальна обробка просторових даних у ГІС ландшафтно-екологічного моніторингу. *Біоніка інтелекту*, 2(95), 43–50. [https://doi.org/10.30837/bi.2020.2\(95\).06](https://doi.org/10.30837/bi.2020.2(95).06)

Маланчук, М., Музика, Н., Кравчук, М., & Лук'яненко, Ю. (2024). Перспективи використання штучного інтелекту в кадастрових та земельнопорядкових процесах. *Український журнал прикладної економіки та техніки*, 4, 282–287. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-4-42>

Пилипенко, І. О. (2024). *Методи штучного інтелекту для аналізу географічних даних: кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти "Магістр"*. ХДУ. <https://ekhsvir.kspu.edu/handle/123456789/20342>

Трансформаційна сила ШІ в аналітиці даних. (2025, 1 травня). Colobridge. <https://blog.colobridge.net/uk/2025/05/ai-data-analytics-evolution-ua/>

Триснюк, В. М., & Марущак, В. М. (2024). Інформаційні технології для візуалізації та обробки даних у сфері геопросторової розвідки. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, 4(85), 113–118. <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2024.044726>

Jocea, A. F. (2024). Impact of Artificial Intelligence in the Geospatial Field: from Geospatial Data to Intelligent Decision Making. *Journal of Military Technology*, 7(2), 19–24. <https://doi.org/10.32754/JMT.2024.2.03>

Hochmair, H. H., Juhász, L., & Li, H. (2025). Advancing AI-Driven Geospatial Analysis and Data Generation: Methods, Applications and Future Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(2), 56. <https://doi.org/10.3390/ijgi14020056>

Mai, G., Xie, Y., Jia, X., Lao, N., Rao, J., Zhu, Q., Liu, Z., Chiang, Y., & Jiao, J. (2025). Towards the next generation of Geospatial Artificial Intelligence. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 136, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104368>

Replacing 50,000 man-hours with AI. (2020, 18 November). Esri Australia. <https://esriaustralia.com.au/blog/replacing-50000-man-hours-ai>

Srivastava, N., & Saxena, N. (2023). Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Geospatial Data. *Emerging Trends, Techniques, and Applications in Geospatial Data Science* (pp. 196–219). <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-7319-1.ch010>

#### References

Bondarenko, E., & Dudun, T. (2025). The Application of Artificial Intelligence Systems in the Training of Cartography and Geoinformatics Specialists in Ukraine. *Information Technologies and Learning Tools*, 106(2), 192–210 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33407/itit.v106i2.6008>

Dudinova, O. B., Udovenko, S. G., & Chala, L. E. (2020). Intellectual processing of spatial data in the GIS of landscape-ecological monitoring. *Bionics of intelligence*, 2(95), 43–50 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.30837/bi.2020.2\(95\).06](https://doi.org/10.30837/bi.2020.2(95).06)

Jocea, A. F. (2024). Impact of Artificial Intelligence in the Geospatial Field: from Geospatial Data to Intelligent Decision Making. *Journal of Military Technology*, 7(2), 19–24. <https://doi.org/10.32754/JMT.2024.2.03>

Hochmair, H. H., Juhász, L., & Li, H. (2025). Advancing AI-Driven Geospatial Analysis and Data Generation: Methods, Applications and Future Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(2), 56. <https://doi.org/10.3390/ijgi14020056>

Mai, G., Xie, Y., Jia, X., Lao, N., Rao, J., Zhu, Q., Liu, Z., Chiang, Y., & Jiao, J. (2025). Towards the next generation of Geospatial Artificial Intelligence. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 136, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104368>

Malanchuk, M., Muzyka, N., Kravchuk, M., & Luk'yanenko, Y. (2024). Prospects for the use of artificial intelligence in cadastral and land management processes. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 4, 282–287 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-4-42>

Pylipenko, I. O. (2024). Artificial Intelligence Methods for Geographic Data Analysis: Qualifying Thesis for the Degree of Master of Science. KhSU [in Ukrainian]. <https://ekhsvir.kspu.edu/handle/123456789/20342>

Replacing 50,000 man-hours with AI. (2020, 18 November). Esri Australia. <https://esriaustralia.com.au/blog/replacing-50000-man-hours-ai>

Srivastava, N., & Saxena, N. (2023). Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Geospatial Data. *Emerging Trends, Techniques, and Applications in Geospatial Data Science* (pp. 196–219). <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-7319-1.ch010>

The Transformative Power of AI in Data Analytics. (2025, May 1). Colobridge [in Ukrainian]. <https://blog.colobridge.net/uk/2025/05/ai-data-analytics-evolution-ua/>

Trisnyuk, V. M., & Marushchak, V. M. (2024). Information technologies for visualization and data processing in the field of geospatial intelligence. *Telecommunications and Information Technologies*, 4(85), 113–118 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2024.044726>

Отримано редакцією журналу / Received: 20.10.25

Прорецензовано / Revised: 19.11.25

Схвалено до друку / Accepted: 27.12.25

Eduard BONDARENKO, DSc (Geogr.), Prof.  
ORCID ID: 0000-0002-2295-146X  
e-mail: eduardbondarenko@knu.ua  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Tetiana DUDUN, PhD (Geogr.), Assoc. Prof.  
ORCID ID: 0000-0002-9960-9793  
e-mail: t.dudun@knu.ua  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Olga YATSENKO, Assist.  
ORCID ID: 0000-0001-5534-0211  
e-mail: o\_yatsenko@knu.ua  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

## DIRECTIONS OF APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS FOR THE COLLECTION AND PROCESSING OF GEOSPATIAL DATA IN MODERN UKRAINIAN REALITIES

**Background.** *At the current stage of scientific and technological progress, amid general digitalization and a significant increase in geospatial data volumes, it has become essential to implement novel approaches for their collection, processing, analysis, and interpretation. In recent years, modern tools, software, and technological solutions have been increasingly employed for these purposes, with artificial intelligence (AI) playing a central role. In the context of geospatial data collection and processing, AI, referred to as GeoAI, can optimize the automation of routine processes, enhance the accuracy of results, and enable the detection of hidden patterns within large datasets.*

**Methods.** *The methodological foundation of this study is based on the synergy between geosciences and tools that automate the collection and processing of geospatial data by simulating human cognitive processes to accomplish the assigned tasks. To achieve the study's objectives, the following methods were employed: systematic approach; analysis and synthesis; abstraction and concretization; induction and deduction; scientific experimentation; evaluation; scientific classification; and geoinformatics methods.*

**Results.** *The study identified that at the current stage of AI development, three groups of software products enable the intellectualization of task execution: specialized software with functionalities for automating various processes; generative AI tools that create diverse types of information resources; and agent-based AI tools, representing a new phase in the evolution of intelligent products. Together, these groups enhance the capabilities of geospatial data collection and processing, leveraging machine learning tools embedded within these software groups.*

*Practical examples of GeoAI in geospatial data collection and processing are presented, particularly in the development of digital terrain models using methods such as laser scanning and aerial imagery processing. A comparison of applied machine learning techniques, including k-means clustering and ISODATA, is also provided. The effectiveness of AI tools is assessed according to key criteria: speed and increased automation; accuracy and quality of geospatial data; and cost-effectiveness.*

**Conclusions.** *This study outlines directions for the application of AI tools in geospatial data collection and processing in modern Ukraine. These include the identification of necessary software product groups with intelligent functionalities, key algorithms and AI methods, main advantages, challenges, and opportunities for further enhancement of these tools. The results highlight the potential of GeoAI to significantly improve the efficiency, accuracy, and strategic value of geospatial data operations.*

**Keywords:** *artificial intelligence, AI, geospatial data collection, geospatial data processing, software products, AI algorithms, AI methods.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analysis or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.