УДК [378:528.9]:004.8

Едуард Бондаренко
доктор географічних наук, професор, професор кафедри геодезії та картографії
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-2295-146X
edbe@ukr.net

Тетяна Дудун
кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії та картографії
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-9960-9793
t.dudun@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ З КАРТОГРАФІЇ ТА ГЕОІНФОРМАТИКИ В УКРАЇНІ

Анотація. На сучасному етапі інформаційного суспільства ефективність виконання різноманітних прикладних завдань у галузі картографії та геоінформатики залежить від компетентностей фахівців, здатних до застосування програмних інструментів, які моделюють і відтворюють у комп'ютерному середовищі розумову діяльність людини. Такими є засоби штучного інтелекту, які протягом майже сімдесятирічного періоду свого розвитку виступали ядром комп'ютерних технологій, забезпечуючи різний ступінь автоматизації картографічних робіт, з удосконаленням у відповідності до здобутків науково-технічного прогресу. Це продемонстровано розробленою авторами хронологічною моделлю, що визначає періоди розвитку інструментів штучного інтелекту, показує зміни технологій у контексті процесів створення/використання карт, а також провадження навчальної діяльності при підготовці майбутніх фахівців з картографії та геоінформатики.

Вивчення можливостей використання таких інструментів дало змогу провести їх групування за функціоналом прикладного програмного забезпечення, зокрема географічних інформаційних систем, програм (модулів) обробки і перетворення зображень, вузькофункціональних продуктів тощо, та визначити ці інструменти як системи штучного інтелекту, що сьогодні мають характеризуватись мультимодальністю, тобто одночасним забезпеченням роботи з різними типами даних: графічними, табличними, текстовими та ін. Відзначено, що прийняття остаточних рішень за отриманими результатами інтегрованого застосування систем штучного інтелекту при вирішенні прикладних завдань картографії та геоінформатики обов'язково має здійснюватись лише фахівцями, які володіють відповідними компетентностями.

Потенціал позитивного впливу систем штучного інтелекту при підготовці майбутніх галузевих фахівців на унікальній в Україні бакалаврській освітній програмі «Картографія, географічні інформаційні системи, дистанційне зондування Землі» Київського національного університету імені Тараса Шевченка оцінюється в межах 33%, що відповідає її високому рівню щодо використання прикладного програмного забезпечення в навчальному процесі та формування фахових компетентностей здобувачів.

Ключові слова: системи штучного інтелекту; комп'ютерні технології; прикладне програмне забезпечення; автоматизація картографічних робіт; навчальна діяльність; фахові компетентності.

1. ВСТУП

Постановка проблеми. Сучасні реалії інформаційного суспільства вимагають високого рівня освіченості людей та відповідного обсягу знань, які накопичені суспільством. У найближчій перспективі успішний розвиток і процвітання держав будуть пов'язані з їхніми можливостями перевершення інших країн у формуванні та використанні нових знань. Визначальну роль у цьому процесі будуть відігравати

© Едуард Бондаренко, Тетяна Дудун, 2025.

інформаційно-комунікаційні технології, складовими яких по праву є методи та засоби штучного інтелекту.

Розпочинаючи з кінця 2021 року досить швидкими темпами стали розвиватись програмні продукти, що є власне системами штучного інтелекту. Також відмічається позитивна динаміка впровадження елементів штучного інтелекту до системного та прикладного програмного забезпечення.

Процес посилення ролі інтелекту в програмному забезпеченні в цілому виводить його на зовсім новий рівень застосування у різних сферах і галузях щодо виконання традиційних функцій систематизації значних обсягів даних, формування логічних висновків по заданих параметрах, розуміння мов, машинного навчання тощо.

Не є винятком й картографія, яка в межах процесів реалізації своїх предметних завдань і підготовки фахівців для їхнього виконання тривалий час залучає різноманітні програмно-технічні засоби автоматизації картографічних робіт. У функціоналі зазначених засобів задіяні різні інструменти штучного інтелекту.

Поява та розвиток геоінформатики, що поєднує географію, інформатику та автоматику, подальша всеохоплююча інтеграція картографії з нею як на державному рівні, так і в системі вищої освіти, формують досить потужне технічне підсилення, зокрема і щодо інтелектуалізації виконання значної кількості фахово орієнтованих задач.

Тому вивчення питань застосування систем штучного інтелекту при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики в Україні, а також визначення потенціалу таких систем у контексті освітньої та науково-виробничої діяльності, є достатньо актуальною науковою проблемою, окремі складові якої підлягають розв'язанню в межах даної статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки штучний інтелект в Україні кожного дня нарощує свої потужності в різних сферах і галузях (включно з освітою), насамперед слід проаналізувати його правове регулювання, реєстрацію авторських прав на розробки з використанням систем штучного інтелекту та врахування можливих наслідків його використання.

Основна та похідна термінологія, пов'язана з терміном «штучний інтелект», є відносно новим явищем у національному законодавчому полі. Тож у чинному законодавстві станом на поточний момент немає його правового визначення та відповідного врегулювання. Але в той же час слід зазначити, що наша країна заклала підвалини для розвитку штучного інтелекту і докладає зусилля для врегулювання питань, пов'язаних з його використанням.

Так у 2020 році Урядом країни була затверджена «Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні» [1]. Згідно з документом штучний інтелект визначається як організована сукупність інформаційних технологій для можливого виконання складних комплексних завдань на основі використання системи методів наукових досліджень і алгоритмів обробки інформації, отриманої під час роботи або створеної самостійно, а також розроблення та використання власної бази знань і моделей, спрямованих на прийняття рішень, алгоритмів робочої інформації для визначення способів досягнення цілей [1]. Іншими словами, штучний інтелект – це, по суті, комп'ютерна програма, яка збирає, систематизує, аналізує і обробляє дані та видає готові рішення на основі інформації, отриманої від користувача у формі запиту. Готові рішення, як правило, вважаються результатом роботи комп'ютерної програми, яка працює подібно до людського розуму та демонструє інтелектуальну поведінку.

У 2024 році Кабінетом Міністрів України було схвалено «Концепцію Державної цільової науково-технічної програми з використання технологій штучного інтелекту в пріоритетних галузях економіки на період до 2026 року» [2]. Мета прийнятого документа – визначення напрямів і завдань розвитку технологій штучного інтелекту та впровадження механізмів державної підтримки, спрямованої на створення сприятливих

умов для розвитку інновацій з його використанням у пріоритетних галузях економіки для сприяння підвищенню потенціалу економіки України та зміцненню позицій нашої держави на світовому ринку. Варто зазначити, що серед очікуваних результатів виконання цієї програми є важливий пункт, який стосується й освітньої складової та полягає в розробленні вимог до фахових компетентностей та вдосконаленні цифрових навичок основних професійних груп пріоритетних галузей економіки, формуванні переліку освітніх програм, виробленні вмінь і навичок, розроблення, тестування, впровадження та підтримки використання технологій штучного інтелекту [2].

Зважаючи на те, що штучний інтелект у загальному є програмним продуктом, то слід вказати, що його правове регулювання по суті підпадає під регламентацію комп'ютерних програм з прирівнюванням їх до літературного твору. Чинним законодавства це закріплено статтею 18 Закону [3]. Але далі логічно виникає питання щодо авторських прав на розробки, які створені на основі використання технологій і систем штучного інтелекту. Той же Закон [3], а разом з ним і Положення стосовно картографічних творів [4] визначають, що автором виступає людина (фізична особа), яка своєю творчою працею створила твір та, відповідно, первинне авторське право належить саме їй.

Зараз на рівні законодавства відкритим і невирішеним залишається питання, кого слід вважати автором твору: розробника програми (яка є штучним інтелектом або містить його окремі складові) чи людину, яка дала завдання на виконання такої програми або окремого алгоритму в ній. Однак загальновідомо, що умови купівлі-продажу комп'ютерної програми, яка містить технології штучного інтелекту, придбання ліцензії на її використання для пропрієтарних продуктів, погодження на умови публічного договору для відкритих систем, відображаються у відповідній угоді. Вона й регламентує питання авторського права щодо застосування такої програми.

Але крім прав на одержаний результат застосування інструментів штучного інтелекту для нових розробок визначається також обов'язками і відповідальністю. Це важливо, оскільки робота штучного інтелекту може супроводжуватись помилками та/або давати негативні результати. Оскільки в нашій країні немає законодавчих положень для визначення особи, відповідальної за кожен випадок роботи штучного інтелекту, важливо встановити причинно-наслідковий зв'язок і визначити час, поведінку та обставини відповідної події, що призвела до його помилкових операцій.

Окреслені моменти без уваги не залишаються. Наприклад, на рівні Європи вони розглядаються під час роботи спеціального комітету Європейської ради з питань штучного інтелекту, членом якого є й Україна. А в середині 2024 року Європейським парламентом та Європейською радою було прийнято регламент, що встановлює гармонізовані правила щодо штучного інтелекту в Європейському Союзі [5].

Від правового регулювання штучного інтелекту перейдемо до аналізу існуючих вітчизняних і зарубіжних публікацій, дотичних до тематики дослідження.

У колективній монографії за редакцією А. Шевченка [6], яка по суті на сьогодні є останнім підсумковим вітчизняним дослідженням з питань штучного інтелекту та розширеним логічним продовженням «Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні» [1], [2], розглянуто передумови та наукові засади створення стратегії його розвитку в нашій країні, а також засоби та шляхи її ефективної імплементації. У зазначеній роботі визначено, що метою пропонованого документа є формування передумов для відновлення економіки держави після війни, перш за все безпеки й оборони, науки та освіти, забезпечення її сталого розвитку на основі технологій штучного інтелекту та відповідного поліпшення добробуту і якості життя населення. Зазначається, що досягнення цієї мети наблизить Україну до світового лідерства у сфері штучного інтелекту. Автори [6] визнають, що наразі Україна відстає від провідних країн

за швидкістю та кількістю впровадження таких розробок, але має необхідний фундаментальний потенціал розвитку сфери штучного інтелекту для досягнення проривів у створенні абсолютно нових технологій світового рівня.

При формуванні стратегічного бачення розвитку можливостей застосування штучного інтелекту в пріоритетних сферах розвитку держави акцент у роботі [6] також спрямовано й на наукову діяльність та освіту. Зокрема запланований розвиток штучного інтелекту як самостійних напрямів: наукових (разом з різними видами нейронних мереж; алгоритми, що імітують різні процеси; машинне навчання тощо) та освітніх (оптимізація навчального процесу з підготовки фахівців; профілювання здобувачів за здібностями; впровадження нових навчальних дисциплін на освітніх програмах тощо).

Це, а також базові цифрові навички (аналіз геопросторових даних із застосуванням різнофункціонального програмного забезпечення; компетентності програмування; навички розроблення, проєктування та обслуговування технологій; комфортність співпраці «людина-машина»; опрацювання та інтерпретація складної інформації; уміння розв'язування проблем у вибудуваній завдяки цифровим технологіям співпраці в командах) [6] у цілому корелюються із здатністю підготовки фахівців з картографії та геоінформатики з використанням засобів штучного інтелекту (*авт.*).

У статті [7] її автори О. Топузов та С. Алєксєєва розглянули пріоритетні напрями для розвитку систем штучного інтелекту, наголосивши на підготовці кваліфікованих кадрів як основному завданні освіти в цій царині. Виокремлено складові впровадження інструментів штучного інтелекту до сфери загальної середньої освіти, які повністю вписуються в стратегічне бачення авторів роботи [6] і, на нашу думку (*авт.*), є цілком адекватними для застосування в системі вищої освіти при підготовці сучасних професіоналів з картографії та геоінформатики. Це: високий рівень цифрової грамотності здобувачів; збільшення питомої ваги застосування цифрових інструментів у навчальному процесі; підготовка до використання систем штучного інтелекту та підвищення кваліфікації викладачів з цього питання. Автори [7] логічно стверджують, що застосування штучного інтелекту є ключовим фактором у розвитку соціальних навичок та умінь взаємодіяти з інтелектуальними продуктами, використовуючи голосові асистенти, чат-боти та інші програмні інтерфейси для спілкування; набутті знань принципів машинного навчання та базових умінь програмування; критичного мислення, творчих навичок, які стають важливими в контексті розроблення нових інтелектуальних рішень. Слід відзначити, що О. Топузов та С. Алєксєєва узагальнили рекомендації щодо застосування інструментів штучного інтелекту в навчальному процесі закладів загальної середньої освіти під час дії воєнного стану, наголосивши на можливості створення доповненої реальності за їхньою допомогою. На думку авторів [7], це дасть змогу здобувачам вивчати матеріал інтерактивно, зокрема й у випадках руйнувань (пошкоджень) закладів освіти.

У дослідженні [8] при розгляді моделі геоінформаційної підготовки фахівців з картографії на освітніх програмах кафедри геодезії та картографії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти за спеціальністю «Науки про Землю» чітко прослідковується наявність навчальних дисциплін, у межах яких використовуються інструменти штучного інтелекту. Серед них: нейронні мережі, експертні системи, системи підтримки прийняття рішень. А обов'язковий освітній компонент «Системи штучного інтелекту для вирішення завдань у науках про Землю», що є складовою бакалаврської освітньої програми «Картографія, географічні інформаційні системи, дистанційне зондування Землі» [9] та який було заплановано до введення ще до появи широких можливостей розповсюдження інтелектуальних засобів чат-ботів (наприклад, GPT компанії OpenAI, США) чи генеративного штучного

інтелекту (GeoAI, команди австралійських розробників), свідчить про стратегічне бачення авторів даної програми в контексті забезпечення конкурентоздатності фахівців з картографії та геоінформатики на сучасному ринку праці як в Україні, так і за кордоном.

Зарубіжні публікації, які ми обрали для аналізу в цій статті, охоплюють питання окремих можливостей та особливостей застосування інструментів штучного інтелекту в картографії під час використання функціоналу програмних продуктів, на основі яких створюються карти, а також засобів навчання в них щодо набуття компетентностей їх застосування для вирішення поставлених задач.

У роботі [10] узагальнено існуючі тенденції досліджень і розробок щодо використання геопросторового штучного інтелекту для створення та оформлення карт. Визначено вихідні параметри для застосування методів геопросторового штучного інтелекту (джерела даних; формати даних; сучасні моделі штучного інтелекту, кожна з яких виконує різноманітні картографічні завдання). Зазначені моделі передбачають використання дерев рішень; графів знань і семантичних вебтехнологій; нейронних мереж; навчання з підкріпленням (машинного навчання).

Автори [10], Y. Kang, S. Gao та R. E. Roth, у своєму дослідженні не обійшли увагою й потенційні етичні проблеми, які виникають під час інтеграції геопросторового штучного інтелекту в картографію. Етичні проблеми, на їхню думку, пов’язані з комодифікацією (комерціалізацію); відповідальністю; конфіденційністю; упередженістю; та (разом) прозорістю, поясненням і походженням. Також у межах роботи [10] визначено потенційні напрями для проведення картографічних досліджень і створення картографічних розробок за допомогою геопросторового штучного інтелекту найближчим часом: подальше застосування інтерактивних бібліотек умовних знаків для створення карт; перетворення процесу картографування засобами штучного інтелекту на послугу; розвиток генеративного геопросторового штучного інтелекту і застосування його в картографії.

Стаття [11] визначає машинне навчання як обчислювальну парадигму в картографічних дослідженнях. За його допомогою відбувається ряд автоматизованих процесів, пов’язаних з розпізнаванням шаблонів зображувальних засобів на картах, картографічною генералізацією, передаванням різних графічних змінних в умовних знаках. У цілому авторами даної статті продемонстровано наявні можливості машинного навчання у комп’ютерних програмах, які використовуються в картографії (логічно припустити, що це насамперед географічні інформаційні системи, *авт.*), але питання, наскільки моделі машинного навчання будуть успішними в картографічних програмах і до якої міри користувачам (фахівцям, здобувачам освіти) потрібно явно моделювати картографічні знання в цих моделях, залишаються відкритими.

У дослідженні [12] T. Chen, M. Chen, A.-X. Zhu та W. Jiang визначили, що оцінка якості кольору є ключовою для всієї оцінки якості карти, яка може покращити візуалізацію даних і обмін ними. Зазначивши, що більшість існуючих методів оцінки кольорового оформлення карти є виснажливими та суб’єктивними ручними методами, автори роботи [12] запропонували для цього підхід, заснований на навчанні. Він складається з двох кроків. Першим кроком є виділення картографічних факторів для визначення якості послідовних колірних схем на картах (порядку кольорів, відповідності кольорів, гармонії кольорів, розрізнення кольорів та однорідності кольорів). На другому кроці запропоновано застосування інструменту штучного інтелекту AdaBoost (алгоритм машинного навчання для проведення статистичної класифікації), на основі якого прогнозується якість послідовних колірних схем. Для оцінки продуктивності моделі було розраховано площу під кривою робочої характеристики приймача (англомовна абревіатура ROC-curve) за допомогою відповідного показника (AUC, area under ROC-

curve). Одержані результати значення показника AUC склали 0.983 і 0.977 за даними навчання та даними тестування відповідно. Вони вказують на те, що запропонований підхід можна використовувати для автоматичної оцінки якості послідовних колірних схем для карт, що допомагає фахівцям-картографам обирати адекватні кольори для представлення показників картографування.

Авторами роботи [13] відзначено, що відмивка рельєфу (світло-тіньова пластика) є ефективним способом його візуалізації на загальногеографічних картах, особливо коли напрямок освітлення адаптовано локально для підкреслення окремих особливостей рельєфу місцевості. Однак, за твердженням авторів, алгоритми створення відмивки рельєфу не повністю відповідають виразності рукотворних шедеврів, які створюються через трудомісткий процес фахівцями-картографами. Тому в межах дослідження для повторення еталонної ручної відмивки рельєфу було використано нейронну мережу U-Net, яка для створення автоматичної відмивки рельєфу навчалась на серії загальногеографічних карт Швейцарії з ручною відмивкою рельєфу. Відмивка рельєфу за допомогою нейронної мережі U-Net генерується з цифрових моделей висот за кілька секунд, а дослідження за участю 18 експертів з відмивки рельєфу показало, що створені зображення мають високу якість.

У статті [14] авторами вказано, що штучний інтелект виступає каталізатором дедалі більших змін у сучасній картографії та за її межами. На відміну від попередніх технологій картографування сучасна хвиля штучного інтелекту дозволяє створювати карти без чітко запрограмованих правил, що розширює, а в деяких випадках і перевершує людський інтелект. Ця трансформаційна здатність має потенціал змінити щонайменше практику створення карт. У цьому світлі автори пропонують «постлюдську картографію» як потенційну перспективу для вивчення нової тенденції в картографії, що характеризується співзалежністю між людським і машинним інтелектом. Ця теоретична перспектива кидає виклик традиційним людиноцентричним підходам, пропонуючи натомість розглядати картографування як мережу відносин людей і машин. Це також підкреслює визнання штучного інтелекту як важливого учасника практики картографування. Крім того, Y. Lin та B. Zhao у своїй роботі виступають за рефлексивний підхід, який розв’язує етичні проблеми, пов’язані із штучним інтелектом та іншими технологічними порушеннями в сучасній картографії.

Проведений аналіз обраних публікацій з теми дослідження свідчить про визначальну важливість систем штучного інтелекту в цілому та їхніх окремих інструментів для застосування при вирішенні ряду задач автоматизованого створення картографічних творів у сучасних умовах. Але цілісної роботи, яка б узагальнювала програмні засоби штучного інтелекту, що використовуються зараз, зокрема при виконанні професійно-орієнтованих завдань у контексті підготовки фахівців з картографії та геоінформатики в нашій країні, ще не існує.

Мета дослідження. Метою дослідження є визначення потенціалу систем штучного інтелекту, які використовуються при вирішенні навчальних і наукових завдань у процесі підготовки майбутніх фахівців з картографії та геоінформатики в Україні.

Зважаючи на те, що здобувачі із зазначеного інтегрованого фаху навчаються на освітніх програмах кафедри геодезії та картографії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, які є не лише унікальними, але й єдиними в нашій країні, то результати даного дослідження, одержані на їх основі можуть бути екстрапольовані на всю територію України.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Теоретичною основою даного дослідження виступає розроблена вітчизняними науковцями стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні [5], а також основні

регламентні документи Уряду нашої держави, які містять концептуальні положення розвитку технологій штучного інтелекту загалом та у пріоритетних галузях економіки на період до 2026 року [1], [2].

Визначення параметрів потенціалу систем штучного інтелекту при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики здійснювалось на основі моделі їхньої геоінформаційної підготовки, розробленій авторами [8], яка впроваджена на акредитованих освітніх програмах кафедри геодезії та картографії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Методологія дослідження характеризується послідовним застосуванням ряду загальнонаукових і спеціальних методів.

Вихідні передумови для проведення дослідження були опрацьовані авторами шляхом *аналізу* останніх наукових публікацій та регламентних документів з обраної теми. Використання методу *синтезу* дозволило сформувати інтегроване уявлення про об'єкт дослідження, його компоненти та взаємозв'язки.

Вивчення хронологічних етапів застосування систем штучного інтелекту в картографії та геоінформатиці, а також при підготовці майбутніх фахівців, завдяки чому досягається поглиблене розуміння сутності досліджуваної проблеми, обґрунтування попередніх висновків і рекомендацій, стало можливим завдяки *історичному* методу.

Виявлення конкретних інструментів штучного інтелекту на різних етапах виконання професійно орієнтованих завдань з картографії та геоінформатики, а також підготовки здобувачів під час навчання, здійснено за допомогою методу *конкретизації.* Метод *класифікації* застосовано для виокремлення груп програмного забезпечення, яке належить до систем штучного інтелекту або його окремих інструментів за обґрунтованими ознаками.

Системний підхід, що дає цілісну об'єктивну характеристику систем штучного інтелекту для вирішення прикладних завдань фахівцями/здобувачами з картографії та геоінформатики, застосовувався на всіх етапах дослідження.

Понятєво-термінологічний апарат, необхідний для розуміння змісту дослідження, використано з [1] – [4], [6], [15].

3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Експериментальною базою дослідження обрано освітні програми з картографії та геоінформатики, що реалізуються на кафедрі геодезії та картографії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, зокрема освітньо-професійну програму «Картографія, географічні інформаційні системи, дистанційне зондування Землі» та її навчальні компоненти, при вивченні яких застосовуються засоби штучного інтелекту.

Методика дослідження характеризується авторським алгоритмом, який послідовно вирішує поставлені завдання згідно зі сформульованою метою та складається з наступних етапів: проведення історичного огляду застосування засобів інтелектуалізації розв'язуваних завдань у картографії та геоінформатиці, розпочинаючи з появи терміну «штучний інтелект» у 1956 році, побудовою хронологічної моделі еволюції та взаємодії процесів автоматизації картографічних робіт з інструментами штучного інтелекту (узагальнено за десятиліттями); розгляд інструментів, які формують системи штучного інтелекту як засоби навчання та виконання професійних завдань у картографії та геоінформатиці; огляд змістового наповнення бакалаврської освітньої програми з картографії та геоінформатики [9] навчальними компонентами, в основі яких лежать системи штучного інтелекту, та визначення їхнього потенціалу.

Системи штучного інтелекту в картографії та геоінформатиці, на нашу думку, характеризують собою сукупність програмних інструментів, які моделюють і відтворюють у комп'ютерному середовищі розумову діяльність людини, що пов'язана з вирішенням прикладних завдань.

Під *потенціалом систем штучного інтелекту* ми розуміємо оцінку сумарного обсягу програмних інструментів, які використовуються при підготовці майбутніх фахівців з картографії та геоінформатики на зазначеній вище програмі, а також визначення переваг і можливостей таких інструментів.

Дослідження має безпосередній зв'язок із темами науково-дослідної роботи вказаного структурного підрозділу, що виконувались і виконуються в межах робочого часу викладачів, зокрема: «Картографічне забезпечення геоінформаційного моніторингу довкілля території України та її регіонів» (виконувалась протягом 2020–2023 рр.); «Науково-практичні аспекти вирішення проблем інформатизації освіти засобами електронних картографічних посібників та інтерактивних карт» (виконується з 2024 р. та розрахована на 3 роки).

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Еволюція застосування систем штучного інтелекту в картографії та геоінформатиці.

Поява інструментів штучного інтелекту в картографії логічно пов'язується з виникненням засобів автоматизації картографічних робіт, які стали впроваджуватись у процесі створення картографічних творів різних видів і типів. Зазначені засоби асоціюються в основному з роботою спеціалізованого програмного забезпечення, за допомогою функціоналу якого в певний часовий період виконувались відповідні алгоритми, що дозволяли підвищити продуктивність праці фахівців-картографів на виробництві, виконанні навчально-наукових завдань при підготовці галузевих кадрів у закладах фахової передвищої та вищої освіти.

Розвиток програмних продуктів для автоматизованого картографування в цілому визначається технічним прогресом та його безпосереднім позитивним впливом на картографію, окреслюючи її засоби, методологічні підходи, теоретичні концепції й навіть парадигми [16].

Кожний виток науково-технічної революції відкривав перед картографією нові можливості, зокрема й щодо інтелектуалізації, яка характеризується насамперед змінами технологій у контексті процесів створення / використання карт, а також провадження навчальної діяльності при підготовці майбутніх фахівців.

З кінця 1950-х – початку 1960-х років з огляду на швидку математизацію наук про Землю та суміжних з ними соціально-економічних наук виявилась велика затребуваність картографічного методу через формування нового інтегрованого напряму картографії, який дістав назву математико-картографічного моделювання. У цей період у рамках процесу застосування математичних методів у світі з'явились також перші напрацювання у царині створення нейронних мереж, які на практиці, зокрема щодо можливостей машинної обробки просторових даних для картографування (з навчанням за зразком та без нього), були реалізовані у 1980-х роках (алгоритми оберненого розповсюдження похибки [17]; карти самоорганізації Т. Кохонена для цілей кластеризації [18]).

1970-ті роки стали періодом розвитку космічних знімань, що підштовхнуло картографію до об'єднання з аерокосмічними методами дослідження навколишнього середовища, які дали можливість отримувати для картографування новий періодично

оновлюваний вид інформаційного забезпечення розроблення картографічних творів. Цей період характеризується теоретичним обґрунтуванням поняття «баз знань» як важливої частини інтелектуальних програмних засобів, призначених для управління відомостями про об'єкти, явища та/або процеси реальної дійсності через чітко організовану систему пошуку (запиту)/отримання відповідей щодо поставленої проблеми. Зазначеними програмними засобами виступають експертні системи, які при використанні накопичених і таких, що постійно оновлюються знань, мають вирішувати поставлені прикладні завдання аналогічно до людського розуму [15].

Поява у 1980-х роках персональних комп'ютерів і програмного забезпечення для вирішення різноманітних просторових завдань та їхнє широке застосування з початку 1990-х років посприяли подальшій автоматизації картографічних робіт. Реалізація значної кількості завдань використання карт стала зосереджуватись на роботі у середовищі комп'ютера. А необхідність зорового сприйняття результатів комп'ютерного картографування породила нові розділи та напрями картографії – цифрову картографію та геоінформаційне картографування. Останнє й дотепер залишається головною теоретичною концепцією сучасної картографії. У цей же період відбулось остаточне оформлення геоінформатики як галузі науки, техніки та виробництва, її предмета і методів. Це десятиріччя характеризується появою наукових робіт з обґрунтування систем підтримки прийняття рішень, які згідно з [19] характеризуються сукупністю інструментальних засобів, що забезпечують формування (моделювання) альтернативних рішень на різних етапах прийняття, аналіз і вибір варіантів, які задовольняють висунутим умовам.

Варто відзначити, що системи підтримки прийняття рішень розвивались разом з інструментальною базою, яка визначала та дотепер продовжує визначати їхню структуру. Можна стверджувати, що це загалом характеризує всі комп'ютерні розробки.

У середині 1990-х років поряд з подальшим розвитком функціоналу програмних продуктів, які належать до географічних інформаційних систем (ГІС), науково-технічний прогрес привів також і до появи нових засобів комунікації, якими стали комп'ютерні мережі. По них почали рухатись потоки, зокрема й цифрової картографічної інформації. Як показує досвід, глобальна комп'ютерна мережа (Інтернет) виявилась доволі ефективним засобом електронного передавання картографічної інформації, постійне збільшення обсягів якої разом із семантичними, топологічними та додатковими характеристиками (метаданими) спонукало до початку робіт з обґрунтування нового класу цифрових геоінформаційних ресурсів – інфраструктур просторових даних.

Штучний інтелект у цей період став одним з інструментів інформатики та геоінформатики. У ГІС, які стають по суті стандартом створення картографічних творів, – це автоматичні методи утворення шкал кількісних показників для відображення відповідними прийомами геоінформаційного картографування; проведення запитів до баз даних за поданим зразком; використання інших засобів геоінформаційного аналізу просторових даних.

Перша декада 2000-х років характеризується рядом подій, пов'язаних з остаточною міграцією ГІС до мережі Інтернет і вдосконаленням теоретичних, методологічних та практичних аспектів вебкартографії; появою нових картографічних розробок глобального територіального рівня, які дістали назву краудсорсингових картографічних сервісів (Google Maps, Bing Maps, OpenStreetMap та ін.); впровадження засобів мультимедіа для застосування при створенні/використанні картографічних творів [16].

У середовищі фахівців з інформаційних технологій у цей час відбувається уникання застосування терміну «штучний інтелект».

2010-ті роки визначаються впровадженням у картографію та геоінформатику бібліотек умовних знаків для створення інтерактивних карт і їхнього поширення в

мережному середовищі; широким впровадженням векторних даних у тайловому підході в генералізації, процес якої тривалий час вважався трудомістким у контексті його автоматизації; перетворенням двовимірних електронних карт на віртуально-реалістичні моделі; найбільш повними можливостями технологій «машинного навчання», що спирається на статистику виявлення «шаблонів» у великих масивах даних, які необхідно обробити для формування показників картографування. А технологія «глибокого навчання» розпочала імітацію доволі складних здібностей мозку людини, зокрема й у картографії [10].

З 2020 року розпочався сучасний етап розвитку картографії та геоінформатики, що характеризується найвищим ступенем автоматизації картографічних робіт і розвитком великих мовних моделей та генеративних засобів, які виявляють риси розуміння, пізнання та творчості.

З січня 2022 року фахівцям і пересічним користувачам в Україні було відкрито доступ до мовної моделі – чату GPT (компанія-розробник OpenAI), пізніше стали доступними широкому загалу (фахівцям і пересічним користувачам) мовні та агентські моделі штучного інтелекту інших розробників (Copilot, компанії Microsoft; Gemini, Google та ін.). Паралельно стали розвиватись засоби штучного інтелекту, що працює з різними типами даних. Так з липня 2024 року генеративний штучний інтелект GeoAI став доступним для використання при вирішенні просторових задач як вбудований модуль до пропрієтарної ГІС ArcGIS Pro 3.4 (ESRI, США) [20]. Також стає більше прикладів розроблення та поширення засобів генеративного штучного інтелекту з відкритим вихідним кодом (Stable Diffusion, Німеччина; ComfyUI, Китай; Deepseek, Китай та ряд ін.).

Викладене вище дає змогу побудувати хронологічну модель, яка наочно демонструє еволюцію та взаємодію процесів автоматизації картографічних робіт з інструментами штучного інтелекту, рис. 1.

Аналіз розробленої моделі показує, що засоби штучного інтелекту протягом майже сімдесятирічного часового періоду є основою комп’ютерних технологій, які передбачають різний ступінь автоматизації картографічних робіт. Їхній розвиток безпосередньо пов’язаний зі здобутками науково-технічного прогресу.

Сьогодні найвищий рівень автоматизації картографічних робіт щодо виконання завдань, які базуються на використанні просторових даних під час навчання/науково-виробничої діяльності, забезпечуються різноманітними інструментами штучного інтелекту.

4.2. Інструменти штучного інтелекту як засоби навчання та виконання професійних завдань у картографії та геоінформатиці.

Використання інструментів штучного інтелекту як засобів навчання та виконання фахових завдань передбачає їхній огляд шляхом групування за функціональними можливостями прикладного програмного забезпечення, зокрема ГІС, програм (або модулів) обробки та перетворення зображень, вузькофункціональних продуктів тощо.

У картографії та геоінформатиці для підвищення розуміння та інтерпретації одержаних результатів засоби штучного інтелекту мають характеризуватись мультимодальністю – властивістю програмних продуктів, що передбачає одночасну можливість оброблення даних декількох образів, які називаються модальностями. До них належать тексти, статичні графічні зображення, рухомі (відео) графічні зображення зі звуковими ефектами та ін. Це пов’язано з різними типами даних у процесі «створення – використання карт»: графічних (растрових, векторних (векторно-нетопологічних, векторно-топологічних)), табличних, текстових та інших.

Серед відомих ключових технологій мультимодального штучного інтелекту (оброблення природної мови; аналіз статичних і рухомих зображень; розпізнавання та оброблення мовлення) щонайменше перші дві технології зараз активно використовуються в картографії та геоінформатиці під час виконання фахово орієнтованих завдань за допомогою інструментів штучного інтелекту, що підтверджує їхню мультимодальність.

<table>
<tr><th>Зміст за етапами НТП</th><th colspan="8">Етапи розвитку науково-технічного прогресу (НТП) за десятиліттями, роки</th></tr>
<tr><td></td><td>1950-ті</td><td>1960-ті</td><td>1970-ті</td><td>1980-ті</td><td>1990-ті</td><td>2000-ні</td><td>2010-ті</td><td>2020-ті</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Головні відправні точки в автоматизації картографічних робіт (АКР)</td><td colspan="8">Впровадження математичних методів у картографію, розвиток математико-картографічного моделювання</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="7">Розвиток і постійне удосконалення космічних знімань, інтеграція картографії з аерокосмічними методами</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">Зародження та становлення цифрової картографії</td><td colspan="4">Розвиток та удосконалення геоінформаційного картографування</td></tr>
<tr><td colspan="5"></td><td colspan="3">Міграція ГІС до Інтернет. Становлення та розвиток веб-картографії</td></tr>
<tr><td colspan="7"></td><td>Вирішення питань автоматизації найбільш трудомістких картографічних робіт</td></tr>
<tr><td colspan="8"></td><td>Найвищий рівень АКР</td></tr>
<tr><td>Періоди розвитку штучного інтелекту (ШІ)</td><td>Визрівання ідей</td><td>Раннього ентузіазму та великих очікувань</td><td>Обмежений прогрес у розвитку</td><td>Відродження досліджень</td><td>Революційні зміни у здійсненні обчислень як поштовх до розвитку ШІ</td><td>Затишшя перед початком «нової хвилі» досліджень</td><td>Розвиток технологій «машинного навчання»</td><td>Розвиток засобів, які володіють рисами розуміння, пізнання, творчості</td></tr>
<tr><td>Основні інструменти ШІ</td><td colspan="8">Розвиток інстументів ШІ</td></tr>
<tr><td>Нейронні мережі (НМ)</td><td colspan="2">Перші теоретичні напрацювання щодо розвитку НМ</td><td></td><td>Перші практичні реалізації створення НМ</td><td rowspan="3">Елементи ШІ стають функціона-лом програмних засобів, зокрема, ГІС</td><td rowspan="3">Подальші поточні напрацю-вання у розвитку НМ, ЕС, СППР</td><td rowspan="3">Початок впровадження технології «глибокого навчання»</td><td rowspan="3">Розвиток генератив-ного ШІ</td></tr>
<tr><td>Бази знань та експертні системи (ЕС)</td><td colspan="2"></td><td>Обґрунту-вання структури та функціоналу ЕС</td><td></td></tr>
<tr><td>Системи підтримки прийняття рішень (СППР)</td><td colspan="3"></td><td>Обґрунту-вання розробки СППР</td></tr>
</table>

Рис. 1. Графічна модель еволюції та взаємодії процесів автоматизації картографічних робіт з інструментами штучного інтелекту

У функціоналі кожної ГІС поряд з наявними модулями введення і виведення даних у блоці їхньої обробки обов'язково вбудовані засоби виконання загальних функцій просторового аналізу та вирішення специфічних задач користувача. Вони об'єднуються терміном "геоінформаційний аналіз", який найчастіше проводиться з метою виявлення щонайменше:

- закономірностей у структурі або особливостей розподілу об'єктів, а також їхніх характеристик у просторі;
- наявності і виду взаємозв'язків у просторовому розподілі декількох класів об'єктів або окремих характеристик;
- тенденцій розвитку явищ у просторі та часі;
- вибору варіантів вирішення задачі з урахуванням просторових характеристик.

Відповідно до можливостей, що мають сучасні ГІС, можна вказати види геоінформаційного аналізу даних, зіставні з роботою штучного інтелекту. Вони нами об'єднані у дві групи.

Перша група функцій передбачає *інтеграцію атрибутивної та просторової інформації*, що здійснюється засобами геокодування та/або приєднання шляхом нанесення непросторових даних на карту; проведення аналізу даних на основі організації запитів до баз даних шляхом використання засобів вибору (простого, за зразком, з використанням запитів), формулювання умов та обмежень для пошуку об'єктів та їх візуалізації; розгляд місцеположення об'єктів та їхніх атрибутивних характеристик (просторова кореляція). Друга – забезпечується *комплексуванням інформації* та містить агрегування даних; оверлейні операції; генерацію похідних об'єктів та відновлення їх топології, побудову буферних зон; проведення аналізу мереж; зонування; проведення спеціалізованого аналізу (зокрема аналізу растрових зображень), різних видів генералізації, побудову та використання цифрових моделей рельєфу тощо.

Зрозуміло, що більшість перерахованих засобів геоінформаційного аналізу запрограмовані розробниками і виходять за межі розуміння змісту машинного чи глибокого навчання як складових штучного інтелекту. Але в даному випадку можна впевнено говорити про такі засоби як попередньо навчені моделі, що асоціюються з класичним (традиційним) поняттям штучного інтелекту і розвиваються (удосконалюються) у наступних версіях ГІС. Крім того, з появою нових реалізацій ГІС інструменти штучного інтелекту розширюють їхній функціонал, формуючи в такий спосіб окрему гіперсферу генеративного мультимодального штучного інтелекту, яка підлягатиме подальшим дослідженням.

Вбудовані алгоритми машинного навчання у таких продуктах стають придатними для аналізу просторових даних у контексті їх зведення та групування (наприклад, проведення класифікації (перекласифікації), кластеризації з виявленням тенденцій, закономірностей), розрахунку узагальнюючих, комплексних і синтетичних показників розподілу та поширення просторових даних (за допомогою різних видів регресійного, факторного, дисперсійного аналізу тощо), формування рекомендацій та прогнозів.

Перераховані загальні напрями застосування штучного інтелекту при виконанні завдань картографії та геоінформатики логічно узгоджуються з усім різноманіттям існуючих видів і типів картографічних творів (за різними ознаками їх класифікації), які створюються під час виконання як навчальних завдань, так і на виробництві.

Моделі глибокого навчання у ГІС призначені для аналізу різних типів просторових даних через різні елементи (шари), кожен з яких визначає певні властивості та закономірності в аналізованих даних. По суті за допомогою глибокого навчання здійснюється автоматизація найбільш трудомістких процесів. Це насамперед визначає інструменти глибокого навчання як пріоритетну перевагу в застосуванні ГІС-технологій при роботі з просторовими даними.

Аналіз функціональних можливостей ГІС ArcGIS Pro 3.4 [20], а також певний набутий досвід її використання в навчальному процесі підготовки фахівців з картографії та геоінформатики, дав змогу систематизувати інформацію щодо інструментів машинного та глибокого навчання, табл. 1.

Мовні моделі штучного інтелекту сьогодні також дозволяють виконувати задачі у галузі картографії та геоінформатики. Наприклад, найбільш поширений засіб штучного інтелекту, чат GPT, характеризується можливостями, які офіційно не відображені в його документації, але є доволі затребуваними. Основні з них такі:

– встановлення адрес за наданими координатами, візуалізація їх на картографічному зображенні; створення файлів у форматі KML (з англ. Keyhole Markup Language, одна з мов розмітки) для відображення у краудсорсингових картографічних сервісах;

- вирішення проблемних питань при роботі з будь-яким програмним забезпеченням на основі розпізнавання образів; створення формул при роботі з електронними таблицями;
- виконання мультимедійних завдань (створення анімованих зображень зазначеного розміру із заданою частотою зміни кадрів; розкадровка відеофайлів, створення архівів створених похідних файлів, їхнє розархівування; редагування аудіофайлів, конвертування їхніх форматів);
- побудова 2D та 3D графіків і діаграм (блок-діаграм) за будь-яким набором даних;
- написання скриптів для оптимізації певних процесів мовою програмування Python без компетенцій її попереднього застосування; робота з кодами на гіпертекстовій мові;
- розпізнавання текстів, які представлені растровим зображенням; опис растрових зображень за допомогою тексту;
- створення QR-кодів і регулярних виразів (автоматизоване редагування текстів) на основі заданих параметрів.

Зазначені можливості чату GPT дозволяють підтвердити його належність до засобів штучного інтелекту, що володіють мультимодальністю.

Таблиця 1

Характеристика інструментів штучного інтелекту, реалізованих у ArcGIS Pro 3.4

Назва групи інструментів	Назва модуля реалізації	Короткий зміст виконуваних задач
Блок створення просторових даних, проведення запитів для доступу до них		
Класифікація та розпізнавання образів	Image Analyst	Автоматичний аналіз растрових зображень шляхом ідентифікації об'єктів, які мають скінченний набір ознак і властивостей; застосування різних інструментів класифікації растрів; створення навчальних вибірок для подальшого застосування
Глибоке навчання	Image Analyst	Автоматичний аналіз растрових зображень і класифікація пікселів; виявлення змін між двома растровими зображеннями; побудова шару з класифікованими об'єктами; тренування на моделях глибокого навчання
Хмара точок	3D Analyst	Класифікація та перекласифікація точок у хмарі; створення віртуально-реалістичних (тривимірних) моделей території
Аналіз текстів	GeoAI	Мовна обробка текстів; класифікація, перетворення, виділення окремих елементів, які можна використовувати для геокодування
Блок вирішення задач, що базуються на використанні просторових даних		
Пошук та виявлення закономірностей	Просторова статистика, Аналіз просторово-часових закономірностей, Image Analyst	Аналіз кластерів для визначення місць розташування статистично важливих точок ("гарячих", "холодних", просторових викидів, аналогічних об'єктів або ареалів); визначення потенційних причин кластеризації території; 2D та 3D візуалізація просторово-часових даних шляхом аналізу часових рядів, просторово-часових закономірностей у вигляді створення кубу "простору-часу"; багатовимірний аналіз за декількома змінними та вимірами
Картографічне та геоінформаційне моделювання	Просторова статистика, GeoAI, Image Analyst	Побудова матриці просторових ваг; моделювання просторових відношень на основі регресії, максимізації ентропії; аналіз об'єктів та атрибутивних даних у таблицях; багатовимірний аналіз за декількома змінними та вимірами
Просторове прогнозування	Просторова статистика, GeoAI, Image Analyst	Передбачення та оцінка значень у розміщеннях куба "простір-час"; порівняння прогнозних моделей у кожному розташуванні кубу; підтримка навчання та використання різних моделей прогнозування часових рядів; багатовимірний аналіз за декількома змінними та вимірами

Але прийняття остаточних рішень за отриманими результатами інтегрованого застосування інструментів штучного інтелекту при вирішенні прикладних завдань картографії та геоінформатики, які в цілому справляють позитивний вплив, обов'язково має здійснюватись тільки вдумливими фахівцями, які володіють відповідними компетентностями геоінформаційного аналізу та моделювання даних. Картографи та геоінформатики повинні мати глибоке розуміння проблеми, володіти здатністю набувати нових знань, умінь і навичок та прагнути до постійного самовдосконалення.

4.3. Змістове наповнення освітніх програм з картографії та геоінформатики навчальними компонентами, в основі яких лежать системи штучного інтелекту.

Безпосередній двосторонній зв'язок штучного інтелекту з процесами автоматизації картографічних робіт під час навчання і виконання виробничих завдань логічно формує однозначну та впевнену відповідь про необхідність застосування технологій штучного інтелекту та доцільність використання відповідних інструментів у практиці виконання навчальних, дослідницьких і виробничих завдань, а також викладання.

У короткостроковому періоді, на нашу думку, засоби штучного інтелекту не зможуть скласти конкуренцію розумовим здібностям галузевих фахівців. Але, не зважаючи на загрози, які може нести штучний інтелект у середньостроковому чи довгостроковому періодах, роботодавцям, власне як і розробникам освітніх програм з підготовки фахівців з картографії та геоінформатики, слід уже зараз докладати необхідних зусиль для вдосконалення знань і умінь працівників (здобувачів) щодо впевненого володіння ними інструментами штучного інтелекту. Акцент тут може бути спрямований і на розвиток компетентностей розроблення штучного інтелекту, що, своєю чергою, визначить конкурентні переваги таких працівників на ринку.

В освітній програмі [9] розробниками повністю враховано сучасні можливості та найближчі перспективи розвитку сфери картографії та геоінформатики щодо набуття її випускниками належних знань, умінь і навичок застосування програмних продуктів, які містять елементи штучного інтелекту. Аналіз змісту освітніх компонент зазначеної програми дозволив (за їхніми назвами, за робочими навчальними програмами) оцінити сумарний обсяг програмних інструментів, які використовуються при підготовці майбутніх фахівців з картографії та геоінформатики.

Програма [9] складається з 57 освітніх компонент, які містять навчальні дисципліни, курсові проєкти (роботи), практики (практикуми), кваліфікаційну роботу бакалавра. До обов'язкових належить 41 компонент, до вибіркових – 16. Серед 41 обов'язкового компонента штучний інтелект є основою для одержання знань, умінь і навичок здобувачами під час виконання навчальних завдань на 10 компонентах, що складає понад 24% від їхнього обсягу. Для вибіркових навчальних дисциплін і практикумів цей показник становить понад 56 % (для 9 компонент).

Загальне значення відсотка застосування інструментів штучного інтелекту по всіх освітніх компонентах (де завдання безпосередньо пов'язані з використанням засобів штучного інтелекту) знаходиться в межах 33% (розраховане як частка компонент освітньої програми із застосуванням систем штучного інтелекту (19 компонент) від загальної їх кількості на ній (57)). Це в цілому відзначається специфікою усієї програми з підготовки бакалаврів з картографії та геоінформатики, відповідає її високому рівню щодо застосування прикладного програмного забезпечення.

Зрозуміло, що наведені величини є умовними, оскільки не враховують насамперед зміст кожного навчального завдання у тому чи іншому компоненті (у робочих програмах вони не деталізуються), а також можливостей використання штучного інтелекту при виконанні інших завдань (пошук літератури, підготовка до семінарів, генерування

гіпотез, оформлення презентацій, переклад текстів, перевірка правопису різними мовами тощо) і на інших компонентах. Але очевидним є сьогоднішній тренд на розкриття потенціалу застосування систем штучного інтелекту під час виконання фахових завдань і подальшого накопичення компетентностей їх використання.

Деякі приклади застосування інструментів штучного інтелекту при підготовці фахівців з картографії та геоінформатики на освітньо-професійній програмі [9] продемонстровано у табл. 2.

Таблиця 2

Окремі групи фахових завдань з картографії та геоінформатики, у яких використовуються інструменти штучного інтелекту

Назви груп фахових завдань	Види завдань	Інструменти штучного інтелекту	Результат застосування інструментів штучного інтелекту	Приклади компонент освітньої програми, у яких використовуються інструменти штучного інтелекту
Побудова систем картографічних умовних знаків	Удосконалення наявних і розроблення нових умовних знаків для загальногеографічних карт, формування систем картографічних умовних знаків для тематичних карт	Мовні та генеративні моделі	Автоматизація розроблення картографічних умовних знаків та їхніх систем	Фахова комп'ютерна графіка. Проєктування та укладання карт. Цифрова картографія. Тематичні карти (за групами карт)
Систематизація просторових даних та їхній геоінформаційний аналіз	Вирішення завдань, що базуються на використанні просторових даних; обґрунтування параметрів геоінформаційних моделей територій	Мовні моделі	Формування альтернативних шляхів пошуку закономірностей вирішення задач, заснованих на використанні просторових даних	Вступ до геоінформатики. Основи ГІС і баз даних. Системи штучного інтелекту для вирішення завдань у науках про Землю
Геоінформаційне моделювання та картографування	Створення у ГІС картографічних моделей різних видів і типів	У функціоналі ядра ГІС	Оптимізація вибору методів інтерполяції, вибору та побудови шкал кількісних показників	Основи ГІС і баз даних. Основи вебкартографії. Прикладні ГІС (за вибором напряму)
Розпізнавання образів, оброблення великих даних	Автоматичний аналіз растрових зображень шляхом застосування різних інструментів класифікації растрів; класифікація «хмар точок» створення навчальних вибірок для подальшого застосування	У додаткових модулях ГІС; генеративні моделі	Побудова шарів даних з класифікованими об'єктами; проведення тренування моделей глибокого навчання	Цифрове оброблення та дешифрування знімків. Тематична обробка даних ДЗЗ Космічна картографія
Програмування фахових завдань	Програмування на Python; робота з кодами на мові гіперпосилань	Мовні та генеративні моделі	Розширення функціоналу ГІС шляхом оптимізації завдань з оброблення просторових даних	Основи програмування фахово орієнтованих задач. Програмування у ГІС

Викладацька діяльність науково-педагогічних працівників у межах реалізації творчого підходу до своєї роботи з дотриманням академічних стандартів і забезпеченням

принципів доброчесності при застосуванні інструментів штучного інтелекту визначається рядом можливостей, потенціал яких постійно зростає: від запровадження віртуальних навчальних середовищ з початком пандемії Covid-19 у березні 2020 року (наприклад, Google Class, США) до більш сучасних засобів персоніфікованого навчання та автоматизованого оцінювання його результатів на ряді платних платформ (Course Hero, США; Fetchy, США; Socrat, США та ін.).

5. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У результаті проведеного дослідження зроблено висновок щодо підтвердження існуючих важливих рекомендацій і необхідності застосування інструментів штучного інтелекту як програмних засобів, що сприяють більш ефективному виконанню різноманітних прикладних завдань у сучасному інформаційному суспільстві.

В межах проведеного історичного огляду застосування засобів інтелектуалізації під час розв'язування завдань у картографії та геоінформатиці, розпочинаючи з 1950-х років і дотепер, побудовано авторську хронологічну модель еволюції та взаємодії процесів автоматизації картографічних робіт з інструментами штучного інтелекту. Виявлено, що засоби штучного інтелекту протягом майже сімдесятирічного періоду свого розвитку є ядром комп'ютерних технологій, що забезпечують різний ступінь автоматизації картографічних робіт, і вдосконалювались з розвитком науково-технічного прогресу.

Зараз найвищий рівень автоматизації картографічних робіт щодо виконання завдань, які базуються на використанні просторових даних під час навчання / науково-виробничої діяльності, забезпечується різноманітними інструментами штучного інтелекту. Останні мають характеризуватись мультимодальністю, тобто можливістю одночасно працювати з різними типами даних.

На основі аналізу літературних джерел і проведенні прикладних досліджень застосування систем штучного інтелекту, зазначимо, що найбільш перспективними напрямами застосування інструментів штучного інтелекту в картографії та геоінформатиці є посилення ролі глибокого навчання для автоматизації найбільш трудомістких задач і забезпечення більш ефективного оброблення великих даних.

Але прийняття остаточних рішень за отриманими результатами застосування інструментів штучного інтелекту при вирішенні прикладних завдань картографії та геоінформатики обов'язково має здійснюватись тільки вдумливими фахівцями з компетентностями геоінформаційного аналізу та моделювання даних, глибоким розумінням проблеми, здатністю набувати нових знань і постійно вдосконалюватись.

З огляду на подальшу інтеграцію штучного інтелекту в навчальні, наукові, виробничі процеси у картографії та геоінформатиці, у найближчій перспективі такі засоби мають стати невід'ємною частиною інструментарію сучасного галузевого фахівця. Поєднання людської творчості та критичного мислення з обчислювальною потужністю комп'ютерів має створити нові горизонти для співпраці.

Наступні дослідження мають бути спрямовані на моніторинг засобів штучного інтелекту з визначенням найбільш функціональних інструментів в ефективному вирішенні прикладних задач з картографії та геоінформатики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Кабінет Міністрів України (2020, груд. 02). *Розпорядження № 1556-2020-р, Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні.* [Електронний ресурс]. Доступно: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#n8 Дата звернення: Груд. 20, 2024.

[2] Кабінет Міністрів України (2024, квіт. 13). *Розпорядження № 320-2024-р, Про схвалення Концепції Державної цільової науково-технічної програми з використання технологій штучного інтелекту в пріоритетних галузях економіки на період до 2026 року.* [Електронний ресурс]. Доступно: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/320-2024-%D1%80#Text Дата звернення: Груд. 22, 2024.

[3] Верховна Рада України. (2022, груд. 01). *Закон України № 2811-IX, Про авторське право і суміжні права*. [Електронний ресурс]. Доступно: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2811-20#Text Дата звернення: Груд. 24, 2024.

[4] Головне управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України. Державне агентство України з авторських і суміжних прав при Кабінеті Міністрів України. (1997, серп. 28). *Наказ № 85/41, Про затвердження Положення про авторське право в картографії.* [Електронний ресурс]. Доступно: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0422-97#Text Дата звернення: Груд. 24, 2024.

[5] EU, European Parliament and of the Council, "Regulation (EU) № 2024/1689, Artificial Intelligence Act", *Official Journal of the European Union*, L series, 12 jul. 2024. Available: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj Assessed on: Dec. 25, 2024.

[6] А. І. Шевченко, Ред., *Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні*. Київ: ІПШІ, 2023. [Електронний ресурс]. Доступно: https://doi.org/10.15407/development_strategy_2023 Дата звернення: Груд. 26, 2024.

[7] О. Топузов, та С. Алєксєєва, "Можливості використання штучного інтелекту в освітньому процесі закладів середньої освіти в умовах воєнного стану", *Укр. пед. журн.*, № 1, с. 5-11, 2024. doi: 10.32405/2411-1317-2024-1-5-11

[8] Е. Бондаренко, та Т. Дудун, "Модель геоінформаційної підготовки фахівців з картографії у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка", *Інформ. технології та засоби навчання*, т. 101, № 3, с. 108-126, 2024, doi: 10.33407/itlt.v101i3.5627

[9] Освітньо-професійна програма "Картографія, географічні інформаційні системи, дистанційне зондування Землі" на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 103 – Науки про Землю, галузі знань 10 – Природничі науки. [Електронний ресурс]. Доступно: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2023/01/kartografiya_gis_dzz_2022_sajt_.pdf Дата звернення: Груд. 28, 2024.

[10] Y. Kang, S. Gao, and R. E. Roth, "Artificial intelligence studies in cartography: a review and synthesis of methods, applications, and ethics", *Cartogr. Geographic Inf. Sci.*, vol. 51, no. 4, pp. 599-630, 2024. doi: 10.1080/15230406.2023.2295943

[11] L. Harrie, G. Touya, R. Oucheikh, T. Ai, A. Courtial, and K. F. Richter, "Machine learning in cartography", *Cartogr. Geographic Inf. Sci.*, vol. 51, no. 1, pp. 1-19, 2024. doi: 10.1080/15230406.2023.2295948

[12] T. Chen, M. Chen, A.-X. Zhu, and W. Jiang, "A learning-based approach to automatically evaluate the quality of sequential color schemes for maps". *Cartogr. Geographic Inf. Sci.*, vol. 48, no 5, pp. 377-392, 2021. doi: 10.1080/15230406.2021.1936184

[13] B. Jenny, M. Heitzler, D. Singh, M. Farmakis-Serebryakova, J. C. Liu, and L. Hurni, "Cartographic Relief Shading with Neural Networks", *IEEE Trans. Visualization Comput. Graph.*, vol. 27, no. 2, pp. 1225-1235, 2021. doi: 10.1109/TVCG.2020.3030456

[14] Y. Lin, and B. Zhao, "Posthuman Cartography? Rethinking Artificial Intelligence, Cartographic Practices, and Reflexivity", *Ann. Amer. Assoc. Geographers,* vol. 115, no. 1, pp. 1-14, 2025. doi: 10.1080/24694452.2024.2435920

[15] S. J. Russell, and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach,* 4th ed. London: Longman (Pearson Education), 2021.

[16] Е. Л. Бондаренко, *Веб-картографування.* Київ, 2021.

[17] A. Van Ooyen, and B. Nienhuis, "Improving the convergence of the back-propagation algorithm", *Neural Netw.,* vol. 5, no.3, pp. 465-471, 1992. doi: 10.1016/0893-6080(92)90008-7

[18] T. Kohonen, "Essentials of the self-organizing map", *Neural Netw.,* vol. 37, pp. 52-65, 2013. doi: 10.1016/j.neunet.2012.09.018

[19] G. Biswas, M. Oliff, and A. Sen, "An expert decision support system for production control", *Decis. Support Syst.,* vol. 4, no. 2, pp. 235-248, 1988. doi: 10.1016/0167-9236(88)90132-7

[20] ArcGIS Pro. The world's leading desktop GIS software. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview Дата звернення: Груд. 30, 2024.

Матеріал надійшов до редакції 05.02.2025 р.

THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN THE TRAINING OF CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS SPECIALISTS IN UKRAINE

Eduard Bondarenko
DSc in Geographical Sciences, Professor, Professor at the Department of Geodesy and Cartography
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-2295-146X
edbe@ukr.net

Tetiana Dudun
PhD in Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Geodesy and Cartography
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-9960-9793
t.dudun@ukr.net

Abstract. At the current stage of the information society, the effectiveness of solving various applied tasks in cartography and geoinformatics depends on the competencies of specialists capable of using software tools that simulate and replicate human cognitive processes in a computer environment. These tools, based on artificial intelligence, have been at the core of computing technologies for nearly seventy years, driving various levels of automation in cartographic work while continuously evolving with advancements in science and technology. This is illustrated by the chronological model developed by the authors, which outlines the stages of artificial intelligence development, highlights technological shifts in the creation and use of maps, and examines its role in the education of future cartography and geoinformatics specialists.

An analysis of the potential applications of such tools has enabled their classification based on the functionality of applied software, including geographic information systems, image processing and transformation programs (modules), and specialized software products. These tools are identified as artificial intelligence systems, which today must be characterized by multimodality – meaning the ability to process and integrate different types of data, such as graphical, tabular, textual information, and others, simultaneously. It is emphasized that final decision-making based on the integrated application of artificial intelligence in cartography and geoinformatics should be carried out exclusively by specialists with the necessary expertise.

The potential for positive impact of artificial intelligence systems on the training of future specialists in Ukraine's only bachelor's program in "Cartography, Geographic Information Systems, Earth Remote Sensing" at Taras Shevchenko National University of Kyiv is estimated at 33%. This reflects a high level of applied software utilization in the educational process and its role in shaping students' professional competencies.

Keywords: artificial intelligence systems; computer technologies; applied software; automation of cartographic works; educational activities; professional competencies.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

[1] Cabinet of Ministers of Ukraine (2020, Dec. 02). *Order No. 1556-2020-p, On Approval of the Concept of Artificial Intelligence Development in Ukraine.* [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#n8 Accessed on: Dec. 20, 2024. (in Ukrainian)

[2] Cabinet of Ministers of Ukraine (2024, Apr. 13). *Order No. 320-2024-p, On approval of the Concept of the State Targeted Scientific and Technical Program for the Use of Artificial Intelligence Technologies in Priority Sectors of the Economy for the Period Until 2026.* [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/320-2024-%D1%80#Text Accessed on: Dec. 22, 2024. (in Ukrainian)

[3] Verkhovna Rada of Ukraine. (2022, Dec. 01). *Law of Ukraine No. 2811-IX, On Copyright and Related Rights.* [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2811-20#Text Accessed on: Dec. 24, 2024. (in Ukrainian)

[4] Main Department of Geodesy, Cartography and Cadastre under the Cabinet of Ministers of Ukraine. State Agency of Ukraine for Copyright and Related Rights under the Cabinet of Ministers of Ukraine. (1997, Aug. 28). *Order No. 85/41, On Approval of the Regulations on Copyright in Cartography.* [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0422-97#Text Accessed on: Dec. 24, 2024. (in Ukrainian)

[5] EU, European Parliament and of the Council, "Regulation (EU) № 2024/1689, Artificial Intelligence Act", *Official Journal of the European Union*, L series, 12 jul. 2024. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj Accessed on: Dec. 25, 2024. (in English)
[6] A. I. Shevchenko, Ed., *Strategy for the Development of Artificial Intelligence in Ukraine.* Kyiv: IPAI, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.15407/development_strategy_2023 Accessed on: Dec. 26, 2024. (in Ukrainian)
[7] O. Topuzov, and S. Alekseeva, "Possibilities of using artificial intelligence in the educational process of secondary education institutions under martial law", *Ukrainian Pedagogical J.,* no. 1, pp. 5-11, 2024. doi: 10.32405/2411-1317-2024-1-5-11. (in Ukrainian)
[8] E. Bondarenko, and T. Dudun, "Model of geoinformation training of cartography specialists at Taras Shevchenko National University of Kyiv", *Inf. Technol. Learn. Tools*, vol. 101, no. 3, pp. 108-126, 2024, doi: 10.33407/itlt.v101i3.5627. (in Ukrainian)
[9] Educational and professional program "Cartography, geographic information systems, remote sensing of the Earth" for obtaining a bachelor's degree in specialty 103 – Earth Sciences, field of knowledge 10 – Natural Sciences. [Online]. Available: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2023/01/kartografiya_gis_dzz_2022_sajt_.pdf. Accessed on: Dec. 28, 2024. (in Ukrainian)
[10] Y. Kang, S. Gao, and R. E. Roth, "Artificial intelligence studies in cartography: a review and synthesis of methods, applications, and ethics", *Cartogr. Geographic Inf. Sci.*, vol. 51, no. 4, pp. 599-630, 2024. doi: 10.1080/15230406.2023.2295943. (in English)
[11] L. Harrie, G. Touya, R. Oucheikh, T. Ai, A. Courtial, and K. F. Richter, "Machine learning in cartography", *Cartogr. Geographic Inf. Sci.*, vol. 51, no. 1, pp. 1-19, 2024. doi: 10.1080/15230406.2023.2295948. (in English)
[12] T. Chen, M. Chen, A.-X. Zhu, and W. Jiang, "A learning-based approach to automatically evaluate the quality of sequential color schemes for maps". *Cartogr. Geographic Inf. Sci.*, vol. 48, no 5, pp. 377-392, 2021. doi: 10.1080/15230406.2021.1936184. (in English)
[13] B. Jenny, M. Heitzler, D. Singh, M. Farmakis-Serebryakova, J. C. Liu, and L. Hurni, "Cartographic Relief Shading with Neural Networks", *IEEE Trans. Visualization Comput. Graph.*, vol. 27, no. 2, pp. 1225-1235, 2021. doi: 10.1109/TVCG.2020.3030456. (in English)
[14] Y. Lin, and B. Zhao, "Posthuman Cartography? Rethinking Artificial Intelligence, Cartographic Practices, and Reflexivity", *Ann. Amer. Assoc. Geographers,* vol. 115, no. 1, pp. 1-14, 2025. doi: 10.1080/24694452.2024.2435920. (in English)
[15] S. J. Russell, and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach,* 4th ed. London: Longman (Pearson Education), 2021. (in English)
[16] E. L. Bondarenko, *Web-mapping.* Kyiv, 2021. (in Ukrainian)
[17] A. Van Ooyen, and B. Nienhuis, "Improving the convergence of the back-propagation algorithm", *Neural Netw.,* vol. 5, no.3, pp. 465-471, 1992. doi: 10.1016/0893-6080(92)90008-7. (in English)
[18] T. Kohonen, "Essentials of the self-organizing map", *Neural Netw.,* vol. 37, pp. 52-65, 2013. doi: 10.1016/j.neunet.2012.09.018. (in English)
[19] G. Biswas, M. Oliff, and A. Sen, "An expert decision support system for production control", *Decis. Support Syst.,* vol. 4, no. 2, pp. 235-248, 1988. doi: 10.1016/0167-9236(88)90132-7. (in English)
[20] ArcGIS Pro. The world's leading desktop GIS software. [Online]. Available: https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview Accessed on: Dec. 30, 2024. (in English)

(cc) BY-NC-SA

This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.