

SECTION: GEOGRAPHY AND NATURAL SCIENCE

DOI 10.70286/ISU-28.10.2026.012

ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ЕПОХУ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ: ВІД ТРАДИЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ДО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Власенко Руслана

кандидат біологічних наук, доцент

Кафедра екології та географії

Шелепун Юрій

здобувач вищої освіти

освітньої програми «Середня освіти (Географія)»

Природничий факультет

Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Географічна наука впродовж свого історичного розвитку постійно вдосконалювала методи дослідження природних і суспільних процесів, прагнучи забезпечити якомога точніше відображення просторової організації навколишнього світу. Традиційно важливе місце в географічних дослідженнях посідало картографування, яке забезпечувало систематизацію, візуалізацію та інтерпретацію інформації про території [4, 9]. Сучасний етап розвитку географії характеризується активним упровадженням цифрових технологій, що суттєво розширюють можливості отримання, опрацювання, аналізу та представлення геопросторових даних. Цифрова трансформація географічної науки зумовлена розвитком комп'ютерних технологій, супутникових систем, телекомунікаційних мереж, геоінформаційних систем і методів інтелектуального аналізу інформації. Завдяки технологічним інноваціям географічні дослідження поступово переходять від переважно статичного відображення територіальних особливостей до комплексного аналізу динамічних просторових процесів. Цифрові інструменти дають змогу досліджувати закономірності розміщення природних ресурсів, населення, виробничих об'єктів, транспортної інфраструктури та інших компонентів територіальних систем [17]. Особливого значення набуває інтеграція різномірних даних, отриманих із наземних спостережень, картографічних матеріалів, супутникових знімків, безпілотних літальних апаратів і цифрових інформаційних платформ. Застосування сучасних технологій сприяє підвищенню оперативності географічного аналізу та створює передумови для розроблення більш обґрунтованих управлінських рішень. Водночас цифровізація потребує переосмислення методологічних підходів до дослідження територій, перевірки достовірності інформації та визначення меж застосування автоматизованих аналітичних інструментів [9, 12].

Картографування є одним із фундаментальних методів географічного пізнання, оскільки забезпечує графічне відображення просторового розташування об'єктів, явищ і процесів. Історично створення карт ґрунтувалося на польових спостереженнях, геодезичних вимірюваннях, описах територій і систематизації відомостей про природні та суспільні об'єкти [8]. Традиційна картографія сформувала методологічні основи математичного моделювання земної поверхні, визначення координат і використання картографічних проєкцій. Паперові карти тривалий час залишалися основним засобом просторового представлення інформації в географії, землевпорядкуванні, навігації та територіальному плануванні. Їхня наукова цінність полягає в можливості узагальненого відображення територіальних закономірностей і взаємозв'язків між географічними об'єктами. Важливим напрямом традиційного картографування було створення тематичних карт, призначених для відображення окремих характеристик природного середовища або суспільства. До таких карт належать геологічні, ґрунтові, кліматичні, гідрологічні, демографічні, економічні та ландшафтні картографічні матеріали [6]. Тематичне картографування забезпечувало просторове узагальнення результатів досліджень і давало змогу виявляти територіальні відмінності досліджуваних явищ. Водночас створення традиційних карт вимагало значних часових і трудових ресурсів, особливо за необхідності опрацювання великих обсягів первинних вимірювань. Обмежені можливості оперативного оновлення паперових карт ускладнювали відображення швидкоплинних змін природних і соціально-економічних процесів. Поширення комп'ютерної техніки сприяло поступовому переходу від ручного опрацювання картографічної інформації до цифрових методів її зберігання та відтворення. Цифрове картографування дало змогу відокремлювати геометричні характеристики об'єктів від їхніх описових атрибутів і забезпечувати автоматизоване редагування карт [4, 8]. Перехід до цифрових форматів істотно спростив обмін географічною інформацією між науковими установами, органами державного управління та іншими користувачами. Водночас традиційні картографічні принципи зберігають актуальність, оскільки точність, масштаб, система координат, генералізація та умовні позначення залишаються основою коректного створення карт [1, 5, 10].

Тому, сучасне цифрове картографування не заперечує традиційних методів, а розвиває їх на основі автоматизації, інтеграції даних і розширення аналітичних можливостей.

Одним із найважливіших напрямів цифрової трансформації географії є розвиток геоінформаційних систем, які забезпечують збирання, зберігання, опрацювання, аналіз і візуалізацію просторово прив'язаної інформації. Геоінформаційні системи поєднують картографічні зображення з атрибутивними даними, що дає змогу комплексно досліджувати характеристики географічних об'єктів. Основною перевагою геоінформаційних технологій є можливість одночасного аналізу різних тематичних шарів, кожен із яких відображає певний компонент територіальної системи [4, 16]. Наприклад, під час дослідження природних умов певного регіону можна поєднувати інформацію

про рельєф, ґрунти, рослинність, водні об'єкти та кліматичні характеристики. Такий підхід сприяє встановленню просторових взаємозв'язків між природними компонентами й визначенню чинників, які впливають на формування географічних комплексів. У соціально-економічній географії геоінформаційні системи використовуються для аналізу розміщення населення, оцінювання доступності послуг, дослідження транспортних потоків і моделювання розвитку населених пунктів. Застосування геоінформаційних систем у міському плануванні дає змогу виявляти території з недостатньою забезпеченістю соціальною інфраструктурою. У природоохоронній діяльності ці технології використовуються для картографування природно-заповідних територій, моніторингу стану екосистем і визначення зон екологічного ризику [17].

Геоінформаційні системи також відіграють важливу роль у дослідженні землекористування, оскільки забезпечують порівняння просторових даних за різні часові періоди. Аналіз змін земного покриття дозволяє оцінювати масштаби урбанізації, вирубування лісів, деградації земель і трансформації сільськогосподарських угідь. Сучасні геоінформаційні платформи підтримують використання векторних і растрових даних, цифрових моделей рельєфу та різноманітних геопросторових сервісів [2, 7, 16]. Векторна модель забезпечує представлення географічних об'єктів у вигляді точок, ліній і полігонів, тоді як растрова модель відображає територію як сукупність комірок із певними значеннями. Вибір відповідної моделі даних залежить від характеру досліджуваного явища, необхідної просторової роздільної здатності та поставлених дослідницьких завдань. Використання геоінформаційних технологій потребує врахування точності координат, сумісності форматів, повноти атрибутивної інформації та особливостей систем координат [15].

Таким чином, геоінформаційні системи перетворилися на універсальний інструмент сучасної географії, що поєднує картографічне представлення даних із комплексним просторовим аналізом.

Важливим джерелом цифрової географічної інформації є дистанційне зондування Землі, яке передбачає отримання відомостей про поверхню планети без безпосереднього контакту з досліджуваними об'єктами. Основу дистанційного зондування становлять методи реєстрації електромагнітного випромінювання, відбитого або випроміненого земною поверхнею. Дані дистанційного зондування отримують за допомогою супутників, літальних апаратів, безпілотних систем та інших платформ спостереження. Супутникові знімки забезпечують охоплення значних територій і створюють можливості для систематичного спостереження за змінами природного середовища. Особливу цінність становлять багатоспектральні зображення, які містять інформацію про відбивні характеристики об'єктів у різних діапазонах електромагнітного спектра. Аналіз спектральних характеристик дозволяє розрізняти типи рослинності, оцінювати стан посівів, виявляти водні поверхні та досліджувати деякі ознаки деградації земель. Застосування індексів рослинності, зокрема нормалізованого різницевого вегетаційного індексу NDVI, допомагає оцінювати стан рослинного покриття за супутниковими даними [14].

Дистанційне зондування також використовується для вивчення змін температури земної поверхні, просторового розподілу снігового покриву та динаміки водних об'єктів. Регулярне отримання супутникових знімків дає змогу формувати часові ряди спостережень і визначати тенденції зміни досліджуваних географічних явищ. Порівняння зображень, отриманих у різні періоди, забезпечує виявлення територіальних трансформацій, які складно встановити лише за результатами епізодичних польових спостережень [8, 13]. Водночас інтерпретація супутникових даних залежить від просторової, спектральної, радіометричної та часової роздільної здатності зображень. На якість дистанційного зондування можуть впливати хмарність, атмосферні перешкоди, кут знімання, сезонність і характеристики сенсорів. Для підвищення достовірності результатів супутникові спостереження доцільно поєднувати з наземними вимірюваннями та польовою перевіркою. Використання відкритих супутникових архівів, зокрема даних програм Landsat і Copernicus Sentinel, розширює доступ дослідників до інформації про стан земної поверхні. Отже, дистанційне зондування Землі забезпечує географічну науку масштабними масивами просторової інформації, необхідної для моніторингу довкілля та оцінювання територіальних змін [9].

Особливе значення дистанційне зондування Землі має у професійній підготовці майбутніх учителів географії, оскільки сприяє формуванню цифрової, картографічної, дослідницької та геоінформаційної компетентностей. Використання супутникових знімків і платформ оброблення геопросторових даних дає змогу студентам досліджувати зміни земної поверхні, аналізувати природні процеси, оцінювати стан довкілля та встановлювати просторово-часові закономірності географічних явищ [7]. Практична робота з даними Landsat і Copernicus Sentinel розвиває навички пошуку, візуалізації, порівняння та інтерпретації географічної інформації, необхідні для організації сучасного навчання географії. Важливим аспектом є також формування критичного мислення майбутніх педагогів, здатності оцінювати достовірність супутникових даних, урахувати обмеження методів дистанційного зондування та обґрунтовувати висновки на основі різних джерел інформації. Інтеграція технологій дистанційного зондування в освітній процес розширює можливості дослідницького навчання, виконання проєктних завдань і використання реальних географічних даних під час вивчення природних та суспільних процесів. Отже, опанування методів дистанційного зондування Землі є важливим складником професійної підготовки майбутніх учителів географії, що забезпечує їхню готовність до впровадження цифрових технологій, розвитку географічної грамотності учнів і реалізації компетентнісного підходу в сучасній школі [2, 11].

Розвиток супутникових навігаційних технологій суттєво підвищив точність визначення місцеположення географічних об'єктів і проведення польових досліджень. Глобальні навігаційні супутникові системи, зокрема GPS, Galileo та інші сумісні системи, забезпечують визначення координат і часу за сигналами супутників. У географічних дослідженнях навігаційні технології застосовуються для геодезичних вимірювань, маршрутних обстежень, картографування

природних об'єктів і фіксації результатів польових спостережень. Використання GNSS-приймачів дозволяє створювати просторово прив'язані бази даних і забезпечувати відтворюваність дослідницьких маршрутів. Точність позиціонування залежить від характеристик обладнання, кількості доступних супутників, умов приймання сигналу та застосованого методу оброблення вимірювань [6].

Окремим напрямом технологічного розвитку стало використання безпілотних літальних апаратів для отримання детальних зображень земної поверхні. Безпілотні системи дають змогу досліджувати локальні території з високою просторовою деталізацією та оперативно оновлювати картографічну інформацію. На основі аерофотознімання та методів фотограмметрії створюють ортофотоплани, тривимірні моделі місцевості й цифрові моделі поверхні. Цифрові моделі рельєфу використовуються для аналізу висотних характеристик, крутизни схилів, експозиції та напрямків поверхневого стоку. Такі моделі мають значення для геоморфологічних досліджень, прогнозування ерозійних процесів і планування інженерної інфраструктури. Поєднання супутникових знімків, GNSS-вимірювань і даних безпілотного знімання дає змогу підвищувати повноту просторового опису територій [5, 13].

Тривимірне моделювання розширює традиційні можливості картографування, забезпечуючи відображення вертикальної структури природних і антропогенних об'єктів. Застосування тривимірних моделей особливо актуальне для дослідження міського середовища, гірських територій і складних інженерно-географічних систем. Водночас використання безпілотних технологій передбачає дотримання вимог безпеки, законодавчих обмежень і правил захисту персональних даних [8].

Отже, навігаційні системи, безпілотні апарати та цифрові моделі територій формують технологічну основу високодеталізованих географічних досліджень.

Однією з характерних ознак сучасного етапу розвитку географії є стрімке збільшення обсягів геопросторових даних, що надходять із різноманітних джерел. До таких джерел належать супутникові системи спостереження, сенсорні мережі, мобільні пристрої, транспортні системи, соціальні платформи та державні інформаційні ресурси. Великі геопросторові дані характеризуються значними обсягами, різноманітністю форматів, високою швидкістю надходження та неоднаковим рівнем достовірності [4, 12]. Їхнє використання створює передумови для дослідження просторових закономірностей, які неможливо повноцінно встановити на основі невеликих вибірок. Аналіз мобільності населення, наприклад, може сприяти виявленню регулярних маршрутів переміщення та оцінюванню транспортної доступності окремих територій. Дані сенсорних мереж дають змогу здійснювати безперервний моніторинг окремих параметрів довкілля, зокрема температури, вологості та якості повітря [9].

Водночас використання таких відомостей потребує врахування просторової нерівномірності спостережень і можливих похибок вимірювання. Хмарні обчислення забезпечують оброблення значних масивів інформації без

необхідності зберігати всі дані на локальних комп'ютерах дослідників. Хмарні геопросторові платформи дають змогу виконувати складні обчислення, аналізувати багаторічні супутникові архіви та створювати тематичні карти. Прикладом такого підходу є використання Google Earth Engine для аналізу супутникових даних і дослідження масштабних змін земного покриття. Застосування хмарних технологій сприяє скороченню часу оброблення даних і розширює можливості співпраці між дослідниками з різних установ. Важливою умовою ефективного використання великих даних є стандартизація форматів, узгодження систем координат і документування процедур оброблення. Не менш значущими є питання доступності обчислювальних ресурсів, інформаційної безпеки та захисту даних, що містять відомості про приватне життя людей [6, 17].

Географічний аналіз великих даних також потребує критичного оцінювання репрезентативності джерел, оскільки цифрові сліди населення не завжди відображають усі соціальні групи однаковою мірою. Таким чином, великі геопросторові дані та хмарні обчислення створюють нові можливості для масштабного й оперативного дослідження просторових процесів [8].

Найновішим етапом технологічної трансформації географії є активне впровадження методів штучного інтелекту для автоматизованого аналізу просторових даних. Штучний інтелект охоплює сукупність методів і технологій, які дають змогу комп'ютерним системам виконувати завдання, що потребують розпізнавання закономірностей, прогнозування та інтерпретації інформації. Особливе значення для географії мають машинне навчання, глибинне навчання, комп'ютерний зір і методи оброблення природної мови. Машинне навчання передбачає побудову моделей, які виявляють закономірності в даних і використовують їх для класифікації, оцінювання або прогнозування. У географічних дослідженнях такі моделі застосовуються для класифікації земного покриття, прогнозування змін ландшафтів і визначення просторового розподілу природних явищ. Алгоритми комп'ютерного зору дають змогу автоматично розпізнавати об'єкти на супутникових знімках і аерофотографіях. Наприклад, відповідні моделі можуть використовуватися для виявлення будівель, автомобільних доріг, водойм, лісових масивів і сільськогосподарських угідь [2, 10, 17].

Автоматизована класифікація супутникових зображень зменшує обсяг ручної роботи та дає змогу опрацьовувати великі території за єдиною методикою. Методи глибинного навчання особливо корисні для аналізу складних зображень, у яких характеристики об'єктів важко формалізувати традиційними алгоритмами. Застосування нейронних мереж може підвищувати ефективність сегментації зображень, виявлення просторових об'єктів і визначення характеру землекористування. Водночас точність автоматизованої класифікації залежить від якості навчальних даних, репрезентативності вибірки та відповідності моделі умовам досліджуваної території. Моделі, навчені на даних одного географічного регіону, не обов'язково забезпечують аналогічну точність під час застосування в іншому регіоні. Тому оцінювання якості алгоритмів має передбачати незалежну перевірку результатів і використання відповідних кількісних показників точності [12].

У просторовому прогнозуванні штучний інтелект застосовується для оцінювання ймовірності виникнення окремих природних небезпек за сукупністю географічних чинників. Зокрема, моделі машинного навчання можуть допомагати визначати потенційно вразливі території з урахуванням рельєфу, опадів, характеристик ґрунту та історичних даних про небезпечні явища. Такі прогнози є інструментом підтримки прийняття рішень, проте не замінюють професійного оцінювання та спеціалізованих систем попередження про небезпеку [17].

Штучний інтелект також може використовуватися для аналізу текстових описів географічних об'єктів, наукових публікацій і великих масивів документованих спостережень. Мовні моделі здатні допомагати дослідникам систематизувати наукові відомості, формувати попередні класифікації та створювати описи результатів геопросторового аналізу. Проте результати, згенеровані такими моделями, потребують перевірки, оскільки автоматизовані системи можуть створювати неточні твердження або неправильно інтерпретувати вихідні дані. Отже, штучний інтелект розширює методологічний інструментарій географічної науки, однак його ефективність залежить від якості даних, обґрунтованості моделей і компетентності дослідника [13].

Сучасний розвиток географії засвідчує, що традиційне картографування, геоінформаційні системи та штучний інтелект доцільно розглядати як взаємодоповнювальні складові єдиного дослідницького процесу. Традиційна картографія забезпечує теоретичні принципи просторового відображення інформації, а цифрові технології розширюють можливості її опрацювання та аналізу. Геоінформаційні системи створюють середовище для інтеграції картографічних матеріалів, супутникових зображень, статистичних показників і результатів автоматизованої класифікації. Штучний інтелект, своєю чергою, допомагає виявляти складні закономірності у великих масивах географічної інформації та формувати прогнозні моделі [9]. Інтегрований підхід дозволяє здійснювати послідовний перехід від збирання первинних даних до побудови аналітичних карт і наукової інтерпретації результатів. Важливою умовою такого переходу є збереження прозорості дослідницьких процедур і можливості перевірки отриманих результатів. Географічні карти, створені із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту, повинні містити зрозумілі легенди, зазначення джерел даних і пояснення використаних методів. У випадках просторового прогнозування доцільно також відображати невизначеність результатів і можливі межі застосування побудованих моделей. Застосування інтелектуальних технологій не усуває потреби в картографічній генералізації, оскільки рівень деталізації зображення має відповідати масштабу та меті дослідження. Неправильно обрані способи візуалізації можуть спотворювати сприйняття просторових закономірностей навіть за умови математично коректних розрахунків [2, 7].

Тому сучасний географ повинен володіти не лише цифровими інструментами, а й фундаментальними знаннями з картографії, статистики, геоінформатики та методології наукових досліджень. Міждисциплінарна

співпраця географів, програмістів, фахівців із дистанційного зондування та аналітиків даних сприяє розробленню комплексних моделей територіальних систем. Така співпраця особливо важлива під час дослідження проблем, які поєднують природні, економічні, демографічні та інфраструктурні чинники. Поєднання експертних знань і автоматизованого аналізу забезпечує можливість критичного оцінювання результатів та зменшення ризику помилкових висновків.

Отже, інтеграція традиційної картографії, геоінформаційних систем і штучного інтелекту формує нову модель географічного пізнання, орієнтовану на комплексний аналіз простору.

Для України цифровізація географічних досліджень має особливе значення у сфері управління природними ресурсами, просторового планування, екологічного моніторингу та відновлення територій. Застосування геоінформаційних технологій дає змогу систематизувати відомості про земельні ресурси, водні об'єкти, лісові масиви та інфраструктурні мережі. Аналіз супутникових даних може сприяти оцінюванню змін земного покриву, виявленню порушених земель і моніторингу трансформації сільськогосподарських угідь [16].

У контексті воєнних дій дистанційне зондування Землі та геопросторовий аналіз можуть використовуватися для оцінювання пошкоджень інфраструктури й визначення масштабів змін ландшафтів. Такі дослідження мають здійснюватися з урахуванням безпекових обмежень і недопущення поширення інформації, яка може створювати додаткові ризики для населення. Післявоєнне відновлення територій потребуватиме комплексної оцінки стану природного середовища, житлового фонду, транспортної мережі та соціальної інфраструктури. Геоінформаційне моделювання може допомогти визначати пріоритетність відновлювальних заходів з урахуванням просторового розподілу потреб і доступності ресурсів. Штучний інтелект може використовуватися для автоматизованого аналізу зображень пошкоджених територій, якщо наявні дані достатньої якості та результати перевіряються фахівцями. У природоохоронній сфері цифрові методи можуть сприяти виявленню осередків деградації екосистем, оцінюванню змін лісового покриву та моніторингу водних ресурсів [2, 17].

У сільському господарстві поєднання супутникових знімків, метеорологічної інформації та моделей машинного навчання створює передумови для розвитку точного землеробства. Використання таких інструментів дає змогу оцінювати неоднорідність стану посівів, виявляти ділянки з ознаками стресу рослин і планувати диференційоване застосування ресурсів. У містах геопросторовий аналіз може застосовуватися для дослідження транспортної доступності, розподілу зелених зон і планування соціально значущих об'єктів. Цифрові карти та геоінформаційні портали також сприяють підвищенню доступності суспільно важливої інформації для громад, дослідників і органів місцевого самоврядування. Ефективність упровадження цифрових технологій залежить від сумісності інформаційних систем, актуальності даних, належного фінансування та підготовки кваліфікованих фахівців [7].

Саме тому, цифрові географічні дослідження можуть стати важливим інструментом наукового обґрунтування рішень щодо сталого розвитку, екологічної безпеки та відновлення України.

Незважаючи на значні переваги цифровізації, використання сучасних технологій у географії супроводжується низкою методологічних, технічних, етичних та організаційних проблем. Однією з основних проблем є нерівномірна якість геопросторових даних, що може впливати на точність картографічних матеріалів і достовірність аналітичних висновків. Іншою проблемою є обмежена доступність високоякісних даних для окремих територій, особливо в умовах кризових ситуацій або недостатнього фінансування досліджень. Використання автоматизованих моделей без належної перевірки може призводити до систематичних помилок, хибної класифікації об'єктів і некоректного прогнозування просторових процесів [11, 14].

Додатковим ризиком є залежність результатів штучного інтелекту від характеристик навчальних вибірок, які можуть недостатньо відображати географічну різноманітність досліджуваних територій. Для зменшення таких ризиків необхідно забезпечувати документування джерел інформації, перевірку якості даних і незалежне оцінювання точності моделей. Важливим напрямом удосконалення методології є розвиток відтворюваних досліджень, у межах яких інші фахівці можуть перевірити послідовність виконаних операцій і логіку отриманих висновків. Застосування відкритого програмного забезпечення та відкритих стандартів може сприяти прозорості геопросторового аналізу й розширенню співпраці між науковими установами. Водночас використання відкритих даних повинно супроводжуватися дотриманням ліцензійних умов, правил захисту персональної інформації та вимог інформаційної безпеки. Перспективним напрямом розвитку є створення цифрових двійників територій, які поєднуюватимуть геопросторові дані, тривимірні моделі та результати комп'ютерного моделювання. Такі системи можуть забезпечувати сценарне оцінювання наслідків територіальних змін і підтримувати планування інфраструктурного розвитку [4, 10, 17].

Подальший розвиток географічних досліджень також пов'язаний із використанням автоматизованих систем моніторингу, інтеграцією даних у реальному часі та вдосконаленням прогнозних моделей. Водночас технологічний прогрес повинен супроводжуватися підвищенням цифрової компетентності географів і формуванням навичок критичного оцінювання результатів автоматизованого аналізу. Перспективи географічної науки визначатимуться здатністю поєднувати фундаментальні знання про просторову організацію світу з можливостями цифрового моделювання та інтелектуального опрацювання інформації [17].

Перехід від традиційного картографування до використання штучного інтелекту є закономірним етапом розвитку географічних досліджень, який розширює можливості наукового пізнання та сприяє вдосконаленню методів просторового аналізу. Цифрові технології забезпечують інтеграцію різнорідних геопросторових даних, автоматизацію картографічних процесів і підвищення

оперативності дослідження природних та суспільних явищ. Геоінформаційні системи, дистанційне зондування Землі, супутникова навігація, хмарні обчислення та алгоритми машинного навчання створюють передумови для комплексного аналізу територіальних систем. Застосування штучного інтелекту дає змогу автоматизувати класифікацію супутникових зображень, виявляти просторові закономірності та формувати прогнозні моделі, однак результати такого аналізу потребують незалежної перевірки й критичного осмислення [13].

Практична значущість цифрової географії проявляється в управлінні природними ресурсами, екологічному моніторингу, просторовому плануванні, розвитку сільського господарства та відновленні територій України. Водночас ефективність цифрової трансформації залежить від якості вихідних даних, методологічної обґрунтованості, прозорості дослідницьких процедур і дотримання етичних принципів використання інформації. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розвитком цифрових двійників територій, удосконаленням моделей просторового прогнозування та інтеграцією інтелектуальних технологій у географічний моніторинг [4, 8, 14].

Таким чином, найбільш перспективною моделлю розвитку сучасної географічної науки є поєднання фундаментальних картографічних принципів, цифрових інструментів і можливостей штучного інтелекту за провідної ролі наукової методології та професійної інтерпретації результатів.

Список використаних джерел

1. Власенко Р. П., Андрійчук Т. В. Обґрунтування ефективності використання цифрових платформ у формуванні ландшафтно-біогеографічної компетентності майбутніх учителів географії (на прикладі Житомирського державного університету імені Івана Франка). *Наука і техніка сьогодні*. 2026. № 57. С. 836–849. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-3\(57\)-836-849](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-3(57)-836-849)
2. Власенко Р. П., Андрійчук Т. В. Формування картографічної компетентності вчителів географії в умовах цифровізації освіти та Нової української школи. *Вісник науки та освіти*. 2026. № 46. С. 3072–3084. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2026-4\(46\)-3072-3084](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2026-4(46)-3072-3084)
3. Кравцова І. В. Садово-паркові ландшафти в структурі ландшафтно-технічних систем Середнього Надбужжя. *Landscape Science*. 2023. № 4(2). С. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-68-78>
4. Кравцова І. В., Огілько С. П. Роль штучного інтелекту в географічних дослідженнях: аналіз та візуалізація проєктованих садово-паркових ландшафтів. *Landscape Science*. 2025. № 7(1). С. 19–33. DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2025-7-19-33>
5. Buarque B. S. B., Davies R. B., Hynes R. M., Kogler D. F. OK Computer: the creation and integration of AI in Europe. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. 2020. Vol. 13, No. 1. P. 175–192. DOI: <https://doi.org/10.1093/cjres/rsz023>
6. Chang C.-H., Kidman G. The rise of generative artificial intelligence (AI) language models – challenges and opportunities for geographical and environmental

- education. *International Research in Geographical and Environmental Education*. 2024. Vol. 33, No. 2. P. 85–89. DOI: <https://doi.org/10.1080/10382046.2023.2194036>
7. Day T., Esson J. Visualising an undergraduate geography field class using generative AI: Intent, expectations and surprises about the racial depiction of students. *Area*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1111/area.12996>
8. Day T., Esson J. Empowering Canadian Geography Students and Faculty: New Approaches to Curriculum and Course Material Development Using Generative AI as a Writing Assistant. In: *Powerful Geography*. Springer, 2024. P. 85–106. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-54845-1_5
9. Jiang Z., Yu J., Jin Y., Ginn A., Chen J., Sun G. When artificial intelligence comes to the Chinese calligraphic landscape: The coming transformation. *Geography Compass*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/gec3.12670>
10. Kravtsova I. V., Sytnyk O. I., Nikolaievskyi V. P., Denysyk B. G. Anthropogenic transformation of the physical surface of the Hayvoron region on the example of the Zavalivsk graphite deposit. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. European Association of Geoscientists & Engineers, 2022. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580164>
11. Kravtsova I., Sytnyk O., Nikolaievskyi V., Denysik B. The Hayvoron Migmatite Deposit as a Constructively Organized Landscape-Technical System in the Conditions of the Interzonal «Forest Steppe-Steppe» Geocotone of the Right Bank of Ukraine. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. European Association of Geoscientists & Engineers, 2023. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520201>
12. Lee J. Beyond Geospatial Inquiry—How Can We Integrate the Latest Technological Advances into Geography Education? *Education Sciences*. 2023. Vol. 13, No. 11. Article 1128. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci13111128>
13. Lundman R., Nordström P. Creative geographies in the age of AI: Co-creative spatiality and the emerging techno-material relations between artists and artificial intelligence. *Transactions of the Institute of British Geographers*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/tran.12608>
14. Rakuasa H. Integration of Artificial Intelligence in Geography Learning: Challenges and Opportunities. *Education*. 2023. Vol. 1, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.61194/education.v1i2.71>
15. Torres G. A. L., Hyslop K. Chat GPT e Geografia: Novos Paradigmas para a ciência = Chat GPT et la géographie : de nouveaux paradigmes pour la science = Chat GPT and Geography: New Paradigms for Science. *Confins*. 2023. N.º 60. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.53189>
16. Walker M., Winders J., Boamah E. F. Locating artificial intelligence: a research agenda. *Teaching in Higher Education*. 2021. P. 202–219. DOI: <https://doi.org/10.1080/13562576.2021.1985868>
17. Wilby R. L., Esson J. AI literacy in geographic education and research: Capabilities, caveats, and criticality. *The Geographical Journal*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/geoj.12548>