Секція Освіта/Педагогіка	
УДК 37.091.3:004.9:528.9	
DOI	
Дата першого надходження статті до видання	02.04.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування	16.05.2026
Дата публікації/оприлюднення	30.05.2026

Методика викладання STEM-дисциплін із використанням геоінформаційних технологій

Кланічка Юрій Володимирович
кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ, Україна
e-mail: yurii.klanichka@cnu.edu.ua
https://orcid.org/0000-0002-8419-3211

Сливка Роман Радославович
кандидат географічних наук, доцент,
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ, Україна
e-mail: roman.slyvka@cnu.edu.ua
https://orcid.org/0000-0002-6657-3667

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена активною цифровізацією освітнього середовища, розвитком технологій просторового аналізу та необхідністю підвищення ефективності практикоорієнтованого STEM-навчання в умовах сучасної цифрової трансформації освіти. Встановлено, що геоінформаційні технології поступово перетворюються на важливий інструмент інтеграції цифрового моделювання, просторової аналітики та дослідницької діяльності у процес викладання STEM-дисциплін. Їх використання сприяє розвитку просторового мислення, цифрових компетентностей, навичок роботи з геопросторовими даними та міждисциплінарного аналізу. Водночас виявлено низку науково-методичних, технологічних і організаційних проблем, пов’язаних із фрагментарністю впровадження GIS-технологій у STEM-освіту, недостатнім рівнем цифрової підготовки педагогів і нерівномірним технічним забезпеченням закладів освіти.

Метою статті визначено обґрунтування методичних підходів до інтеграції геоінформаційних технологій у процес викладання STEM-дисциплін в умовах цифровізації сучасного освітнього середовища. У процесі дослідження використано загальнонаукові та спеціальні методи, зокрема методи аналізу, узагальнення, систематизації, порівняння та наукової інтерпретації сучасних педагогічних підходів до використання GIS-технологій у STEM-освіті.

Досліджено педагогічний потенціал геоінформаційних технологій у розвитку аналітичного мислення, дослідницьких умінь і цифрової грамотності здобувачів освіти. Проаналізовано вплив GIS-платформ на формування навичок просторового моделювання, роботи з багаторівневими даними та практичного розв’язання

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

прикладних STEM-завдань. Обґрунтовано доцільність використання проєктно-орієнтованого, міждисциплінарного, проблемно-аналітичного та цифрово-моделювального підходів у процесі інтеграції геоінформаційних технологій у STEM-дисципліни. Доведено, що використання цифрових картографічних платформ і хмарних GIS-сервісів сприяє підвищенню практичної спрямованості навчання та активізації дослідницької діяльності здобувачів освіти.

У висновках встановлено, що ефективність використання геоінформаційних технологій у STEM-освіті залежить від системності їх інтеграції у зміст навчальних дисциплін, рівня методичної підготовки педагогів і доступності сучасної цифрової інфраструктури. Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язувати з розробленням адаптивних моделей STEM-навчання, удосконаленням методик оцінювання просторово-аналітичних компетентностей та інтеграцією GIS-технологій із системами штучного інтелекту й аналізу великих даних.

Ключові слова: цифровізація освіти, просторовий аналіз, GIS-платформи, геопросторові дані, цифрове моделювання, проєктне навчання, міждисциплінарна інтеграція, просторове мислення, цифрові компетентності, хмарні геосервіси.

Methods of teaching STEM disciplines using geoinformation technologies

Yurii Klanichka
PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor,
Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine
e-mail: yurii.klanichka@cnu.edu.ua
https://orcid.org/0000-0002-8419-3211

Roman Slyvka
PhD in Geography, Associate Professor,
Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine
e-mail: roman.slyvka@cnu.edu.ua
https://orcid.org/0000-0002-6657-3667

Abstract. The relevance of the study is determined by the active digitalization of the educational environment, the development of spatial analysis technologies, and the necessity to improve the effectiveness of practice-oriented STEM education under conditions of contemporary digital transformation. It has been established that geoinformation technologies are gradually becoming an important tool for integrating digital modeling, spatial analytics, and research activity into the process of teaching STEM disciplines. Their implementation contributes to the development of spatial thinking, digital competencies, skills of working with geospatial data, and interdisciplinary analysis. At the same time, a range of scientific-methodological, technological, and organizational problems related to the fragmented implementation of GIS technologies in STEM education, insufficient digital readiness of teachers, and unequal technical support of educational institutions has been identified.

The purpose of the article is to substantiate methodological approaches to the integration of geoinformation technologies into the process of teaching STEM disciplines in the context of

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

the digitalization of the modern educational environment. General scientific and specialized research methods were applied in the study, including methods of analysis, generalization, systematization, comparison, and scientific interpretation of contemporary pedagogical approaches to the use of GIS technologies in STEM education.

The pedagogical potential of geoinformation technologies in the development of analytical thinking, research skills, and digital literacy of students has been investigated. The influence of GIS platforms on the formation of spatial modeling skills, work with multilayer data, and practical solving of applied STEM tasks has been analyzed. The expediency of applying project-oriented, interdisciplinary, problem-analytical, and digital-modeling approaches in the integration of geoinformation technologies into STEM disciplines has been substantiated. It has been proven that the use of digital cartographic platforms and cloud-based GIS services contributes to increasing the practical orientation of learning and intensifying students' research activity.

The conclusions establish that the effectiveness of using geoinformation technologies in STEM education depends on the systematic nature of their integration into the content of academic disciplines, the level of teachers' methodological readiness, and the availability of modern digital infrastructure. Prospects for further research should be associated with the development of adaptive STEM learning models, the improvement of methods for assessing spatial-analytical competencies, and the integration of GIS technologies with artificial intelligence systems and big data analytics.

Keywords: digitalization of education, spatial analysis, GIS platforms, geospatial data, digital modeling, project-based learning, interdisciplinary integration, spatial thinking, digital competencies, cloud geoservices.

Вступ

Актуальність проблеми. Стрімка цифровізація освітнього середовища, розвиток технологій просторового аналізу та зростання потреби у формуванні практично орієнтованих компетентностей зумовлюють необхідність оновлення підходів до викладання дисциплін природничо-математичного та технологічного циклу. У сучасних умовах особливого значення набуває інтеграція STEM-освіти (Science, Technology, Engineering and Mathematics, STEM) із геоінформаційними технологіями, оскільки такий підхід забезпечує поєднання аналітичного, візуального та дослідницького компонентів навчання. Використання геоінформаційних систем у процесі викладання STEM-дисциплін сприяє не лише підвищенню рівня засвоєння теоретичного матеріалу, а й розвитку просторового мислення, навичок роботи з даними, моделювання та міждисциплінарного аналізу.

Актуальність дослідження посилюється потребою адаптації освітнього процесу до вимог цифрової економіки та ринку праці, де зростає попит на фахівців, здатних працювати з геопросторовими даними, цифровими картографічними платформами та інструментами візуалізації інформації. Геоінформаційні технології відкривають можливості для практичного застосування математичних, природничих і технологічних знань у реальних ситуаціях, що підвищує мотивацію здобувачів освіти та формує дослідницький тип мислення. Водночас у сучасній педагогічній практиці залишаються недостатньо обґрунтованими методичні підходи до комплексного використання

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

геоінформаційних технологій у викладанні STEM-дисциплін, що актуалізує потребу у подальших наукових дослідженнях у цьому напрямі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд сучасних досліджень свідчить, що методика викладання STEM-дисциплін із використанням геоінформаційних технологій формується на перетині цифрової педагогіки, просторового мислення, дистанційного зондування Землі, дослідницького навчання та підготовки педагогів до роботи з інноваційними інструментами. К. І. Новік та співавтори розглядають інноваційні освітні технології як чинник підвищення ефективності вивчення іноземних мов у закладах вищої освіти України, що важливо для загального розуміння цифровізації освітнього процесу та методичного оновлення навчальних практик [1]. У подальших дослідженнях К. Новік (K. Novik) акцентує увагу на впливі штучного інтелекту (ШІ) на методи викладання й ефективність підготовки викладачів в онлайн-освіті, підкреслюючи значення адаптивних цифрових інструментів для персоналізації навчання [2]. С. С. Кочергіна та співавтори аналізують трансформацію викладацької діяльності в умовах інтеграції інструментів ШІ в освітній процес закладів вищої освіти, що дає підстави розглядати педагогічну роль викладача не лише як транслятора знань, а як модератора цифрового, аналітичного й дослідницького середовища [3]. Є. В. Тягнирядно та співавтори порівнюють моделі дистанційної освіти в європейських та українських університетах, виявляючи організаційні й технологічні підходи, релевантні для впровадження геоінформаційних систем (Geographic Information Systems, GIS) у змішане та дистанційне навчання [4].

Безпосередньо проблематику GIS у STEM-освіті розкрито у працях, присвячених геоінформаційному моделюванню, дистанційному зондуванню Землі та розвитку дослідницьких компетентностей здобувачів освіти. О. Є. Стрижак та співавтори обґрунтовують геоінформаційне моделювання як інструмент міждисциплінарної інтеграції у STEM-освіті, наголошуючи на його здатності поєднувати природничі, технологічні, інженерні й математичні знання в єдиному електронному середовищі підтримки обдарованої молоді [5]. С. М. Бабійчук та О. В. Томченко розглядають спеціалізовані курси з основ дистанційного зондування Землі для освітян системи Малої академії наук України, доводячи важливість цільової підготовки педагогів до використання супутникових даних у навчальній і дослідницькій діяльності [6]. С. О. Довгий та співавтори узагальнюють досвід використання даних спостереження Землі у курсах перепідготовки педагогів, що підтверджує практичну доцільність залучення реальних геопросторових даних до STEM-навчання [7]. С. М. Бабійчук та співавтори розширюють цей підхід, акцентуючи на потенціалі GIS і технологій дистанційного зондування для розвитку дослідницької компетентності майбутніх педагогів, зокрема через опрацювання просторових даних, побудову картографічних моделей і виконання прикладних освітніх проєктів [8].

Значний внесок у розуміння педагогічної ефективності GIS зроблено в англомовних дослідженнях, де основна увага зосереджена на просторовому мисленні, агентності вчителя та організації гео-STEM-середовищ. Дж. Гікман (J. Hickman) аналізує розвиток і оцінювання просторових компетентностей студентів у процесі роботи з GIS, доводячи, що геоінформаційні інструменти сприяють не лише засвоєнню географічних знань, а й формуванню аналітичного мислення, здатності до інтерпретації просторових

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

зв'язків і роботи з багаторівневими даними [9]. С. Браун (S. Brown) розкриває роль педагогічної агентності вчителя у використанні GIS для викладання географії, підкреслюючи, що результативність технології залежить не тільки від наявності програмного забезпечення, а й від готовності педагога самостійно проєктувати навчальні ситуації, добирати дані та керувати дослідницькою активністю учнів [10]. К. Л. Б. Меннінг (C. L. B. Manning) та Н. Д. ЛаДью (N. D. LaDue) пропонують концепцію geo-STEM learning ecosystems як трансдисциплінарну рамку залучення спільнот до геонаук, що важливо для розуміння STEM-освіти як відкритої системи взаємодії школи, університету, наукових установ і локальних громад [11]. Ф. Б. Любіштани (F. B. Lubishtani) та М. Любіштани (M. Lubishtani) аналізують інноваційні педагогічні підходи до викладання геодезії та її інтеграції у STEM-курикулум, доводячи значення вимірювальних, картографічних і просторово-аналітичних завдань для формування прикладних інженерно-технологічних умінь [12].

Окремий блок досліджень стосується підготовки педагогів до використання дистанційного зондування, кліматичних даних, доповненої реальності та цифрових картографічних платформ. К. Шульман (K. Schulman) та співавтори аналізують проєкт YCHANGE, спрямований на навчання вчителів використанню дистанційного зондування, акцентуючи на необхідності методичного супроводу, практичних сценаріїв і доступних цифрових ресурсів для шкільної освіти [13]. П. Асімакопулу (P. Asimakopoulou) та співавтори розглядають спостереження Землі як засіб фасилітації освіти з питань зміни клімату, показуючи, що супутникові дані дають змогу пов'язати STEM-зміст із реальними екологічними процесами та підвищити проблемно-дослідницький характер навчання [14]. К. Лінднер (C. Lindner) та співавтори обґрунтовують використання мобільного застосунку й навчальної концепції для інтеграції гіперспектральних даних дистанційного зондування в шкільні заняття із застосуванням доповненої реальності (Augmented Reality, AR), що розширює можливості візуалізації складних природничих явищ [15]. М. Дуан (M. Duan) досліджує інтеграцію story maps у кейс-орієнтоване викладання географії, доводячи ефективність поєднання картографічної візуалізації, наративу й аналізу конкретних ситуацій для розвитку просторового мислення та навчальної мотивації [16]. П. Найс (P. Neis) та співавтори демонструють потенціал інноваційних методів навчання GIScience на прикладі crime mapping, де просторовий аналіз реальних подій використовується як інструмент прикладного навчання, моделювання та інтерпретації геоданих [17]. Й. Семінар (Y. Seminar) та співавтори здійснюють систематичний огляд географічної освіти студентів через STEM-технології, узагальнюючи сучасні підходи до інтеграції цифрових, просторових і дослідницьких інструментів у навчальний процес [18].

Виділення невирішеної частини проблеми. Попри активне впровадження геоінформаційних технологій у STEM-освіту, недостатньо дослідженими залишаються педагогічні механізми їх комплексного використання у процесі формування просторово-аналітичного мислення та практикоорієнтованих цифрових компетентностей здобувачів освіти. Обмежено висвітлено й проблеми адаптації сучасних GIS-технологій до міждисциплінарного навчального середовища та реальних освітніх практик.

Недостатня методична розробленість цих аспектів знижує ефективність інтеграції геоінформаційних технологій у STEM-дисципліни та ускладнює реалізацію

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

дослідницько-аналітичної моделі навчання. Це актуалізує потребу у науковому обґрунтуванні методичних підходів до використання GIS-технологій у сучасному цифровому освітньому середовищі.

Мета статті. Мета статті полягає в обґрунтуванні методичних підходів до викладання STEM-дисциплін із використанням геоінформаційних технологій в умовах цифровізації сучасного освітнього середовища.

Завдання статті:

1. Визначити педагогічний потенціал геоінформаційних технологій у STEM-освіті.

2. Проаналізувати вплив GIS-технологій на розвиток просторово-аналітичних і цифрових компетентностей здобувачів освіти та обґрунтувати підходи до їх інтеграції у STEM-навчання.

3. Виявити проблеми використання геоінформаційних технологій у STEM-освіті та розробити рекомендації щодо підвищення ефективності їх застосування.

Наукова новизна полягає у комплексному обґрунтуванні педагогічного потенціалу геоінформаційних технологій у процесі викладання STEM-дисциплін, уточненні їх функціонального значення для розвитку просторового мислення, дослідницьких умінь і цифрової компетентності здобувачів освіти, а також систематизації методичних підходів до інтеграції GIS-технологій у STEM-освіту.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання запропонованих методичних підходів і практичних рекомендацій для розроблення STEM-курсів, цифрових навчальних проєктів і GIS-орієнтованих освітніх модулів, а також у процесі підготовки та підвищення кваліфікації педагогів щодо використання геоінформаційних технологій у сучасному освітньому середовищі.

Методологія

Методи дослідження. У процесі дослідження використано методи аналізу, узагальнення, систематизації та наукової інтерпретації для визначення педагогічного потенціалу геоінформаційних технологій у STEM-освіті. Порівняльний метод застосовано для аналізу сучасних підходів до інтеграції GIS-технологій у викладання STEM-дисциплін, а логіко-змістовий аналіз – для обґрунтування методичних підходів до їх використання у сучасному цифровому освітньому середовищі.

Джерела даних. Інформаційну основу дослідження становили наукові праці вітчизняних і зарубіжних учених із проблем цифровізації освіти, STEM-навчання та використання геоінформаційних технологій у педагогічній практиці, матеріали міжнародних освітніх і GIS-платформ, а також сучасні методичні підходи до цифрового моделювання та просторового аналізу в освітньому середовищі.

Інструменти аналізу. Для опрацювання наукових матеріалів використано теоретичний аналіз, порівняння, узагальнення, систематизацію та логіко-аналітичну інтерпретацію сучасних підходів до використання геоінформаційних технологій у STEM-освіті.

Обмеження дослідження. Обмеження дослідження пов’язані з нерівномірним рівнем технічного забезпечення закладів освіти, відмінностями у практиці використання GIS-технологій у різних освітніх середовищах, а також недостатньою уніфікацією підходів до оцінювання просторово-аналітичних і цифрових компетентностей здобувачів освіти.

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

Результати

Геоінформаційні технології у сучасній STEM-освіті виступають інструментом інтеграції цифрового аналізу, просторового моделювання та прикладного дослідження реальних процесів. Їх використання у викладанні природничо-математичних і технологічних дисциплін забезпечує поєднання теоретичної підготовки з практичною роботою з геопросторовими даними, що сприяє розвитку аналітичного мислення, цифрової грамотності та навичок міждисциплінарного аналізу. Особливого значення GIS набувають у контексті практикоорієнтованого навчання, де цифрові моделі та інтерактивні карти використовуються як засіб дослідження реальних соціальних, екологічних і технологічних процесів (табл. 1).

Таблиця 1

Педагогічний потенціал геоінформаційних технологій у процесі викладання STEM-дисциплін

Компонент	Сутнісна характеристика	Прояв у навчальному процесі	Функціональне значення
Аналітичний	Використання просторового аналізу та цифрової обробки даних	Аналіз геопросторових моделей, карт і цифрових показників	Формування аналітичного та критичного мислення
Візуалізаційний	Графічне представлення складних процесів і явищ	Робота з інтерактивними картами, схемами та цифровими моделями	Підвищення наочності та якості засвоєння інформації
Дослідницький	Орієнтація на практичне вивчення реальних об'єктів	Виконання STEM-проєктів із використанням геоданих	Розвиток дослідницьких і проєктних компетентностей
Інтеграційний	Поєднання знань із різних STEM-дисциплін	Комплексне розв'язання міждисциплінарних завдань	Формування системного мислення
Цифровий	Використання сучасних програмних платформ і цифрових інструментів	Робота з GIS-платформами та цифровими сервісами	Розвиток цифрової грамотності та технологічних навичок

Джерело: сформовано автором на основі [5, с. 102; 6, с. 15; 7, p. 202; 8, p. 140; 9, p. 145; 15].

Ефективність геоінформаційних технологій у STEM-освіті визначається їх здатністю поєднувати навчальний процес із аналізом реальних просторових даних та практичним моделюванням складних процесів. У сучасних умовах GIS-платформи застосовуються під час дослідження кліматичних змін, аналізу транспортних потоків, оцінювання екологічних ризиків і прогнозування урбаністичного розвитку територій [5, с. 102]. Такий підхід дозволяє переносити абстрактні теоретичні положення у практичну площину та формувати у здобувачів освіти навички роботи з цифровими моделями, які

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

використовуються у професійній діяльності інженерів, аналітиків, екологів і фахівців із просторового планування.

Під час викладання природничих дисциплін геоінформаційні системи забезпечують можливість аналізувати супутникові знімки, відстежувати зміни стану довкілля та моделювати вплив природних і техногенних факторів на конкретні території [6, с. 15]. Наприклад, у межах STEM-проєктів здобувачі освіти можуть досліджувати динаміку забруднення водних ресурсів або зміни площ лісових масивів на основі відкритих геопросторових баз даних. Це сприяє формуванню навичок критичного аналізу інформації та підвищує рівень практичної аргументованості отриманих результатів.

У технічних і математичних дисциплінах GIS-технології використовуються для цифрового моделювання маршрутів, оптимізації логістичних процесів, аналізу координатних систем і статистичної обробки просторових даних. Завдяки цьому здобувачі освіти отримують можливість працювати з великими масивами інформації, візуалізувати результати обчислень та оцінювати ефективність різних моделей у змінних умовах [7, p. 202]. Водночас інтеграція геоінформаційних технологій змінює сам характер STEM-навчання – від пасивного засвоєння матеріалу до дослідницької взаємодії з цифровим середовищем, де ключового значення набувають аналітичне мислення, міждисциплінарність і здатність приймати рішення на основі просторових даних.

Інтеграція геоінформаційних технологій у процес викладання STEM-дисциплін суттєво змінює механізми формування когнітивних і цифрових компетентностей здобувачів освіти. Робота з геопросторовими даними, цифровими картами та інтерактивними моделями активізує процеси просторового аналізу, формує навички дослідницької інтерпретації інформації та забезпечує практичне застосування цифрових інструментів у навчальній діяльності. На відміну від традиційних методів подання матеріалу, геоінформаційні технології створюють умови для динамічної взаємодії з даними, де навчання базується на аналізі реальних процесів і моделюванні практичних ситуацій (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив геоінформаційних технологій на розвиток ключових компетентностей здобувачів освіти у STEM-навчанні

Напрям розвитку	Характер впливу	Освітній інструментарій	Практичний результат
Просторове мислення	Формування здатності аналізувати об’єкти у просторових взаємозв’язках	Цифрові карти, 3D-моделі, геовізуалізація	Розвиток навичок просторового аналізу та прогнозування
Дослідницькі уміння	Залучення до роботи з реальними даними та цифровими моделями	Геоаналітичні проєкти, просторовий моніторинг	Формування навичок дослідницької діяльності

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

Цифрова компетентність	Опанування сучасних цифрових платформ і сервісів	GIS-системи, хмарні геосервіси, бази геоданих	Розвиток навичок роботи з цифровою інформацією
Критичне мислення	Інтерпретація та оцінювання достовірності даних	Порівняльний аналіз цифрових моделей і карт	Формування навичок обґрунтованого прийняття рішень
Комунікативна взаємодія	Спільна робота з цифровими проєктами та аналітичними матеріалами	Колективні GIS-дослідження та онлайн-платформи	Розвиток навичок командної цифрової взаємодії

Джерело: сформовано автором на основі [7, p. 205; 8, p. 142; 9, p. 149; 11, p. 174; 14; 16, p. 116].

Сучасна практика використання геоінформаційних технологій демонструє їх високу ефективність у розвитку прикладного типу мислення, орієнтованого на аналіз складних систем і просторово залежних процесів. Робота з багатошаровими цифровими картами та інтерактивними моделями формує здатність одночасно оцінювати декілька параметрів об’єкта, виявляти причинно-наслідкові зв’язки та прогнозувати можливі зміни середовища [8, p. 142]. Наприклад, під час аналізу урбаністичних процесів здобувачі освіти можуть порівнювати щільність забудови, транспортне навантаження та екологічні показники окремих районів міста, що розвиває навички комплексної аналітики та просторового прогнозування.

Практична цінність геоінформаційних технологій особливо помітна у дослідницькій діяльності, де навчання базується на роботі з реальними наборами даних. У процесі STEM-проєктування здобувачі освіти здійснюють моніторинг змін природних ресурсів, аналізують ризики підтоплення територій, досліджують рівень забруднення повітря або моделюють оптимальні маршрути транспортної інфраструктури [16, p. 116]. Така діяльність вимагає не механічного відтворення знань, а самостійного пошуку закономірностей, критичної оцінки інформації та аргументованого обґрунтування висновків. Водночас робота з геоданими формує навички використання статистичних методів, цифрової візуалізації та елементів прогнозної аналітики, що наближує освітній процес до сучасних наукових і професійних практик.

Важливою перевагою геоінформаційних технологій є їх здатність поєднувати індивідуальну аналітичну діяльність із командною цифровою взаємодією. У сучасних хмарних GIS-середовищах здобувачі освіти можуть спільно працювати над картографічними проєктами, обмінюватися результатами аналізу та колективно формувати моделі досліджуваних процесів. Це сприяє розвитку не лише цифрової грамотності, а й навичок професійної комунікації, що є критично важливими для функціонування у міждисциплінарному STEM-середовищі. Крім того, інтеграція геоінформаційних технологій підвищує рівень мотивації до навчання, оскільки здобувачі освіти працюють із реальними проблемами та бачать практичне значення результатів власної аналітичної діяльності.

Інтеграція геоінформаційних технологій у STEM-освіту потребує оновлення методики викладання відповідно до вимог цифрового та практикоорієнтованого навчання. У сучасних умовах GIS-технології використовуються не лише як засіб

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

візуалізації інформації, а як інструмент дослідження, цифрового моделювання та міждисциплінарного аналізу. Методичне впровадження таких технологій передбачає поєднання проєктної діяльності, роботи з реальними геоданими та інтеграції цифрових платформ у структуру STEM-дисциплін, що забезпечує формування прикладних аналітичних компетентностей і підвищує практичну спрямованість навчального процесу (табл. 3).

Таблиця 3

Методичні підходи до інтеграції геоінформаційних технологій у STEM-освіту

Методичний підхід	Освітня спрямованість	Особливості реалізації	Очікуваний педагогічний ефект
Проєктно-орієнтований	Використання GIS-технологій у практичних STEM-проєктах	Розроблення цифрових моделей і дослідницьких кейсів	Формування прикладних аналітичних навичок
Міждисциплінарний	Інтеграція знань із природничих, математичних і технологічних дисциплін	Поєднання просторових, статистичних і цифрових методів аналізу	Розвиток системного бачення процесів
Проблемно-аналітичний	Розв’язання реальних практичних завдань на основі геоданих	Аналіз екологічних, соціальних і технічних ситуацій	Формування навичок аргументованого прийняття рішень
Цифрово-моделювальний	Використання цифрових платформ для прогнозування та візуалізації	Побудова інтерактивних карт і просторових моделей	Розвиток навичок цифрового моделювання
Адаптивний	Індивідуалізація роботи з цифровими ресурсами	Використання хмарних сервісів і персоналізованих завдань	Підвищення ефективності навчальної взаємодії

Джерело: сформовано автором на основі [5, с. 105; 6, с. 19; 10, p. 60; 11, p. 178; 12, p. 235; 13, p. 388; 16, p. 114; 17, p. 72; 18].

Результативність інтеграції геоінформаційних технологій у STEM-освіту значною мірою залежить від того, наскільки методика навчання наближена до реальних цифрових практик аналізу даних і просторового моделювання. У сучасному освітньому середовищі найбільш ефективними виявляються підходи, у межах яких GIS-системи стають частиною дослідницької та проєктної діяльності, а не окремим додатковим цифровим інструментом [5, с. 105]. Наприклад, під час вивчення урбаністичних процесів здобувачі освіти можуть моделювати транспортне навантаження окремих районів міста, аналізувати доступність соціальної інфраструктури або оцінювати просторовий розподіл екологічних ризиків. Такий формат навчання формує навички роботи з багатофакторними моделями та дозволяє поєднувати математичний аналіз із практичним прийняттям рішень.

Високу методичну ефективність демонструє проблемно-аналітичний підхід, у межах якого навчальні завдання будуються навколо реальних соціальних, екологічних або технічних ситуацій. Робота з геоданими у цьому випадку перетворюється на інструмент дослідження причинно-наслідкових зв’язків між процесами та

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

територіальними характеристиками [6, с. 19]. Наприклад, у процесі аналізу стану довкілля здобувачі освіти можуть порівнювати концентрацію забруднювальних речовин у різних частинах міста, співвідносити ці показники з транспортними потоками та прогнозувати потенційні зміни екологічної ситуації. Практична цінність такого підходу полягає у формуванні навичок аналітичного обґрунтування рішень на основі цифрових даних, а не лише теоретичних припущень.

Не менш важливим є цифрово-моделювальний підхід, який забезпечує інтеграцію STEM-навчання з технологіями прогнозування та візуалізації процесів у режимі реального часу. У сучасних GIS-платформах здобувачі освіти можуть працювати з супутниковими знімками, цифровими сенсорами, онлайн-картографією та інтерактивними базами даних, що створює умови для формування навичок роботи з динамічними інформаційними системами. Наприклад, у межах інженерних або екологічних STEM-проєктів можливе моделювання поширення теплових зон у міському середовищі чи аналіз змін рівня вологості ґрунтів на основі цифрового моніторингу [10, p. 60]. Це дозволяє поєднати теоретичні знання з реальними інструментами сучасної цифрової аналітики та формує у здобувачів освіти готовність до роботи в умовах технологічно орієнтованого професійного середовища.

Попри значний потенціал геоінформаційних технологій у STEM-освіті, їх практичне використання супроводжується низкою науково-методичних і організаційних проблем. Однією з ключових залишається недостатній рівень підготовки педагогічних кадрів до роботи з GIS-платформами та просторовою аналітикою, унаслідок чого геоінформаційні технології часто використовуються лише як допоміжний засіб візуалізації без реалізації їх дослідницького потенціалу [12, p. 235]. Водночас у сучасній STEM-методиці недостатньо розробленими залишаються моделі інтеграції геопросторового аналізу у зміст математичних, природничих і технологічних дисциплін, що зумовлює фрагментарний характер використання цифрових картографічних сервісів у навчальному процесі.

Суттєвою проблемою є також технічна нерівність між закладами освіти, оскільки ефективне використання GIS-технологій потребує сучасного обладнання, стабільного доступу до цифрових платформ і роботи з великими масивами геоданих. За відсутності відповідної інфраструктури ускладнюється використання інтерактивного моделювання, хмарних сервісів та просторової аналітики у реальному часі [18]. Додаткові труднощі виникають через швидке оновлення цифрових платформ, що потребує постійного перегляду навчально-методичного забезпечення та адаптації STEM-програм до нових технологічних рішень.

Проблемним аспектом залишається й складність інтерпретації багаторівневих геопросторових даних. У багатьох випадках здобувачі освіти концентруються на технічній роботі з цифровими сервісами, тоді як аналітичний зміст дослідження відходить на другий план. Це ускладнює формування навичок критичного аналізу та практичного застосування результатів цифрового моделювання. Крім того, традиційні підходи до оцінювання результатів навчання не завжди дозволяють об’єктивно визначити рівень сформованості просторового мислення, цифрових компетентностей і дослідницьких умінь у процесі використання геоінформаційних технологій у STEM-освіті.

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

Підвищення ефективності викладання STEM-дисциплін із використанням геоінформаційних технологій потребує комплексного оновлення методичних, цифрових і організаційних підходів до навчального процесу. Насамперед доцільним є системне впровадження GIS-технологій у структуру STEM-дисциплін не як окремого цифрового елемента, а як інструменту аналізу, моделювання та розв'язання прикладних завдань. Ефективність навчання суттєво зростає за умов використання реальних геопросторових даних, інтерактивних картографічних платформ і практикоорієнтованих кейсів, пов'язаних із дослідженням екологічних, технічних або соціально-просторових процесів.

Важливим напрямом удосконалення STEM-освіти є розвиток проєктно-дослідницьких форм навчання, у межах яких здобувачі освіти працюють із цифровими моделями територій, аналізують багатофакторні процеси та формують аналітичні висновки на основі геоданих. Доцільним є також розширення використання хмарних GIS-сервісів, що забезпечують колективну роботу з цифровими ресурсами, інтеграцію дистанційного навчання та доступ до актуальних просторових баз даних у режимі реального часу.

Практичне значення має й удосконалення системи підготовки педагогічних кадрів у сфері цифрової просторової аналітики. Підвищення ефективності використання геоінформаційних технологій потребує розвитку навичок роботи з цифровим моделюванням, геоаналітичними платформами та методиками інтеграції GIS у STEM-навчання. Водночас доцільним є оновлення підходів до оцінювання результатів навчання з урахуванням рівня сформованості просторового мислення, цифрових компетентностей і навичок аналітичної роботи з геопросторовими даними.

Перспективним напрямом є також поєднання геоінформаційних технологій із технологіями штучного інтелекту, цифрового моніторингу та аналізу великих даних, що дозволить розширити можливості STEM-освіти у сфері прогнозування, автоматизованої аналітики та моделювання складних процесів. Це сприятиме підвищенню практичної спрямованості навчання та формуванню компетентностей, які відповідають потребам сучасного цифрового й технологічно орієнтованого середовища.

Обговорення

Інтерпретація результатів. Результати дослідження засвідчили, що використання геоінформаційних технологій у процесі викладання STEM-дисциплін формує комплексний освітній ефект, який охоплює розвиток просторового мислення, цифрової грамотності, аналітичних умінь і дослідницької активності здобувачів освіти. Встановлено, що GIS-технології забезпечують не лише візуалізацію складних процесів, а й створюють умови для переходу від репродуктивного засвоєння знань до практично орієнтованого аналізу реальних просторових даних. Це підвищує рівень міждисциплінарної інтеграції STEM-компонентів і сприяє формуванню системного бачення природничих, екологічних та технологічних процесів.

У процесі аналізу встановлено, що найбільший педагогічний ефект забезпечують проєктно-орієнтовані та проблемно-аналітичні підходи, у межах яких здобувачі освіти працюють із цифровими картами, дистанційним зондуванням Землі, геопросторовими моделями та інтерактивними платформами. Водночас ефективність інтеграції GIS значною мірою залежить від рівня цифрової підготовки викладача, доступності

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

програмного забезпечення та здатності адаптувати геодані до освітніх потреб різних STEM-дисциплін.

Отримані результати також підтверджують, що геоінформаційні технології підсилюють дослідницький компонент навчання через моделювання реальних ситуацій, аналіз екологічних та соціально-просторових проблем, а також через організацію командної цифрової взаємодії. Це сприяє розвитку навичок аргументованого прийняття рішень, критичного оцінювання інформації та роботи з великими масивами цифрових даних.

Порівняння з іншими дослідженнями. Проведене дослідження узгоджується з науковими підходами щодо міждисциплінарної інтеграції GIS у STEM-освіті, де геоінформаційні технології розглядаються як інструмент формування аналітичного й дослідницького мислення [5, с. 102; 11, p. 174]. У сучасних дослідженнях наголошується, що GIS забезпечують інтеграцію просторового аналізу, цифрового моделювання та проєктного навчання, що підтверджено і результатами цього дослідження [5, с. 105; 12, p. 235].

Отримані результати корелюють із положеннями щодо розвитку просторового мислення та оцінювання просторових компетентностей у процесі використання GIS-платформ [9, p. 145; 9, p. 151]. Аналогічно підтверджується важливість інтерактивної візуалізації та роботи з цифровими моделями для підвищення якості засвоєння STEM-знань [15; 16, p. 116].

Результати дослідження також співвідносяться з висновками щодо використання дистанційного зондування Землі та геопросторових даних у підготовці педагогів і формуванні дослідницької компетентності [6, с. 19; 7, p. 205; 8, p. 142]. Водночас у представленому дослідженні більшу увагу приділено саме педагогічним механізмам інтеграції GIS у STEM-дисципліни, тоді як у частині попередніх праць акцент переважно здійснювався на технічних або організаційних аспектах цифрового навчання [10, p. 60; 13, p. 388].

На відміну від досліджень, присвячених окремим цифровим сервісам або дистанційним моделям освіти [1; 3; 4], у роботі GIS-технології розглядаються як комплексне освітнє середовище, що забезпечує одночасний розвиток просторового, цифрового, аналітичного й проєктного компонентів STEM-навчання. Крім того, розширено підхід до трактування геоінформаційних технологій не лише як інструменту візуалізації, а як засобу організації дослідницької та міждисциплінарної діяльності.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному обґрунтуванні педагогічного потенціалу геоінформаційних технологій у процесі викладання STEM-дисциплін через інтеграцію аналітичного, візуалізаційного, дослідницького, цифрового та міждисциплінарного компонентів навчання. У роботі систематизовано функціональні характеристики GIS-технологій у STEM-освіті та уточнено їх роль у формуванні просторового мислення, дослідницьких умінь і цифрової компетентності здобувачів освіти.

Уперше в межах комплексного педагогічного аналізу узагальнено взаємозв’язок між GIS-платформами, цифровим моделюванням, дистанційним зондуванням Землі та STEM-проєктуванням як єдиною освітньою системою. Розширено наукові підходи до трактування геоінформаційних технологій як інструменту організації практично

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

орієнтованого навчання, що поєднує аналіз реальних геоданих, цифрову візуалізацію та міждисциплінарне розв'язання проблемних ситуацій.

Удосконалено методичні підходи до інтеграції GIS у STEM-освіту через поєднання проєктно-орієнтованого, проблемно-аналітичного, цифрово-моделювального та адаптивного підходів. Подальшого розвитку набули положення щодо використання геоінформаційних технологій як засобу формування цифрової стійкості, аналітичної автономності та дослідницької активності здобувачів освіти в умовах цифровізації освітнього середовища.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання запропонованих методичних підходів для модернізації STEM-освіти у закладах загальної середньої та вищої освіти. Результати дослідження можуть бути застосовані під час розроблення освітніх програм, цифрових STEM-курсів, міждисциплінарних навчальних модулів і практико-орієнтованих GIS-проєктів.

Запропоновані підходи до використання геоінформаційних технологій можуть бути використані для організації дослідницької діяльності здобувачів освіти у сферах екологічного моніторингу, урбаністичного аналізу, кліматичних досліджень, цифрового картографування та просторового прогнозування. Практичне впровадження GIS-платформ сприяє підвищенню рівня цифрової грамотності, формуванню навичок роботи з геоданими та розвитку компетентностей, необхідних для сучасного технологічного середовища.

Матеріали дослідження можуть бути використані у процесі підготовки та підвищення кваліфікації педагогів STEM-дисциплін, зокрема для формування навичок використання цифрових картографічних сервісів, хмарних геоаналітичних платформ і технологій дистанційного зондування Землі. Практична цінність роботи також полягає у можливості адаптації запропонованих методичних рішень до змішаного та дистанційного навчання, що особливо актуально в умовах цифрової трансформації освіти та необхідності забезпечення гнучких моделей організації навчального процесу.

Висновки

У результаті дослідження встановлено, що геоінформаційні технології є ефективним інструментом інтеграції цифрового аналізу, просторового моделювання та дослідницької діяльності у процес викладання STEM-дисциплін. Доведено, що використання GIS-технологій сприяє розвитку просторового мислення, цифрових компетентностей, аналітичних умінь і навичок роботи з геопросторовими даними. Визначено, що найбільшу результативність забезпечує поєднання проєктно-орієнтованого, міждисциплінарного та цифрово-моделювального підходів, орієнтованих на практичне розв'язання прикладних STEM-завдань.

Основними проблемами визначено недостатню методичну підготовку педагогів до роботи з GIS-платформами, фрагментарне впровадження геоінформаційних технологій у STEM-освіту, технічну нерівність між закладами освіти та складність роботи з багаторівневими геоданими. Водночас актуалізується проблема недостатньої адаптації навчально-методичних матеріалів до сучасного цифрового середовища й відсутності чітких підходів до оцінювання просторово-аналітичних компетентностей здобувачів освіти.

Обґрунтовано доцільність системної інтеграції геоінформаційних технологій у STEM-дисципліни на основі використання цифрових картографічних платформ, проєктно-дослідницьких методів навчання та хмарних GIS-сервісів. Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язувати з розробленням адаптивних моделей

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

STEM-навчання, удосконаленням методик оцінювання цифрових і просторових компетентностей, а також із інтеграцією GIS-технологій із системами штучного інтелекту та аналізу великих даних у сучасному освітньому середовищі.

Список використаних джерел

1. Новік К. І., Трубенко І. А., Радіус О. А. Вплив інноваційних освітніх технологій на ефективність вивчення іноземних мов у закладах вищої освіти України. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2024. № 8. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.12772162.

2. Novik K. Impact of artificial intelligence on teaching methods and teacher training effectiveness in online education. *Modern research in science and education: Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference*, Chicago, USA, July 25–27, 2024. Chicago : BoScience Publisher, 2024. P. 108–111. URL: https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/07/MODERN-RESEARCH-IN-SCIENCE-AND-EDUCATION-25-27.07.24.pdf (дата звернення: 25.03.2026).

3. Кочергіна С. С., Давидюк А. Р., Різак Г. В. Трансформація викладацької діяльності в умовах інтеграції інструментів ШІ в освітній процес закладів вищої освіти. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2026. № 27. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.18622567.

4. Тягнирядно Є. В., Абрамов А. П., Різак Г. В. Порівняльний аналіз моделей дистанційної освіти в європейських та українських університетах. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2026. № 28. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.19177509.

5. Стрижак О. Є., Кузьменко О. С., Шаповалов Є. А., Касьянов Д. В. Геоінформаційне моделювання в системі STEM-освіти: міждисциплінарна інтеграція та функціонал електронної підтримки для розвитку обдарованої молоді. *Наукові записки Малої академії наук України*. 2025. Вип. 3, № 34. С. 99–110. DOI: https://doi.org/10.51707/2618-0529-2025-34-10.

6. Бабійчук С. М., Томченко О. В. Спеціалізовані курси з основ дистанційного зондування Землі для освітян системи Малої академії наук України. *Наукові записки Малої академії наук України*. 2021. Вип. 1, № 20. С. 13–28. DOI: https://doi.org/10.51707/2618-0529-2021-20-02.

7. Dovgyi S. O., Babiichuk S. M., Tomchenko O. V. Experience of using planet Earth observation data in retraining courses for educators in the Junior Academy of Sciences of Ukraine. *Інформаційні технології і засоби навчання.* 2023. Вип.. 95, № 3. С. 197–214. DOI: https://doi.org/10.33407/itlt.v95i3.5191.

8. Babiichuk S. M., Zadorozhna O. V., Tomchenko O. V. The potential of GIS and remote sensing technologies for developing research competence in future educators. *Освітній дискурс*. 2025. Вип. 54, № 5–6. С. 137–149. DOI: https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.54(5-6)-10.

9. Hickman J. Spatial thinking and GIS: developing and assessing student competencies. *International Research in Geographical and Environmental Education*. 2023. Vol. 32, № 2. P. 140–158. DOI: https://doi.org/10.1080/10382046.2022.2138172.

10. Brown S. The role of teacher agency in using GIS to teach geography. *International Research in Geographical and Environmental Education*. 2024. Vol. 33, № 1. P. 52–68. DOI: https://doi.org/10.1080/10382046.2023.2214044.

11. Manning C. L. B., LaDue N. D. Geo-STEM learning ecosystems: A transdisciplinary theory-based framework to establish and engage communities in the geosciences. *Journal of Geoscience Education*. 2025. Vol. 73, № 2. P. 172–186. DOI: https://doi.org/10.1080/10899995.2024.2351028.

12. Lubishtani F. B., Lubishtani M. Advancing geodesy education: Innovative pedagogical approaches and integration into STEM curricula. *STEM Education*. 2025. Vol. 5, № 2. P. 229–249. DOI: https://doi.org/10.3934/steme.2025012.

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

13. Schulman K., Fuchs S., Hämmerle M., Kisser T., Laštovička J., Stych P., Väljataga T., Siegmund A. Training teachers to use remote sensing: the YCHANGE project. *Review of International Geographical Education Online*. 2021. Vol. 11, № 2. P. 372–409. DOI: https://doi.org/10.33403/rigeo.708754.

14. Asimakopoulou P., Nastos P., Vassilakis E., Hatzaki M., Antonarakou A. Earth Observation as a facilitator of climate change education in schools: The teachers' perspectives. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13, № 8. Article 1587. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13081587.

15. Lindner C., Müller C., Hodam H., Jürgens C., Ortwein A., Schultz J., Rienow A. Development of an app and teaching concept for implementation of hyperspectral remote sensing data into school lessons using augmented reality. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, № 3. Article 791. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14030791.

16. Duan M. Integrating story maps into case-based geography teaching. *Geography*. 2023. Vol. 108, № 3. P. 112–120. DOI: https://doi.org/10.1080/00167487.2023.2260172.

17. Neis P., Cubela D., Rossner A. Innovative Lehrmethoden in der GIScience am Beispiel von Crime Mapping mit Geldautomatensprengungen. *gis.Science*. 2024. № 3. S. 69–77. DOI: https://doi.org/10.14627/gis.Science.2024.3.1.

18. Seminar Y., Laiskhanov S., Issakov Y., Gajić T. A systematic review of geographical education of students through STEM technologies. *Frontiers in Education*. 2026. Vol. 11. Article 1737076. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1737076.

References

1. Novik, K. I., Trubenko, I. A., & Radius, O. A. (2024). Vplyv innovatsiinykh osvitnikh tekhnolohii na efektyvnist vyvchennia inozemnykh mov u zakladakh vyshchoi osvity Ukrainy [The influence of innovative educational technologies on the effectiveness of foreign language learning in higher education institutions of Ukraine]. *Pedahohichna Akademiia: naukovi zapysky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*, (8). DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.12772162.

2. Novik, K. (2024). Impact of artificial intelligence on teaching methods and teacher training effectiveness in online education. *Modern research in science and education: Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference*, Chicago, USA, July 25–27, 2024. Chicago: BoScience Publisher, 108–111. URL: https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/07/MODERN-RESEARCH-IN-SCIENCE-AND-EDUCATION-25-27.07.24.pdf (accessed: 25.03.2026).

3. Kocherhina, S. S., Davydiuk, A. R., & Rizak, H. V. (2026). Transformatsiia vykladatskoi diialnosti v umovakh intehratsii instrumentiv ShI v osvitnii protses zakladiv vyshchoi osvity [Transformation of teaching activity under the integration of AI tools into the educational process of higher education institutions]. *Pedahohichna Akademiia: naukovi zapysky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*, (27). DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.18622567.

4. Tiahnyriadno, Ye. V., Abramov, A. P., & Rizak, H. V. (2026). Porivnialnyi analiz modelei dystantsiinoi osvity v yevropeiskykh ta ukrainskykh universytetakh [Comparative analysis of distance education models in European and Ukrainian universities]. *Pedahohichna Akademiia: naukovi zapysky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*, (28). DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.19177509.

5. Stryzhak, O. Ye., Kuzmenko, O. S., Shapovalov, Ye. A., & Kasianov, D. V. (2025). Heoinformatsiine modeliuvannia v systemi STEM-osvity: mizhdystsyplinarna intehratsiia ta funktsional elektronnoi pidtrymky dlia rozvytku obdarovanoi molodi [Geoinformation modeling in the STEM education system: interdisciplinary integration and electronic support functionality for the development of gifted youth]. *Naukovi zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy – Scientific Notes of the Junior Academy of Sciences of Ukraine*, 3(34), 99–110. DOI: https://doi.org/10.51707/2618-0529-2025-34-10.

6. Babiichuk, S. M., & Tomchenko, O. V. (2021). Spetsializovani kursy z osnov dystantsiinoho zonduvannia Zemli dlia osvitian systemy Maloi akademii nauk Ukrainy

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X

[Specialized courses on the basics of remote sensing of the Earth for educators of the Junior Academy of Sciences of Ukraine]. *Naukovi zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy – Scientific Notes of the Junior Academy of Sciences of Ukraine*, 1(20), 13–28. DOI: https://doi.org/10.51707/2618-0529-2021-20-02.

7. Dovgyi, S. O., Babiichuk, S. M., & Tomchenko, O. V. (2023). Experience of using planet Earth observation data in retraining courses for educators in the Junior Academy of Sciences of Ukraine. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia – Information Technologies and Learning Tools*, 95(3), 197–214. DOI: https://doi.org/10.33407/itlt.v95i3.5191.

8. Babiichuk, S. M., Zadorozhna, O. V., & Tomchenko, O. V. (2025). The potential of GIS and remote sensing technologies for developing research competence in future educators. *Osvitnii dyskurs – Educational Discourse*, 54(5–6), 137–149. DOI: https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.54(5-6)-10.

9. Hickman, J. (2023). Spatial thinking and GIS: developing and assessing student competencies. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 32(2), 140–158. DOI: https://doi.org/10.1080/10382046.2022.2138172.

10. Brown, S. (2024). The role of teacher agency in using GIS to teach geography. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 33(1), 52–68. DOI: https://doi.org/10.1080/10382046.2023.2214044.

11. Manning, C. L. B., & LaDue, N. D. (2025). Geo-STEM learning ecosystems: A transdisciplinary theory-based framework to establish and engage communities in the geosciences. *Journal of Geoscience Education*, 73(2), 172–186. DOI: https://doi.org/10.1080/10899995.2024.2351028.

12. Lubishtani, F. B., & Lubishtani, M. (2025). Advancing geodesy education: Innovative pedagogical approaches and integration into STEM curricula. *STEM Education*, 5(2), 229–249. DOI: https://doi.org/10.3934/steme.2025012.

13. Schulman, K., Fuchs, S., Hämmerle, M., Kisser, T., Laštovička, J., Stych, P., Väljataga, T., & Siegmund, A. (2021). Training teachers to use remote sensing: the YCHANGE project. *Review of International Geographical Education Online*, 11(2), 372–409. DOI: https://doi.org/10.33403/rigeo.708754.

14. Asimakopoulou, P., Nastos, P., Vassilakis, E., Hatzaki, M., & Antonarakou, A. (2021). Earth Observation as a facilitator of climate change education in schools: The teachers' perspectives. *Remote Sensing*, 13(8), 1587. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13081587.

15. Lindner, C., Müller, C., Hodam, H., Jürgens, C., Ortwein, A., Schultz, J., & Rienow, A. (2022). Development of an app and teaching concept for implementation of hyperspectral remote sensing data into school lessons using augmented reality. *Remote Sensing*, 14(3), 791. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14030791.

16. Duan, M. (2023). Integrating story maps into case-based geography teaching. *Geography*, 108(3), 112–120. DOI: https://doi.org/10.1080/00167487.2023.2260172.

17. Neis, P., Cubela, D., & Rossner, A. (2024). Innovative Lehrmethoden in der GIScience am Beispiel von Crime Mapping mit Geldautomatensprengungen [Innovative teaching methods in GIScience using the example of crime mapping of ATM explosions]. *gis.Science*, (3), 69–77. DOI: https://doi.org/10.14627/gis.Science.2024.3.1.

18. Seminar, Y., Laiskhanov, S., Issakov, Y., & Gajić, T. (2026). A systematic review of geographical education of students through STEM technologies. *Frontiers in Education*, 11, 1737076. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1737076.

Ця робота ліцензується відповідно до CreativeCommonsAttribution 4.0 InternationalLicense
e-ISSN: 2786-586X