

О. Є. Стрижак,
О. С. Кузьменко,
Є. А. Шаповалов,
Д. В. Касьянов

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ STEM-ОСВІТИ: МІЖДИСЦИПЛІНАРНА ІНТЕГРАЦІЯ ТА ФУНКЦІОНАЛ ЕЛЕКТРОННОЇ ПІДТРИМКИ ДЛЯ РОЗВИТКУ ОБДАРОВАНОЇ МОЛОДІ

Анотація. Дослідження присвячене теоретичному обґрунтуванню та розробленню інноваційної методики міждисциплінарної інтеграції геоінформаційного моделювання в освітній процес на засадах STEM, адаптованої для ефективної підтримки й розвитку обдарованої молоді. Як ключове методологічне рішення запропоновано концепцію просторово орієнтованої синтези. Ця концепція використовує ГІС як інтеграційне ядро для забезпечення функціонального зв'язку наукових (S), технологічних (T), інженерних (E) та математичних (M) компонентів. Методика передбачає залучення обдарованої молоді до автентичних складних проєктів, що імітують реальні дослідницькі цикли, наприклад через територіально розподілені екологічні ділові ігри. Основним практичним результатом є формування комплексних функціональних вимог до спеціалізованої електронної платформи. Вона має забезпечувати ГІС-інтеграцію та підтримувати роботу з Big Data через розширені інтелектуальні пошукові модулі (зокрема, з використанням механізмів CONFOR та Exalead для структурного аналізу контенту). Важливим є функціонал цільової підтримки наставництва в режимі реального часу (система SVIT). Технологічна стійкість платформи обґрунтована трирівневою клієнт-серверною архітектурою (PostGIS/ArcGIS Server) та включенням розширеного математичного функціоналу (геостатистика, метод Крігінгу, оптимізаційні моделі). Така інфраструктура створює необхідні умови для формування в обдарованої молоді просторового та системного мислення, сприяючи підготовці висококваліфікованих STEM-фахівців.

Ключові слова: ГІС-моделювання, STEM-освіта, обдарована молодь, міждисциплінарна інтеграція, електронна платформа.

Постановка проблеми. У контексті глобальної цифровізації та стратегії STEM-освіти пріоритетом стає формування в учнів інтегрованих компетентностей, необхідних для розв'язання комплексних задач із застосуванням інноваційних технологій. У цьому аспекті геоінформаційне моделювання (далі — ГІС-моделювання) є потужним міждисциплінарним інструментом, що забезпечує реалістичний аналіз і візуалізацію просторових даних,

природно об'єднуючи знання з різних галузей. Особливої актуальності набуває цілеспрямоване створення спеціалізованого цифрового освітнього середовища, яке ефективно використовувало б цей потенціал ГІС для підтримки й розвитку обдарованої молоді, пропонуючи їй складні, мотивуючі та самостійні дослідницькі проєкти.

Необхідність проведення цього дослідження ґрунтується на низці протиріч, які є руйнівою

силою для розв'язання поставленої наукової проблеми й виникають на перетині потенційних можливостей і фактичної реалізації, а саме:

- протиріччя між потенціалом ГІС і методичним забезпеченням. Існує значний міждисциплінарний та інтеграційний потенціал ГІС як ідеального інструмента для реалізації цілей STEM-освіти. Проте цей потенціал залишається недостатньо реалізованим через відсутність розроблених системних методик й організаційних моделей, які дали б змогу повноцінно імплементувати ГІС-моделювання у цілісну міждисциплінарну навчально-дослідницьку діяльність;
- протиріччя між вимогами обдарованої молоді в умовах сьогодення та функціональною готовністю платформ. Обдарована молодь потребує спеціалізованих, гнучких та індивідуалізованих цифрових навчальних ресурсів для виконання складних міждисциплінарних досліджень. Однак наявні електронні освітні платформи є функціонально обмеженими, оскільки не забезпечують належної інтеграції ГІС-інструментарію і не враховують специфічних дидактичних вимог до підтримки саме обдарованих учнів;
- протиріччя між цифровим трендом та інфраструктурною готовністю. Спостерігається глобальний тренд на цифрову трансформацію освіти. При цьому відсутні чітко сформульовані функціональні й архітектурні вимоги до спеціалізованих освітніх платформ, які мають бути здатними методологічно коректно поєднувати комплексний аналіз геоінформації з дидактичними потребами міждисциплінарного навчання.

Саме ці системні суперечності формують наукову проблему дослідження: необхідність теоретичного обґрунтування та розроблення методики інтеграції ГІС-моделювання, а також визначення функціоналу електронних платформ для забезпечення ефективної міждисциплінарної підтримки обдарованої молоді у контексті STEM-освіти.

Для розв'язання окресленої наукової проблеми й усунення виявлених протиріччя нами визначено **мету дослідження**, яка полягає в теоретичному обґрунтуванні, розробленні методики міждисциплінарної інтеграції геоінформаційного моделювання в контексті STEM-освіти, а також визначенні ключових функціо-

налів електронних платформ, необхідних для ефективної навчально-дослідницької підтримки обдарованої молоді.

Об'єктом дослідження є процес міждисциплінарної навчально-дослідницької діяльності в системі STEM-освіти.

Предметом дослідження є методика інтеграції геоінформаційного моделювання та функціональні вимоги до електронних платформ як засобу міждисциплінарної підтримки обдарованої молоді.

Для досягнення поставленої мети визначено **завдання дослідження**:

- 1) здійснити теоретичний аналіз досвіду інтеграції ГІС-технологій у STEM-освіту;
- 2) обґрунтувати принципи міждисциплінарної взаємодії навчальних предметів через використання ГІС-моделей;
- 3) розробити і представити методичні засади створення та застосування ГІС-моделей у дослідницьких проєктах;
- 4) сформулювати функціональні вимоги до електронної платформи для підтримки обдарованої молоді з акцентом на механізмах забезпечення міждисциплінарних зв'язків у контексті STEM-освіти.

Наше дослідження пропонує інноваційний шлях до підвищення якості STEM-освіти через розроблення методики поєднання ГІС-моделювання з цілеспрямованим функціоналом цифрових платформ. Сформовані методичні та функціональні засади створять цілісне цифрове середовище, здатне забезпечити ефективну міждисциплінарну діяльність і максимально розкрити науковий потенціал обдарованої молоді. Успішна реалізація цих напрацювань стане важливим внеском у підготовку майбутніх висококваліфікованих STEM-фахівців з фізико-математичного та інженерно-технічного напрямів.

Аналіз наукових досліджень. Наукові дослідження доводять, що STEM-освіта розкриває еволюцію від простого поєднання дисциплін до справжньої міжпредметної інтеграції, зосередженої на вирішенні комплексних глобальних проблем [1–4]. Ключовими елементами, що визначають цю інтеграцію, є розвиток обчислювального мислення (СТ) та інженерного проєктування [5; 6].

Ця потреба у розв'язанні складних реальних задач зумовлює (або формує) вимоги до технологічних інструментів.

Ефективна STEM-інтеграція сприяє використанню технологій, здатних моделювати складні системи, зокрема, ті, які пов'язані з великими масивами даних (Big Data). Це особливо актуально, оскільки більшість сучасних викликів (урбаністичне планування, логістика, клімат) має виражену геопросторову компоненту [7; 8]. Відповідно, ця вимога посилюється на тлі підготовки до Індустрії 4.0, що диктує необхідність інтеграції ШІ та передових цифрових рішень в освітній процес [9–11].

З огляду на ці вимоги геоінформаційне моделювання визнане одним із найбільш перспективних інструментів для реалізації цілей STEM. ГІС сприяє розвитку просторового мислення — критичної навички для інженерії та науки [12], а також дає учням змогу працювати з автентичними даними й переходити до динамічного моделювання [8]. Хоча ГІС-моделювання ідеально підходить для інтеграції, у його застосуванні виявлено обмеження, що стосуються методики.

Функціонал ГІС природно поєднує математичні моделі, технології, наукове дослідження та інженерне проєктування [13]. Проте більшість емпіричних досліджень у цій сфері зосереджена на предметній площині (географії, екології) [2], що обмежує їхнє узагальнення.

Залишається недостатньо дослідженою проблема універсальної методики використання ГІС-моделей як основи для комплексних міжпредметних STEM-проєктів, які не обмежуються лише географічним контекстом. Тому виникає методична прогалина, що вимагає розроблення педагогічних сценаріїв, які використовують ГІС як ядро інтеграції.

Паралельно з проблемою інтеграції існує потреба диференціації та індивідуалізації навчання, особливо у роботі з обдарованою молоддю [9]. Для цієї категорії учнів необхідні освітні платформи, які забезпечують акселерацію навчання та високий рівень складності завдань [9]. Потреба в індивідуалізації вступає у конфлікт з можливостями наявних навчальних систем.

Ключовим недоліком, виявленим у процесі аналізу, є те, що існуючі електронні навчальні системи (LMS) розроблені переважно для масового сегмента [14; 15] і не мають належного функціоналу для підтримки дослідницьких циклів високої складності, що є обов'язковим для обдарованої молоді. Зокрема, дослідження

не містять чіткого визначення комплексних функціональних вимог до платформи, яка забезпечувала б: а) безшовну інтеграцію ГІС-інструментарію; б) механізми забезпечення формалізованих міждисциплінарних зв'язків і спільної роботи [16]; в) цільову підтримку наставництва й розширених механізмів зворотного зв'язку для складних, нетипових задач [11].

Важливе підґрунтя для розроблення як технологічного (ГІС-моделювання та архітектура платформ), так і методичного аспектів дослідження закладене у працях вітчизняних науковців. На стратегічному рівні в наукових працях [17; 18] обґрунтовується потреба розвитку STEM-освіти й діяльності з обдарованою молоддю, що підтверджує актуалізаційне підґрунтя цього дослідження. Зокрема, дослідження [19–21] щодо архітектури інтелектуальних систем й обробки геопросторових даних є фундаментальними для визначення функціональних вимог до технологічної бази платформи, необхідної для підтримки обдарованої молоді.

Отже, наукові дослідження доводять високий потенціал ГІС для STEM-інтеграції та необхідність створення спеціалізованих ресурсів для роботи з обдарованою молоддю. Однак спостерігається значна методична та інфраструктурна прогалина на перетині цих напрямів: відсутні комплексні наукові розробки, що пропонують єдину методику впровадження ГІС-моделювання та чітко сформульований функціонал електронної платформи для цільової підтримки міждисциплінарної діяльності обдарованих учнів. Це обґрунтовує новизну нашого дослідження, спрямованого на ліквідацію цієї прогалини.

Виклад основного матеріалу. Як засвідчує аналіз наукових джерел [2; 6; 7; 9], значна частина інформації, що є предметом сучасних досліджень і практичної взаємодії (зокрема, дані про природні ресурси, економічний розвиток, екологічні системи), має виражену геопросторову сутність. Тому ГІС виступає універсальним інструментом дослідника, який забезпечує інтеграцію баз даних (описових, векторних, растрових) з потужними засобами просторового аналізу. Це дає змогу сформулювати в учнів новий комплексний погляд на світ, що є наріжним каменем STEM-підходу.

Ефективна міждисциплінарна взаємодія навчальних предметів через ГІС-моделі потребує обґрунтування таких принципів:

1) *просторово орієнтованої синтези*. Освітній процес зосереджений на розв'язанні проблем, де просторове положення об'єктів (географія) є визначальним фактором для застосування математичних (M), наукових (S) та інженерних (E) знань. ГІС дає учням змогу формулювати географічні питання (наприклад, «Яка оптимальна локація для нового об'єкта?») й отримувати на них відповіді шляхом аналізу карт на основі обраних критеріїв;

2) *аутентичності даних і задач*. Для обдарованої молоді важливим є використання реальних, актуальних та об'ємних даних. ГІС-технологія дає змогу працювати з інформацією, яку збирають різні наукові й адміністративні підрозділи (від даних про населення до типів ґрунтів), що імітує реальну наукову та професійну діяльність. Це підвищує мотивацію та глибину занурення у предмет;

3) *системного моделювання*. ГІС надає інструменти для створення, відображення та спільного аналізу різних типів даних, щоб представити результати аналітичних розрахунків у наочній картографічній формі. Цей процес моделювання (від збирання даних до візуалізації) вимагає знань з інформатики (T), математики (M) та конкретної наукової галузі (S/E), забезпечуючи функціональний міждисциплінарний зв'язок.

Методика застосування ГІС-моделей у дослідницьких проєктах обдарованої молоді має будуватися на інтеграції навчальних функцій ГІС

із вимогами STEM-проєктування та диференційованого навчання. ГІС-технологія завдяки своїй багатофункціональності є поліфункціональним та комплексним засобом навчання, що виконує ключові функції, критичні для STEM-освіти, а саме:

- **наочності та візуалізації**: ГІС збагачує коло просторових уявлень, робить навчання доступнішим і розвиває пізнавальні здібності, даючи змогу візуалізувати складні явища та взаємозв'язки на карті;
- **забезпечення операційної діяльності (T/M/E)**: проявляється у процесі формування практичних умінь і навичок просторового аналізу, розрахунків і моделювання. ГІС — це не просто виробнича навичка, а універсальний інструмент дослідника, застосовуваний у більш ніж 100 дисциплінах;
- **розвивальну**: систематичне використання ГІС сприяє розумовому розвитку учнів через послідовне ускладнення завдань: від спостереження й аналізу до самостійного творчого вирішення завдань і формулювання географічних питань.

Проєктна діяльність для обдарованої молоді, що імітує реальні дослідницькі ситуації (як-от екологічна комп'ютерна ділова гра з дослідження стану паркових зон), дає змогу максимально задіяти ГІС-інструментарій. Етапи та специфічний STEM-зміст цієї проєктної діяльності представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Етапи та STEM-зміст проєктної діяльності з ГІС

Етап проєкту	Діяльність учнів (обдарованої молоді)	Інтегровані STEM-компоненти
I. Збирання та підготовка даних	Визначення координат GPS, збирання фактичних даних (наприклад, ІФХ за «Флоратест»), створення електронної бази даних	T (GPS, прилади, бази даних), S (біологія, екологія)
II. Картографічне моделювання	Нанесення отриманих точкових даних на карту (наприклад, «Клен 976»), створення тематичних шарів	T (ArcGIS, програмне забезпечення), M (картографічні проєкції, координати)
III. Просторовий аналіз	Зіставлення тематичних шарів (ІФХ та забруднення) для висновків про причини хвороб рослин. Проведення оптимізованих розрахунків (наприклад, транспортних, як у кейсі Корона-Норко)	S (аналіз екологічних взаємозв'язків), M (статистичний і просторовий аналіз), E (оптимізаційні моделі)
IV. Формулювання рішень і прогнозування	Створення картосхем рішень, формулювання рекомендацій щодо покращення стану довкілля або оптимізації мережі (як у кейсі сільських шкіл)	E (інженерне проєктування рішень), S/T (прогностичні розширення SchoolSite Enrollment Forecasting)

Така методика забезпечує неперервність і динамічність дослідження, що дає змогу працювати територіально розподіленими групами (актуально для всеукраїнських екологічних ігор) і підвищує рівень кооперації та соціалізації.

Практичне застосування ГІС не обмежується освітнім процесом, проте поширюється й на управління освітою, що слугує прикладом інженерного (Е) застосування ГІС-моделей. Це ідеальні кейси для використання у STEM-проєктах з розвитку обдарованої молоді. Розглянемо їх.

Кейс 1. Оптимізація мережі сільських шкіл (міжнародний досвід)

Методика оптимізації мережі сільських шкіл, яка розроблялася в рамках міжнародних освітніх проєктів (зокрема, за підтримки Світового банку) у різних країнах, демонструє, як ГІС використовується для вирішення складних управлінських і соціально-економічних завдань. Метою таких проєктів є підвищення якості освіти, її доступності для сільських учнів й економічної ефективності шляхом реорганізації існуючої мережі.

Методика містить такі ключові етапи, що є високорелевантними для STEM-завдань:

1) *створення просторово-тематичної бази даних (T/S)*: формування електронної карти, яка включає такі шари: населені пункти, шляхи, ЗЗСО, а також збирання атрибутивних даних (стан шкіл, зношування, розрахункова та фактична наповнюваність, питомі витрати на школяра, транспортна доступність);

2) *групування та кластеризація (M/S)*: перетворення абсолютних показників у відносні (наприклад, питома вартість навчання на одного учня) для подальшого групування ЗЗСО в оптимізовані кластери та виявлення базових (опорних) і неперспективних закладів;

3) *просторове моделювання та оптимізація (M/E)*: проведення оптимізованих транспортних розрахунків з перевезення учнів. ГІС дає змогу швидко обчислити найефективніші маршрути й варіанти логістичного рішення, що є суто інженерним завданням.

Цей приклад ілюструє те, як ГІС забезпечує отримання об'єктивної картини стану мережі та швидкий розрахунок транспортних варіантів, що знижує залежність від суб'єктивних факторів та є ідеальним комплексним STEM-завданням для моделювання в межах інженерного проєктування.

Кейс 2. Управління демографічним вибухом (округ Корона-Норко, США)

В об'єднаному шкільному окрузі Корона-Норко (Каліфорнія, США) ГІС із спеціалізованими розширеннями (наприклад, SchoolSite Redistricting, SchoolSite Enrollment Forecasting) забезпечила:

- планування територіальної приналежності ЗЗСО й учнів в умовах різкого демографічного зростання;
- довгострокове прогнозування демографічного розвитку й визначення областей подальшого зростання житлового фонду.

Отже, ГІС виступає критично важливим інструментом планування та інженерного рішення для освітніх адміністраторів, що підкреслює її універсальну цінність як у навчанні, так і в управлінні.

Робота з обдарованою молоддю вимагає від електронних освітніх платформ (LMS) функціоналу, що виходить за межі стандартних систем керування навчанням. Згідно з дослідженнями [22–24], обдаровані учні потребують складних, автентичних завдань та інструментів для дослідницької діяльності, які поєднували б потужність ГІС-моделювання із цільовою педагогічною підтримкою.

Попри свою загальну ефективність наявні платформи є функціонально обмеженими, оскільки не забезпечують безшовної інтеграції інструментів просторового аналізу, необхідних для міждисциплінарних STEM-проєктів. Тому потрібне визначення чітких функціональних вимог до такої платформи, де ГІС-технологія виступає інтегруючим інструментом.

Функціонал платформи має бути структурований навколо трьох основних блоків, що забезпечують повний цикл дослідницької діяльності обдарованої молоді: 1) інтеграція ГІС-інструментарію та робота з даними; 2) механізми міждисциплінарної взаємодії; 3) підтримка наставництва та зворотного зв'язку.

Цей блок є основою платформи, оскільки забезпечує функціонал для STEM-моделювання (S, M, T) через інтеграцію інструментів для аналізу й візуалізації даних. Функціональні вимоги до ГІС у контексті міждисциплінарної STEM-діяльності детально розкриті в табл. 2.

Подальше дослідження потребує не лише формулювання педагогічних і функціональних вимог до платформи, а й обґрунтування

Функціональні вимоги ГІС у контексті STEM

Функціональна вимога	Опис та обґрунтування	STEM-релевантність
Безшовна ГІС-інтеграція	Платформа повинна мати вбудований або легко інтегрований інструментарій, що дає змогу створювати, відображати й аналізувати тематичні шари без необхідності переходу до зовнішнього ПЗ	T, M: застосування технологій і математичних методів просторового аналізу
Управління геоданими	Можливість завантаження різних типів даних (растрових, векторних, табличних, GPS-координат), їх зберігання у стандартизованих базах (наприклад, PostGIS) і перетворення між картографічними проєкціями	T, S: формування навичок роботи з Big Data й управління базами даних
Просторовий аналіз	Наявність вбудованих функцій просторового запиту, буферизації, оверлею та статистичного аналізу, що дає учням змогу самостійно проводити зіставлення шарів (наприклад, полігонів забруднення із біологічними показниками)	M, S: забезпечення можливості проведення комплексного наукового аналізу

її технологічної архітектури та розширеного математичного функціоналу, що є невід’ємною частиною інженерного (E) та математичного (M) компонентів STEM-освіти.

Для забезпечення ефективності платформи, особливо з огляду на необхідність одночасної роботи територіально розподілених груп й оперування великими обсягами геопросторових даних, доцільно застосувати трирівневу клієнт-серверну архітектуру.

1. *Рівень даних (Data Tier)*: передбачає використання потужної реляційної бази даних, розширеної для підтримки геопросторових типів даних (наприклад, PostgreSQL з розширенням PostGIS). Це забезпечує ефективне зберігання та індексування атрибутивної інформації (наприклад, кількість учнів у ЗЗСО або значення ІФХ), векторних і растрових шарів. Така централізована база даних важлива для забезпечення спільного доступу до ГІС-шарів і моделей, а також їхньої актуальності для всіх учасників проєктів.

2. *Рівень застосунків (Application Tier)*: реалізується на базі високопродуктивних вебсерверів і серверів геообробки (наприклад, ArcGIS Server або Geoserver). Він виконує основні функції просторового аналізу, оброблення запитів (забезпечуючи інтеграцію з Exalead та CONFOR) та управління логікою взаємодії. Це дає змогу розвантажити клієнтські пристрої та забезпечити виконання складних обчислювальних завдань (наприклад, оптимізованих транспортних розрахунків) на серверній стороні.

3. *Клієнтський рівень (Client Tier)*: представлений вебінтерфейсом і мобільними застосунками, які забезпечують доступ до ГІС-функціоналу через браузер без необхідності встановлення спеціалізованого програмного забезпечення. Це реалізує принцип доступності й універсальності, надає учням можливість працювати із системою з будь-якого пристрою.

Така архітектура гарантує, що ГІС-технологія (наприклад, функціонал Esri ArcGIS, що займає провідні позиції у сфері освіти) використовується не лише як візуалізатор, а й як повноцінний інструмент моделювання та аналізу.

Геоінформаційне моделювання розширює математичний компонент (M) STEM-освіти, виходячи за межі традиційної статистики й геометрії.

1. *Геостатистичний аналіз*. Для обдарованої молоді важливою є можливість використання розширених математичних методів, таких як інтерполяція (наприклад, метод Крігінгу), для прогнозування значень екологічних або соціальних показників у точках, де вимірювання не проводились. Наприклад, на основі точкових вимірювань ІФХ можна створити безперервний полігон інтенсивності фотосинтезу для всього парку, що вимагає глибоких знань з прикладної математики.

2. *Прогнозування та сценарне моделювання*. ГІС надає унікальні можливості для прогнозування динаміки змін екологічних показників у часі. Наприклад, як у кейсі округу Корона-Норко, спеціалізовані розширення (SchoolSite

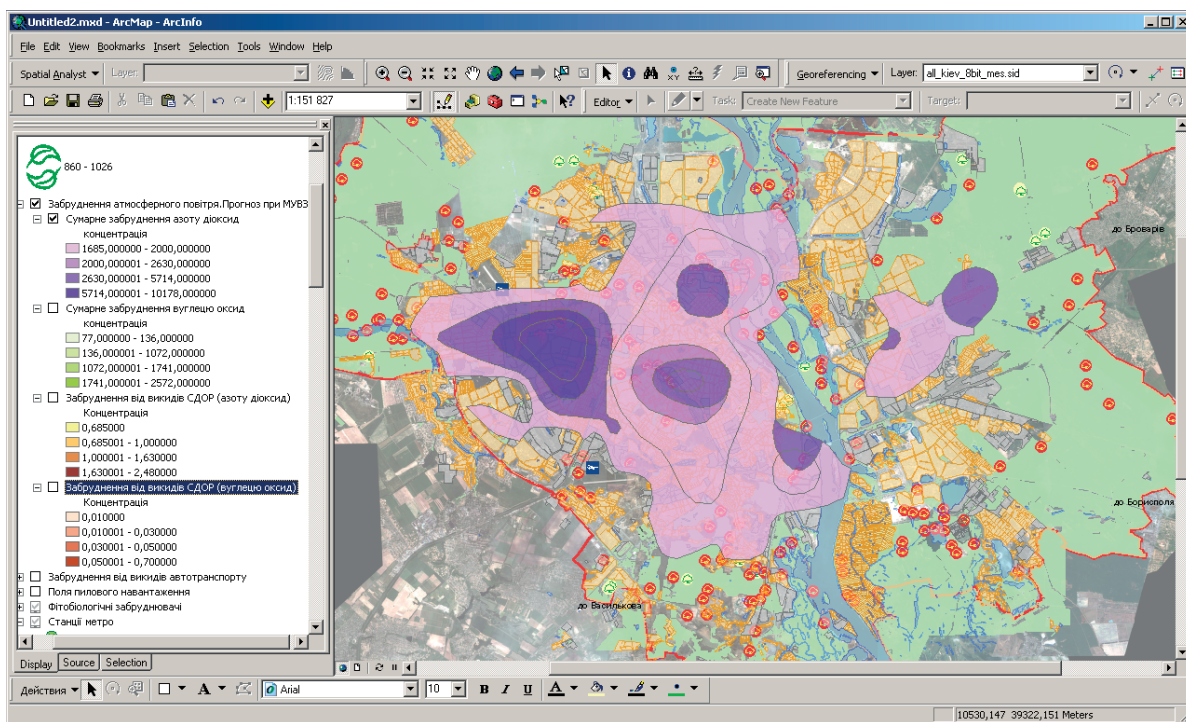


Рис. 1. Полігони забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту

Enrollment Forecasting) дають змогу моделювати вплив демографічного зростання або забудови (інженерний фактор) на освітню інфраструктуру (соціальний фактор). У контексті екології можна моделювати, як зміна

полігонів забруднення (рис. 1, 2) вплине на здоров'я рослин (ІФХ) через 5–10 років. Таке сценарне моделювання розвиває в учнів навички довгострокового, критичного й системного планування.

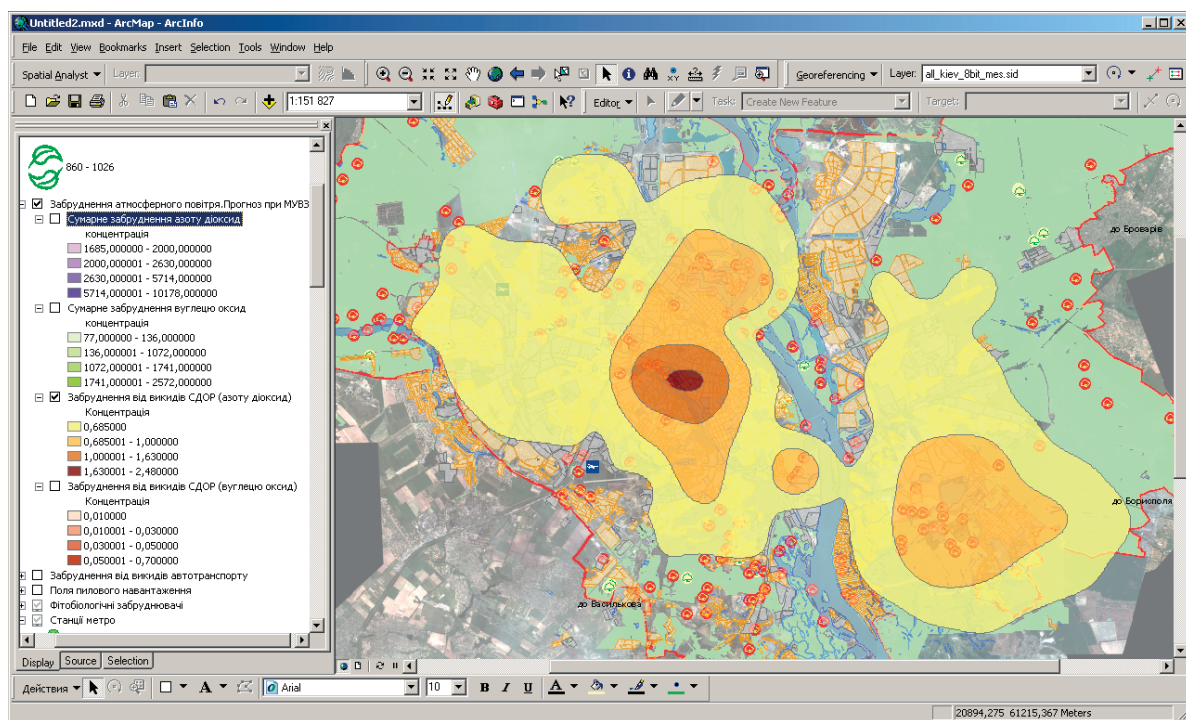


Рис. 2. Полігони забруднення атмосферного повітря від викидів СДОР (діоксиду азоту)

3. *Оптимізаційні моделі (E/M)*. ГІС-технології використовуються для розв'язання складних задач оптимізації, зокрема мережі ЗЗСО, які ґрунтуються на математичному апараті (теорія графів, лінійне програмування, моделі транспортної доступності). Це дає учням змогу перейти від описового аналізу до *інженерного пошуку найбільш ефективного рішення* за заданими критеріями (мінімізація витрат, максимізація доступності).

Розглянутий приклад екологічної комп'ютерної ділової гри ілюструє повне втілення сформульованих вимог:

1) S (наука/екологія): учасники виконували роль інспекторів, оцінювали інтенсивність фотосинтезу (ІФХ) за допомогою хронофлуорометра «Флоратест», що є суто науковим вимірюванням;

2) T/M (технології/моделювання): отримані дані наносили на карту міста в середовищі ArcGIS. Використовували GPS-навігатори (T) для визначення координат і просторовий аналіз (M) для зіставлення точкових вимірювань (наприклад, «Ясен-802») із полігонами забруднення;

3) E (інженерія/рішення): на основі аналізу даних (причини хвороб рослин) приймалося рішення щодо необхідності вжиття заходів з покращення стану навколишнього середовища.

Відмінністю таких ігор є неперервність у часі й територіальна розподіленість (експеримент проводиться одночасно в кількох регіонах), що вимагає функціонування усіх трьох блоків платформи (ГІС-аналіз, спільна робота й консультації експертів SVIT). Це забезпечує динаміку, розвиває навички аналізу ситуацій і планування дій на тривалу перспективу.

Отже, інтеграція ГІС-моделювання у STEM-освіту, забезпечена спеціалізованою електронною платформою, створює унікальні умови для формування в обдарованої молоді просторового мислення, необхідного для розв'язання комплексних задач, які потребують знань у сфері географії, інформатики, математики й інженерії.

Подолати виявлену методичну й інфраструктурну прогалину у STEM-освіті допоможе цілісна стратегія, що реалізується через розроблення просторово орієнтованої синтези — методичного підходу, який використовує ГІС як технологічний каталізатор міждисциплінарної взаємодії.

З огляду на це ключовим результатом дослідження є архітектурне та функціональне обґрунтування електронної платформи. Ця платформа забезпечує інфраструктурну основу для органі-

зації безперервних і територіально розподілених навчально-дослідницьких проєктів, інтегруючи ГІС-аналіз із передовими засобами інтелектуального пошуку (наприклад, CONFOR, Exalead) та дистанційної експертної підтримки (SVIT).

Такий підхід відкриває широкі можливості для впровадження розробленої методики через низку навчальних курсів, що мають просторову компоненту. Наприклад, у таких дисциплінах, як «Введення в ґрунтознавство», «Ландшафтна архітектура й урбаністика» або «Соціологічний і політичний аналіз», ГІС відіграє роль універсального інструменту, що суттєво полегшує освоєння основних наукових дисциплін і сприяє розвитку STEM-грамотності.

Отже, забезпечуючи доступ до цієї інтегрованої технології, освітні заклади можуть ефективно залучати учнів до колективної дослідницької праці. Це, своєю чергою, сприяє формуванню затребуваних суспільством компетенцій і повністю відповідає довгостроковій стратегії розвитку STEM-освіти в Україні.

Висновки та перспективи наукових досліджень. Дослідження засвідчило, що геоінформаційне моделювання є вагомим інструментом розвитку STEM-освіти, оскільки поєднує просторовий аналіз, математичні моделі, інженерні підходи й цифрові технології. Інтеграція ГІС у освітній процес створює умови для формування дослідницьких компетентностей, критичного мислення, здатності працювати з великими даними та здійснювати міждисциплінарний аналіз. Це особливо важливо для роботи з обдарованою молоддю, яка потребує розширеного інтелектуального середовища.

Проведений аналіз допоміг визначити ключові педагогічні й технологічні умови ефективного впровадження геоінформаційного моделювання в STEM-освіту. Серед них — створення доступної цифрової інфраструктури, підготовка педагогів до роботи з ГІС, наявність відкритих ресурсів для моделювання, можливість інтеграції реальних просторових даних у навчальні проєкти та використання хмарних інструментів для командної роботи.

Геоінформаційне моделювання продемонструвало високу ефективність у застосуванні для задач міждисциплінарної освіти: від проєктування STEM-досліджень до вивчення природних процесів, урбаністичних систем і техногенних ризиків. Використання реальних геоданих та ін-

струментів цифрового аналізу розширює можливості учнів формувати справжні дослідницькі кейси та презентувати їх у форматі проектних робіт, конкурсів і наукових досліджень.

Геоінформаційне моделювання у поєднанні з електронною підтримкою та STEM-технологіями створює комплексну інноваційну інфраструктуру, що сприяє розвитку обдарованої молоді, забезпечує умови для формування високого рівня дослідницьких компетентностей та інтегрує освітній процес у сучасний цифровий контекст.

Перспективи подальших досліджень полягають у проведенні масштабного педагогічного експерименту для емпіричної валідації ефективності створеної методики, а також у подальшому розробленні адаптивних навчальних траєкторій на основі інтеграції ГІС із технологіями штучного інтелекту.

Список використаних джерел

- Enhancing student engagement through interdisciplinary, international field-based research that tackles global issues / B. Higgs et al. *3rd EuroSoTL Conference*, June 13–14, 2019, Bilbao, Basque Country III Congreso EuroSoTL. Bilbao, País Vasco, 2019. Pp. 74–80.
- Jannah D. R., Sahrina A., Utomo D. H. The Effect of STEM Integrated Project Based Learning Model on Students' Critical Thinking Ability in Geography Subjects. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*. 2023. Vol. 30. № 1. Pp. 54–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.17977/um047v30i12023p54-61>.
- STEM, як інноваційна стратегія інтегрованої освіти: світовий досвід та перспективи / В. Танська та ін. *Перспективи та інновації науки (Серія «Психологія», Серія «Педагогіка», Серія «Медицина»)*. 2024. № 10 (44). С. 596–609. URL: <https://eprints.zu.edu.ua/41604/1/1.pdf> (дата звернення: 11.12.2025).
- Deng W., Shen X., Hao Y., Zhang H. Designing integrated STEM curriculum to enhance STEM literacy among middle school students: insights from Chinese context. *International Journal of Technology and Design Education*. 2025. Vol. 35. Pp. 1785–1804. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10798-025-09962-5>.
- Interdisciplinary Integration of Computational Thinking in K-12 Education: A Systematic Review / S. Yeni et al. *Informatics in Education*. 2024. Issue 1. Pp. 223–278. URL: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1252035> (дата звернення: 11.12.2025).
- Integrating Socio-scientific Reasoning into STEM Project-based Learning / J. Zheng et al. *International Society of the Learning Sciences*. 2024. Pp. 1187–1190. URL: https://repository.isls.org/bitstream/1/10653/1/ICLS2024_1187-1190.pdf (дата звернення: 12.12.2025).
- Shaban A. Digital Turn and Theorizing the Digital Geographies. *Digital Geographies — Theory, Space, and Communities* / ed. A. Shaban. Springer, Singapore, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-4734-4_2.
- Xiang X., Meadows M. E. Unveiling Environmental Complexity: Empowering High School Students Through Computer Simulations. *Curricular Changes in Geography Education* / eds.: M. Hardouin, C. Leininger-Frézal. Springer, Cham, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-96551-7_4.
- Alarfaj A., Alrashidi M. Revolutionizing gifted education: enhancing teachers' digital competence through fourth industrial revolution training. *Discover Sustainability*. 2025. Vol. 6. 159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00946-y>.
- Chen F., Lin Z., Li X. Research on the emerging technological intervention models in design education from a strategic perspective of global design education institutions. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. 41366. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25272-1>.
- Kayal A. Transformative Pedagogy: A Comprehensive Framework for AI Integration in Education. *Explainable AI for Education: Recent Trends and Challenges. Information Systems Engineering and Management* / eds.: T. Singh, S. Dutta, S. Vyas, Á. Rocha. 2024. Vol. 19. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-72410-7_14.
- Hickman J. Spatial thinking and GIS: developing and assessing student competencies. *International Reserch in Geographical and Environmental Education*. 2023. Vol. 32. Issue 2. Pp. 140–158. DOI: <https://doi.org/10.1080/10382046.2022.2138172>.
- Ercan S., Altan E. B., Taştan B., Dağ I. Integrating GIS into science classes to handle STEM education. *Journal of Turkish Science Education*. 2016. Issue 13. Pp. 30–43. URL: <https://www.researchgate.net/publication/311640219> (дата звернення: 12.12.2025).
- Рогульська О., Рудницька К., Дроздова В. Використання цифрових онлайн-інструментів для ефективної реалізації дистанційного навчання. *Acta Paedagogica Volynienses*. 2022. Т. 2. № 1. С. 161–169. DOI: <https://doi.org/10.32782/apv/2022.1.2.25>.
- Волянюк А. С. Сучасні цифрові інструменти як засіб мотивації майбутніх педагогів до наукових досліджень. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2025. № 18. С. 27–39. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2025.183>.
- Noroozi O., Schunn C., Schneider B., Banihashem S. K. Advancing peer learning with learning analytics and artificial intelligence. *International Journal*

- of Educational Technology in Higher Education. 2025. Vol. 22. 62.
DOI: <https://doi.org/10.1186/s41239-025-00559-5>.
17. Dovgyi S., Stryzhak O. Transdisciplinary Fundamentals of Information-Analytical Activity. *Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems* / eds.: M. Ilchenko, L. Uryvsky, L. Globa. 2021. Vol. 152. Springer, Cham.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_7.
 18. Architecture and Operation Algorithms of Mobile Core Network with Virtualization / L. Globa et al. *Mobile Computing*. 2019. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/69472> (дата звернення: 12.12.2025).
 19. Стрижак О. Є., Дем'яненко В. Б. Комп'ютерні онтології — технологічна основа формування освітніх інформаційних ресурсів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2011. Т. 22. № 2.
DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v22i2.419>.
 20. Stryzhak O., Prychodniuk V., Podlipaiev V. Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information. *Advances in Information and Communication Technologies. UKRMICO 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering* / eds.: M. Ilchenko, L. Uryvsky, L. Globa. 2019. Vol. 560. Springer, Cham.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_3.
 21. Дем'яненко В., Кальной С., Стрижак О. Онтологічні аспекти побудови е-сценарію супроводу процесу наукових досліджень учнів Малої академії наук України. *Інформаційні технології в освіті*. 2013. Вип. 15. С. 242–248.
DOI: <https://doi.org/10.14308/ite000413>.
 22. Özeren S., Top E. The effects of Augmented Reality applications on the academic achievement and motivation of secondary school students. *Malaysian Online Journal of Educational Technology*. 2023. Vol. 11. Issue 1. Pp. 25–40.
DOI: <https://doi.org/10.52380/mojet.2023.11.1.425>.
 23. Bibliometric analysis of the evolution of smart factories and sustainable manufacturing in Industry 4.0. / M. A. Adithya et al. *Discover Sustainability*. 2025. Vol. 6. 1179.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s43621-025-02034-7>.
 24. Pacala F., Turaev A., Sharipovich U., Addumuminov A. Professional development programs for STEM in-service-teachers in Arduino technology: a systematic review. *Information Technologies and Learning Tools*. 2025. Vol. 109. № 5. Pp. 237–256.
DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v109i5.6049>.
 25. Jannah, D. R., Sahrina, A., & Utomo, D. H. (2023). The Effect of STEM Integrated Project Based Learning Model on Students' Critical Thinking Ability in Geography Subjects. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 30 (1), 54–61.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17977/um047v30i12023p54-61>.
 26. Tanska, V., Maidaniuk, I., Ovcharenko, O., Denysenko, A., & Striletska, N. (2024). STEM, yak innovatsiina stratehiia intehrovanoi osvity: svitovyi dosvid ta perspektyvy [STEM as an innovative strategy of integrated education: global experience and perspectives]. *Perspektyvy ta innovatsii nauky (Seriiia "Psykhohiia", Seriiia "Pedahohika", Seriiia "Medytsyna") — Prospects and innovations of science (Series "Psychology", Series "Pedagogy", Series "Medicine")*, 10 (44), 596–609. Retrieved from <https://eprints.zu.edu.ua/41604/1/1.pdf> [in Ukrainian].
 27. Deng, W., Shen, X., Hao, Y., & Zhang, H. (2025). Designing integrated STEM curriculum to enhance STEM literacy among middle school students: insights from Chinese context. *International Journal of Technology and Design Education*, 35, 1785–1804.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10798-025-09962-5>.
 28. Yeni, S., Grgurina, N., Saeli, M., Hermans, F., Tolboom, J. L. J., & Barendsen, E. (2024). Interdisciplinary Integration of Computational Thinking in K-12 Education: A Systematic Review. *Informatics in Education*, 1, 223–278. Retrieved from <https://www.cceol.com/search/article-detail?id=1252035>.
 29. Zheng, J., Liu, S., Zhu, G., Li, S., Jiang, R., & Xie, C. (2024). Integrating Socio-scientific Reasoning into STEM Project-based Learning. *International Society of the Learning Sciences*, 1187–1190. Retrieved from https://repository.isls.org/bitstream/1/10653/1/ICLS2024_1187-1190.pdf.
 30. Shaban, A. (2024). Digital Turn and Theorizing the Digital Geographies. A. Shaban (Ed.), *Digital Geographies — Theory, Space, and Communities*. Springer, Singapore.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-4734-4_2.
 31. Xiang, X., & Meadows, M. E. (2025). Unveiling Environmental Complexity: Empowering High School Students Through Computer Simulations. M. Hardouin, C. Leininger-Frézal (Eds.), *Curricular Changes in Geography Education*. Springer, Cham.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-96551-7_4.
 32. Alarfaj, A., & Alrashidi, M. (2025). Revolutionizing gifted education: enhancing teachers' digital competence through fourth industrial revolution training. *Discover Sustainability*, 6, 159.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00946-y>.
 33. Chen, F., Lin, Z., & Li, X. (2025). Research on the emerging technological intervention models in design education from a strategic perspective of global design education institutions. *Scientific Reports*, 15, 41366.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25272-1>.

References

1. Higgs, B., Butler, F., Burnell, G., Whitaker, A., & O'Riordan, R. (2019). Enhancing student engagement through interdisciplinary, international field-based research that tackles global issues. *Proceedings of the 3rd EuroSoTL Conference*. (Pp. 74–80). Bilbao, Basque Country, Spain [in English].

11. Kayal, A. (2024). Transformative Pedagogy: A Comprehensive Framework for AI Integration in Education. T. Singh, S. Dutta, S. Vyas, Á. Rocha (Eds.), *Explainable AI for Education: Recent Trends and Challenges. Information Systems Engineering and Management*, 19. Springer, Cham.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-72410-7_14.
12. 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>.
13. Ercan, S., Altan, E. B., Taştan, B., & Dağ, I. (2016). Integrating GIS into science classes to handle STEM education. *Journal of Turkish Science Education*, 13, 30–43. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/311640219>.
14. Rohulska, O., Rudnitska, K., & Drozdova, V. (2022). Vykorystannia tsyfrovyykh onlain-instrumentiv dlia efektyvnoi realizatsii dystantsiinoho navchannia [The usage of digital online tools for effective implementation of distance learning]. *Acta Paedagogica Volynienses*, 2 (1), 161–169.
DOI: <https://doi.org/10.32782/apv/2022.1.2.25> [in Ukrainian].
15. Volianiuk, A. S. (2025). Suchasni tsyfrovi instrumenty yak zasib motyvatsii maibutnykh pedahohiv do naukovykh doslidzhen [Modern digital tools as a means of motivating future teachers for scientific research]. *Vidkryte osvritnie e-seredovyshe suchasnoho universytetu — Open Educational E-Environment of Modern University*, 18, 27–39.
DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2025.183> [in Ukrainian].
16. Noroozi, O., Schunn, C., Schneider, B., & Banihashem, S. K. (2025). Advancing peer learning with learning analytics and artificial intelligence. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 22, 62.
DOI: <https://doi.org/10.1186/s41239-025-00559-5>.
17. Dovgyi, S., & Stryzhak, O. (2021). Transdisciplinary Fundamentals of Information-Analytical Activity. M. Ilchenko, L. Uryvsky, L. Globa (Eds.), *Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*, 152. Springer, Cham.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_7.
18. Globa, L., Sulima, S., Skulysh, M., Dovgyi, S., & Stryzhak, O. (2019). Architecture and Operation Algorithms of Mobile Core Network with Virtualization. *Mobile Computing*. Retrieved from <https://www.intechopen.com/chapters/69472>.
19. Stryzhak, O. Ye., & Demianenko, V. B. (2011). Kompiuterni ontolohii — tekhnolohichna osnova formuvannia osvitiivskykh informatsiinykh resursiv [Computer ontology as technological basis of educational information resources formation]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia — Information Technologies and Learning Tools*, 22 (2).
DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v22i2.419> [in Ukrainian].
20. Stryzhak, O., Prychodniuk, V., & Podlipaiev, V. (2019). Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information. M. Ilchenko, L. Uryvsky, L. Globa (Eds.), *Advances in Information and Communication Technologies. UKRMICO 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering*. Springer, Cham.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_3.
21. Demianenko, V., Kalnoi, S., & Stryzhak, O. (2013). Ontolohichni aspekty pobudovy e-stsenariiu suprovodu protsesu naukovykh doslidzhen uchniv Maloi akademii nauk Ukrainy [Ontological aspects of constructing e-script support of scientific pupils researches of Minor academy of sciences of Ukraine]. *Informatsiini tekhnolohii v osviti — Journal of Information Technologies in Education*, 15, 242–248.
DOI: <https://doi.org/10.14308/ite000413> [in Ukrainian].
22. Özeren, S., & Top, E. (2023). The effects of Augmented Reality applications on the academic achievement and motivation of secondary school students. *Malaysian Online Journal of Educational Technology*, 11 (1), 25–40.
DOI: <https://doi.org/10.52380/mojet.2023.11.1.425>.
23. Adithya, M. A., Geetha, R., Sundar, S., Varghese, M. A., & Palanivel, R. V. (2025). Bibliometric analysis of the evolution of smart factories and sustainable manufacturing in Industry 4.0. *Discover Sustainability*, 6, 1179.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s43621-025-02034-7>.
24. Pacala, F., Turaev, A., Sharipovich, U., & Adduminov, A. (2025). Professional development programs for STEM in-service-teachers in Arduino technology: a systematic review. *Information Technologies and Learning Tools*, 109 (5), 237–256.
DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v109i5.6049>.

O. Ye. Stryzhak,
O. S. Kuzmenko,
Ye. A. Shapovalov,
D. V. Kasyanov

GEOSINFORMATION MODELING IN THE STEM EDUCATION SYSTEM: INTERDISCIPLINARY INTEGRATION AND FUNCTIONALITY OF ELECTRONIC SUPPORT FOR THE DEVELOPMENT OF GIFTED YOUTH

Abstract. The article presents a research devoted to the theoretical justification and development of an innovative methodology for the interdisciplinary integration of geographic information modeling (GIS) into the educational process based on STEM principles, specifically adapted for the effective support and development of gifted

youth. The current global trend towards digitalization and the strategic priority of STEM education necessitate forming integrated competencies in students, particularly those with high potential, to solve complex, real-world problems using cutting-edge technologies. The research was driven by several systemic contradictions. Firstly, the contradiction between the significant interdisciplinary and integrative potential of GIS as an ideal tool for realizing STEM education goals and the lack of developed, systemic methodologies and organizational models for its full implementation in interdisciplinary research. Secondly, the conflict between the high-level requirements of gifted youth for flexible, sophisticated, and individualized digital research tools, and the functional limitations of existing electronic educational platforms (LMS), which often fail to provide seamless GIS integration or accommodate the specific didactic demands of supporting advanced students. The main practical result of the research is the formation of comprehensive functional requirements for a specialized electronic platform designed for this advanced interdisciplinary activity. This platform must ensure seamless GIS integration — meaning students can perform spatial analysis (buffering, overlay, statistical queries) without leaving the educational environment. To support the high cognitive load and data complexity required by gifted students, the platform must support work with Big Data through advanced intelligent search modules. Specifically, the integration of tools utilizing mechanisms like CONFOR and Exalead is critical for efficient structural content analysis, automated creation of term trees, and dynamic categorization of vast arrays of scientific literature. This functionality accelerates the critical phase of literature review and knowledge formalization.

Keywords: GIS modeling, STEM education, gifted youth, interdisciplinary integration, electronic platform.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Стрижак Олександр Євгенійович — д. техн. наук, професор, заступник директора з наукової роботи, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, sae953@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4954-3650>

Кузьменко Ольга Степанівна — д. пед. наук, професор, учений секретар секретаріату Вченої ради, Донецький державний університет внутрішніх справ, м. Кропивницький, Україна; провідний науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, Kuzimenko12@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4514-3032>

Шапвалов Євген Анатолійович — канд. екон. наук, науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, Evgeny.ukr@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-3759-3506>

Касьянов Дмитро Володимирович — канд. філос. наук, старший науковий співробітник відділу створення та використання інтелектуальних мережних інструментів, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, d.kasianov@icloud.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-1915-3329>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Stryzhak O. Ye. — D. Sc. in Engineering, Professor, Deputy Director for Scientific Work, NC “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, sae953@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4954-3650>

Kuzmenko O. S. — D. Sc. in Pedagogy, Professor, Academic secretary of the Secretariat of the Academic Council, Donetsk State University of Internal Affairs, Kropyvnytskyi, Ukraine; Leading Researcher of the Department of Information and Didactic modelling, NC “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, Kuzimenko12@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4514-3032>

Shapovalov Ye. A. — PhD in Economic, Researcher of the Department of Information and Didactic Modeling, NC “Junior Academy of Science of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, Evgeny.ukr@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-3759-3506>

Kasyanov D. V. — PhD in Philosophy, Senior Researcher of Department of Creating and Using Intelligent Networking tools, NC “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, d.kasianov@icloud.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-1915-3329>

Рукопис надійшов до редакції / Received 26.09.2025

Рукопис прийнято до друку / Accepted 11.12.2025



Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License