



UDC 37.091.3:91]:004.8

DOI 10.35433/pedagogy.2(125).2026.17

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES AS A TOOL FOR MODERNIZING GEOGRAPHY DIDACTICS IN GENERAL SECONDARY EDUCATION

T. V. Yemchuk*

The article examines the didactic potential of artificial intelligence technologies in teaching geography in general secondary education institutions. The relevance of the issue is substantiated in the context of digital transformation of education, modernization of learning content, and implementation of innovative pedagogical practices. It is determined that the integration of artificial intelligence technologies into the educational process corresponds to current international and national trends in educational development and is aimed at improving learning effectiveness, personalizing instruction, and fostering students' research skills and digital competence.

The study analyzes contemporary scientific approaches to the use of artificial intelligence in education, including the works of foreign and Ukrainian scholars devoted to intelligent tutoring systems, adaptive learning platforms, automated assessment, and digital educational resources. It is established that the didactic feasibility of using AI technologies specifically in geography teaching, as well as their influence on the development of spatial thinking and geographical competence of students, remains insufficiently explored.

The article reveals the theoretical foundations of using artificial intelligence technologies in modern geography didactics on the basis of constructivist, sociocultural, and competence-based approaches. It characterizes the practical possibilities of applying AI and digital tools in geography education, including geographic information systems, satellite data, digital mapping platforms, adaptive systems, and generative tools. The didactic capabilities of modern resources are summarized in a table, and a conceptual model of integrating AI technologies into geography teaching is proposed.

The research shows that the use of artificial intelligence technologies contributes to increasing the visibility of learning materials, developing students' spatial thinking, analytical and research skills, and supporting individualized learning. At the same time, the main challenges related to academic integrity, teachers' digital competence, ethical use of digital resources, and personal data protection are identified. It is concluded that AI technologies represent a promising tool for modernizing geography didactics in general secondary education institutions.

Keywords: *artificial intelligence, geography didactics, geography education, general secondary education institutions, spatial thinking, digital technologies, geographical competence.*

* Candidate of Geographical Science (PhD in Geography), Associate Professor
(Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University)
t.iemchuk@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3533-9587

ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЯК ІНСТРУМЕНТ МОДЕРНІЗАЦІЇ ДИДАКТИКИ ГЕОГРАФІЇ У ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

Т. В. Ємчук

У статті досліджено дидактичний потенціал технологій штучного інтелекту в навчанні географії у закладах загальної середньої освіти. Обґрунтовано актуальність проблеми в умовах цифрової трансформації освіти, модернізації змісту навчання та впровадження інноваційних педагогічних практик. Визначено, що інтеграція технологій штучного інтелекту в освітній процес відповідає сучасним міжнародним і національним тенденціям розвитку освіти та спрямована на підвищення ефективності навчання, персоналізацію освітнього процесу, розвиток дослідницьких умінь і цифрової компетентності учнів.

Проаналізовано сучасні наукові підходи до використання штучного інтелекту в освіті, зокрема праці зарубіжних і українських учених, присвячені інтелектуальним навчальним системам, адаптивним платформам, автоматизованому оцінюванню та цифровим освітнім ресурсам. З'ясовано, що недостатньо дослідженими залишаються питання дидактичної доцільності використання AI-технологій саме у викладанні географії, їх впливу на формування просторового мислення та географічної компетентності учнів.

У статті розкрито теоретичні засади використання технологій штучного інтелекту в сучасній дидактиці географії на основі конструктивістського, соціокультурного та компетентнісного підходів. Охарактеризовано практичні можливості використання AI- та цифрових інструментів у навчанні географії, зокрема геоінформаційних систем, супутникових даних, цифрових картографічних платформ, адаптивних систем і генеративних інструментів. Узагальнено дидактичні можливості сучасних ресурсів у вигляді таблиці та запропоновано концептуальну модель інтеграції AI-технологій у навчання географії.

Встановлено, що використання технологій штучного інтелекту сприяє підвищенню наочності навчального матеріалу, розвитку просторового мислення, аналітичних і дослідницьких умінь учнів, а також індивідуалізації навчання. Водночас окреслено основні виклики, пов'язані з академічною доброчесністю, цифровою компетентністю вчителя, етичним використанням цифрових ресурсів і захистом персональних даних. Зроблено висновок, що AI-технології є перспективним інструментом модернізації дидактики географії в закладах загальної середньої освіти.

Ключові слова: штучний інтелект, дидактика географії, географічна освіта, заклади загальної середньої освіти, просторове мислення, цифрові технології, географічна компетентність.

Introduction of the issue. The rapid development of digital technologies in the twenty-first century has significantly transformed the educational landscape, giving rise to new approaches to organizing the learning process, updating educational content, and expanding the possibilities of pedagogical practice. One of the most promising directions of the digital transformation of education is the application of Artificial Intelligence (AI) technologies. Contemporary research indicates that artificial intelligence is gradually being integrated into various spheres of social life, particularly into the education system, where it is regarded as a tool for enhancing learning effectiveness, personalizing the educational process, optimizing pedagogical interaction, and improving the mechanisms for assessing

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток цифрових технологій у XXI столітті суттєво трансформує освітній простір, зумовлюючи появу нових підходів до організації навчального процесу, оновлення змісту освіти та розширення можливостей педагогічної діяльності. Одним із найбільш перспективних напрямів цифрової трансформації освіти є використання технологій штучного інтелекту (Artificial Intelligence, AI). Сучасні дослідження свідчать, що штучний інтелект поступово інтегрується у різні сфери суспільного життя, зокрема в систему освіти, де розглядається як інструмент підвищення ефективності навчання, персоналізації освітнього процесу, оптимізації педагогічної взаємодії та вдосконалення механізмів оцінювання навчальних досягнень учнів [11].

students' learning outcomes [11].

International organizations and research institutions emphasize that the implementation of AI technologies has considerable potential to address a number of pressing educational challenges. In particular, UNESCO documents highlight that artificial intelligence can contribute to the modernization of educational systems, broaden access to quality education, enhance the flexibility of learning, and promote the development of innovative pedagogical practices [21]. At the same time, the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) notes that generative artificial intelligence is already exerting a substantial influence not only on teaching and learning methods but also on forms of knowledge assessment, the nature of pedagogical interaction, and the overall organization of the educational process [17].

In contemporary educational research, artificial intelligence is viewed as a tool capable of supporting the learning process through intelligent tutoring systems, automated assessment, adaptive learning platforms, and learning analytics. Numerous studies emphasize that AI can facilitate personalized learning, analyze students' educational performance, identify learning difficulties, and recommend optimal educational pathways [9; 12; 23]. Furthermore, recent research findings confirm that the application of AI technologies can positively affect students' motivation to learn, cognitive engagement, participation in the educational process, and the overall quality of learning outcomes [9; 12].

Within the Ukrainian educational context, the relevance of this issue is reinforced by national strategic policy documents. In December 2021, the Cabinet of Ministers of Ukraine approved the Concept for the Development of Artificial Intelligence in Ukraine until 2030, which envisages the integration of AI technologies into education, the economy, public administration, cybersecurity, defense, and other sectors in order to ensure the country's long-term competitiveness [3]. Another important milestone in the modernization of the educational system was the Education 4.0: Ukrainian Sunrise

Міжнародні організації та наукові інституції наголошують, що впровадження AI-технологій має значний потенціал для вирішення низки актуальних проблем освіти. Зокрема, у документах ЮНЕСКО підкреслюється, що штучний інтелект може сприяти модернізації освітніх систем, розширенню доступу до якісної освіти, підвищенню гнучкості навчання та розвитку інноваційних педагогічних практик [21]. Водночас Організація економічного співробітництва та розвитку (OECD) зазначає, що генеративний штучний інтелект уже істотно впливає не лише на способи навчання, а й на форми оцінювання знань, характер педагогічної взаємодії та організацію освітнього процесу загалом [17].

У сучасній педагогічній науці штучний інтелект розглядається як інструмент, здатний підтримувати навчальний процес через використання інтелектуальних навчальних систем, автоматизованого оцінювання, адаптивних освітніх платформ та аналітики навчальних даних. У багатьох дослідженнях підкреслюється, що AI може забезпечувати індивідуалізацію навчання, аналізувати освітні результати учнів, виявляти навчальні труднощі та пропонувати оптимальні освітні траєкторії [9; 12; 23]. Крім того, результати сучасних досліджень підтверджують, що застосування AI-технологій здатне позитивно впливати на мотивацію учнів до навчання, їхню пізнавальну активність, рівень залученості в освітній процес і якість засвоєння навчального матеріалу [9; 12].

В українському освітньому просторі актуальність цієї проблематики посилюється державними стратегічними документами. У грудні 2021 року Кабінет Міністрів України затвердив Концепцію розвитку штучного інтелекту в Україні до 2030 року, яка передбачає інтеграцію AI-технологій у сферу освіти, економіки, публічного управління, кібербезпеки, оборони та інші галузі з метою забезпечення довгострокової конкурентоспроможності держави [3]. Важливим кроком у модернізації освітньої системи стала також програма трансформації "Освіта 4.0: український

transformation program, presented by the Ministry of Education and Science of Ukraine in 2022 [6]. Its central objective is to employ advanced digital technologies to improve the quality of education, prepare learners for life in a digital society, and foster their critical thinking, creative problem-solving abilities, professional adaptability, and lifelong learning competencies.

In this context, investigating the potential of artificial intelligence technologies in teaching geography at general secondary education institutions becomes particularly relevant. This is determined by the specific nature of geography as a school subject, which integrates natural, social, environmental, and spatial-analytical components. Its content is closely associated with the use of cartographic materials, geographic information systems (GIS), statistical data sources, satellite imagery, digital maps, and spatial models. Consequently, the implementation of AI technologies in school geography education should be regarded not merely as a means of diversifying classroom instruction but also as a factor contributing to the modernization of didactic approaches, the development of spatial thinking, research skills, and students' geographical competence.

At the same time, the use of artificial intelligence in education gives rise to a number of challenges related to academic integrity, the ethical use of digital resources, personal data protection, information reliability, and the need to develop new digital competencies among teachers. Therefore, investigating the didactic potential of AI technologies in geography education constitutes an important direction of contemporary educational research and pedagogical practice.

Current state of the issue. The application of artificial intelligence in education has become an active area of research among both international and Ukrainian scholars. Research in this field encompasses a broad range of issues, from the philosophical and theoretical foundations of educational digitalization to the analysis of the effectiveness of specific intelligent educational systems, adaptive

світанок", презентована Міністерством освіти і науки України у 2022 році [6]. Її ключова ідея полягає у використанні новітніх цифрових технологій для підвищення якості освітнього процесу, підготовки здобувачів освіти до життя в цифровому суспільстві та формування в них здатності до критичного мислення, творчого розв'язання проблем, професійної гнучкості та безперервного саморозвитку.

У цьому контексті особливої актуальності набуває дослідження можливостей використання технологій штучного інтелекту у викладанні географії в закладах загальної середньої освіти. Це зумовлено специфікою самого предмета, оскільки географія поєднує природничий, суспільний, екологічний та просторово-аналітичний компоненти. Її зміст безпосередньо пов'язаний із роботою з картографічними матеріалами, геоінформаційними системами, статистичними джерелами, супутниковими даними, цифровими картами та просторовими моделями. Саме тому використання AI-технологій у шкільній географічній освіті може виступати не лише як засіб урізноманітнення уроку, а як чинник оновлення дидактичних підходів, розвитку просторового мислення, дослідницьких умінь і географічної компетентності учнів.

Водночас використання штучного інтелекту в освіті породжує низку викликів, пов'язаних із питаннями академічної доброчесності, етичними аспектами використання цифрових ресурсів, захистом персональних даних, достовірністю інформації, а також необхідністю формування нових цифрових компетентностей педагогів. У зв'язку з цим дослідження дидактичного потенціалу AI-технологій у навчанні географії є важливим напрямом сучасної педагогічної науки і практики.

Аналіз наукових досліджень і публікацій. Проблема використання штучного інтелекту в освіті активно досліджується як зарубіжними, так і українськими вченими. Наукові праці в цій галузі охоплюють широкий спектр питань: від філософських і теоретичних засад цифровізації освіти до аналізу ефективності конкретних інтелектуальних

learning platforms, automated assessment, and the ethical challenges associated with the use of AI in education.

Among international researchers, a significant contribution to the development of the theory of artificial intelligence in education has been made by I. Lee, J. Lee, K. Lee, and G. Hwang, who, in their systematic review, analyzed the effectiveness of AI technologies in the educational process, particularly their impact on learning outcomes, student motivation, and the organization of the learning environment [13]. The researchers demonstrate that artificial intelligence is most effective when it is employed not as an isolated technology but as an integral component of a comprehensive pedagogical system.

In the works of S. Russell and P. Norvig, the possibilities of applying AI tools in teaching and learning are examined, particularly for the preparation of instructional materials, the organization of communication, the development of assessment tasks, and the support of personalized learning [20]. Thus, AI can be beneficial for both teachers and students; however, its effectiveness depends directly on teachers' pedagogical expertise, digital competence, and their ability to critically evaluate digital content.

A special place in contemporary research is occupied by the works of W. Holmes, M. Bialik, and C. Fadel, in which artificial intelligence in education is interpreted as a tool for supporting personalized learning, adaptive assessment, and pedagogical guidance [12]. The authors emphasize that AI should not be regarded as a substitute for teachers; rather, its greatest value lies in expanding teachers' capacity to differentiate instruction, analyze educational outcomes, and design individualized learning pathways.

Systematic reviews of contemporary research also confirm that the use of artificial intelligence can positively influence students' academic achievement, learning motivation, and the development of creative abilities. In particular, A. Vieri and G. Petrea emphasize that, when pedagogically integrated appropriately, AI technologies contribute to a deeper understanding of educational content and

освітніх систем, адаптивних платформ, автоматизованого оцінювання та етичних викликів застосування AI в навчанні.

Серед зарубіжних дослідників помітний внесок у розвиток теорії використання штучного інтелекту в освіті зробили І. Лі, Дж. Лі, К. Лі та Дж. Хванг, які в систематичному огляді проаналізували ефективність AI-технологій у навчальному процесі, зокрема їхній вплив на результати навчання, мотивацію учнів та організацію освітнього середовища [13]. Дослідники доводять, що штучний інтелект найбільш результативно проявляє себе в тих випадках, коли використовується не ізольовано, а як складник цілісної педагогічної системи.

У працях С. Рассела і П. Норвінга розглядаються можливості використання AI-інструментів у процесі викладання та навчання, зокрема для підготовки навчальних матеріалів, організації комунікації, створення тестових завдань та підтримки індивідуалізованого навчання [20]. Отже, AI може бути корисним як для вчителя, так і для учня, однак його ефективність безпосередньо залежить від рівня педагогічної майстерності, цифрової компетентності та вміння критично оцінювати цифровий контент.

Особливе місце в сучасних дослідженнях посідають праці В. Холмса, М. Біалік і Ч. Фадея, у яких штучний інтелект в освіті трактується як інструмент підтримки персоналізованого навчання, адаптивного оцінювання та педагогічного супроводу [12]. Автори зазначають, що AI не повинен розглядатися як заміна вчителя; навпаки, його найбільша цінність полягає в розширенні можливостей педагога щодо диференціації навчання, аналізу освітніх результатів та побудови індивідуальних навчальних траєкторій.

Систематичні огляди сучасних досліджень також підтверджують, що використання штучного інтелекту може позитивно впливати на академічну успішність учнів, рівень їхньої мотивації до навчання та розвиток творчих здібностей. Зокрема, А. Вієрі та Г. Петрія акцентують увагу на тому, що AI-технології за належної педагогічної інтеграції сприяють більш глибокому засвоєнню

enhance students' engagement in the learning process [22]. At the same time, H. Garzón, E. Patiño, and C. Marulanda highlight not only the advantages but also the challenges associated with the use of AI in education, including unequal access to digital resources, the risks of superficial learning, and ethical concerns [9].

Within the context of geography education, particular importance is attached to studies devoted to the use of geographic information systems (GIS), digital cartographic resources, satellite data, and spatial analysis technologies. M. Goodchild emphasizes that contemporary geography increasingly relies on the analysis of large datasets, geographic information systems, and digital modeling of spatial processes [10]. This, in turn, creates favorable conditions for integrating AI into geography education, as the subject inherently involves systematic work with spatial information, maps, statistical data, and analytical materials.

Ukrainian scholars also devote considerable attention to the issues of educational digitalization and the application of AI technologies in the teaching and learning process. The works of A. Kolomiets, O. Kushnir, and other researchers address the integration of artificial intelligence into educational environments, the development of teachers' digital competence, methodological support for the implementation of modern technologies, and the regulatory framework for the digital transformation of education [1; 4].

Therefore, the analysis of scholarly research indicates that artificial intelligence represents a promising direction for the development of contemporary didactics. At the same time, further investigation is required into the pedagogical appropriateness of applying AI technologies specifically in geography education, the peculiarities of their integration into classroom instruction, the didactic functions of individual digital resources, as well as the impact of AI on the development of students' spatial thinking and geographical competence.

Outline of unresolved issues brought up in the article. Despite the substantial

навчального матеріалу та посиленню залучення учнів до освітнього процесу [22]. Натомість Х. Гарсон, Е. Патіньйо та К. Маруланда підкреслюють не лише переваги, а й виклики використання AI в освіті, зокрема пов'язані з нерівністю доступу до цифрових ресурсів, ризиками формального навчання та проблемами етичного характеру [9].

У контексті географічної освіти важливого значення набувають дослідження, присвячені використанню геоінформаційних систем, цифрових картографічних ресурсів, супутникових даних і технологій просторового аналізу. М. Гудчайлд підкреслюють, що сучасна географія дедалі більше спирається на аналіз великих масивів даних, геоінформаційні системи та цифрове моделювання просторових процесів [10]. Це, своєю чергою, створює сприятливе підґрунтя для інтеграції AI у навчання географії, оскільки саме цей предмет передбачає системну роботу з просторовою інформацією, картами, статистичними та аналітичними матеріалами.

Українські науковці також приділяють значну увагу проблемам цифровізації освіти та використання AI-технологій у навчальному процесі. У працях А. Коломієць, О. Кушнір та інших дослідників розглядаються питання інтеграції штучного інтелекту в освітнє середовище, формування цифрової компетентності педагогів, методичного супроводу використання сучасних технологій та нормативного забезпечення цифрової трансформації освіти [1; 4].

Отже, аналіз наукових досліджень свідчить, що штучний інтелект є перспективним напрямом розвитку сучасної дидактики. Водночас подальшого вивчення потребують питання педагогічної доцільності використання AI-технологій саме в навчанні географії, особливостей їх інтеграції в урок, дидактичних функцій окремих цифрових ресурсів, а також впливу AI на формування просторового мислення та географічної компетентності учнів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Попри значну кількість наукових досліджень,

body of research devoted to the application of artificial intelligence technologies in education, several aspects remain insufficiently explored. In particular, contemporary educational research has paid insufficient attention to the didactic features of integrating AI technologies into geography teaching in general secondary education institutions.

Most scholarly studies focus on the general issues of applying artificial intelligence in education, whereas the specific application of AI tools in teaching individual academic subjects, particularly geography, requires more in-depth investigation. Insufficient attention has been devoted to the didactic appropriateness of using specific digital and AI tools, their impact on the development of students' geographical competence, and their role in fostering spatial thinking.

Furthermore, scholarly literature lacks systematic approaches to the classification of digital and AI-based resources that can be used in the school geography curriculum, as well as methodological recommendations for their integration into the educational process. The number of studies aimed at analyzing the pedagogical conditions necessary for the effective implementation of AI technologies within the context of contemporary didactics also remains limited.

Thus, there is a need for a comprehensive investigation of the didactic potential of artificial intelligence technologies in geography education, which determines the relevance of the present study.

Aim of the research is to analyze the didactic potential of artificial intelligence technologies and to identify the prospects for their application in geography education in general secondary education institutions.

Results and discussion. The integration of artificial intelligence technologies into the educational process is grounded in the fundamental principles of educational theory and contemporary concepts of digital education. The use of AI in the didactics of geography should be regarded not merely as a technological innovation but as a component of the transformation of the educational paradigm, combining traditional pedagogical approaches with new digital

присвячених використанню технологій штучного інтелекту в освіті, низка аспектів залишається недостатньо розробленою. Зокрема, у сучасній педагогічній науці недостатньо уваги приділено дидактичним особливостям інтеграції AI-технологій у навчання географії в закладах загальної середньої освіти.

Більшість наукових праць зосереджена на загальних питаннях використання штучного інтелекту в освіті, тоді як специфіка застосування AI-інструментів у викладанні окремих навчальних дисциплін, зокрема географії, потребує більш глибокого аналізу. Недостатньо дослідженими залишаються питання дидактичної доцільності використання конкретних цифрових і AI-інструментів, їх впливу на формування географічної компетентності учнів та розвиток просторового мислення.

Крім того, у науковій літературі відсутні систематизовані підходи до класифікації цифрових і AI-ресурсів, що можуть бути використані у шкільному курсі географії, а також методичні рекомендації щодо їх інтеграції у навчальний процес. Обмеженою є і кількість досліджень, спрямованих на аналіз педагогічних умов ефективного використання AI-технологій у контексті сучасної дидактики.

Таким чином, існує потреба у комплексному дослідженні дидактичного потенціалу технологій штучного інтелекту в навчанні географії, що й зумовлює актуальність цього дослідження.

Метою статті є аналіз дидактичного потенціалу технологій штучного інтелекту та визначення перспектив їх використання у навчанні географії в закладах загальної середньої освіти.

Виклад основного матеріалу. Інтеграція технологій штучного інтелекту у навчальний процес ґрунтується на фундаментальних положеннях педагогічної теорії та сучасних концепціях цифрової освіти. Використання AI у дидактиці географії слід розглядати не лише як технологічну інновацію, а як складову трансформації освітньої парадигми, що поєднує традиційні педагогічні підходи з новими цифровими інструментами навчання.

Сучасна дидактика розглядає

learning tools.

Contemporary didactics views the educational process as a complex system of interaction among students, teachers, and the learning environment. The theoretical foundations of this interaction have evolved from classical pedagogical concepts, particularly constructivism and sociocultural learning theory. One of the key theoretical foundations of contemporary didactics is the constructivist approach developed in the works of J. Piaget. According to his theory, knowledge is not transmitted directly from teacher to student but is constructed through the learner's active cognitive engagement [18]. In the context of geography education, this implies the need to create conditions that enable students to independently analyze cartographic materials, spatial data, statistical information, and natural as well as socio-economic processes.

L. Vygotsky's sociocultural theory emphasizes the crucial role of social interaction in the process of knowledge construction. The scholar developed the concept of the *zone of proximal development*, according to which learning is most effective when students receive appropriate support while performing more complex tasks [7]. In today's digital educational environment, such support can be provided by intelligent tutoring systems, adaptive learning platforms, digital assistants, and other AI tools that help students understand educational content, obtain clarification, and receive individualized explanations.

Within the didactics of geography, the concept of spatial thinking occupies a central position. Researchers from the National Research Council emphasize that the development of spatial thinking is one of the primary objectives of geography education, as it enables students to analyze spatial patterns of natural and social processes, interpret maps, models, and spatial data [16]. Contemporary digital technologies, including Geographic Information Systems (GIS), remote sensing, interactive cartographic platforms, and digital visualization tools, considerably expand the opportunities for developing these competencies.

Particular attention has been devoted by

навчальний процес як складну систему взаємодії учнів, учителя та навчального середовища. Теоретичні засади цієї взаємодії сформувалися на основі класичних педагогічних концепцій, зокрема конструктивізму та соціокультурної теорії навчання. Однією з ключових теоретичних основ сучасної дидактики є конструктивістський підхід, сформульований у працях Ж. Піаже. Згідно з його концепцією, знання не передаються безпосередньо від учителя до учня, а формуються у процесі активної пізнавальної діяльності самого учня [18]. У контексті географічної освіти це означає необхідність створення умов для самостійного аналізу картографічних матеріалів, просторових даних, статистичної інформації, природних і соціально-економічних процесів.

Соціокультурна теорія Л. Виготського підкреслює важливу роль соціальної взаємодії у процесі формування знань. Учений обґрунтував концепцію *зони найближчого розвитку*, відповідно до якої навчання є найбільш ефективним тоді, коли учень отримує підтримку під час виконання складніших завдань [7]. У сучасному цифровому освітньому середовищі таку підтримку можуть забезпечувати інтелектуальні навчальні системи, адаптивні платформи, цифрові помічники та інші AI-інструменти, які допомагають учневі зрозуміти матеріал, отримати уточнення чи індивідуальне пояснення.

У дидактиці географії важливе значення має концепція просторового мислення. Дослідники Національної дослідницької ради США (National Research Council) підкреслюють, що формування просторового мислення є однією з ключових цілей географічної освіти, оскільки саме воно дає змогу учням аналізувати просторові закономірності природних і суспільних процесів, інтерпретувати карти, моделі та просторові дані [16]. Сучасні цифрові технології, включаючи геоінформаційні системи, дистанційне зондування Землі, інтерактивні картографічні платформи та цифрові візуалізації, суттєво розширюють можливості формування таких компетентностей.

researchers to intelligent tutoring systems. According to B. Woolf, such systems employ artificial intelligence algorithms to model students' knowledge, predict their learning difficulties, and provide individualized recommendations throughout the learning process [23]. In geography education, this opens significant opportunities for adapting task complexity to students' levels of preparedness, supporting the completion of analytical exercises, assisting in work with spatial data, and personalizing individual learning pathways.

Therefore, the theoretical foundations of the application of AI technologies in contemporary geography didactics are based on the integration of classical pedagogical concepts with modern digital approaches to organizing the educational process. Such integration creates preconditions for updating geography teaching methods, strengthening the research-oriented nature of geography education, and developing the competencies that students require for successful participation in a digital society.

The development of digital technologies has significantly expanded the possibilities for applying innovative teaching methods in the school geography curriculum. Among these technologies, artificial intelligence systems occupy a particularly important place, as they can be used to analyze geographical data, model natural processes, visualize complex information, and support personalized learning.

For geography as an academic discipline, this is of particular importance because its content is directly associated with spatial information, cartographic data, statistical materials, natural processes, and socio-economic phenomena. Consequently, the application of AI technologies in geography education makes it possible not only to diversify the presentation of educational content but also to make the learning process more scientifically grounded, visual, inquiry-based, and practice-oriented.

One of the most promising directions in the application of contemporary digital technologies to geography education is the use of Geographic Information Systems (GIS). Geographic Information Systems are integrated software environments designed for the collection, storage, analysis, and

Особливу увагу дослідники приділяють інтелектуальним навчальним системам. За визначенням Б. Вулф, такі системи використовують алгоритми штучного інтелекту для моделювання знань учня, прогнозування його труднощів та надання індивідуальних рекомендацій у процесі навчання [23]. Для географічної освіти це відкриває важливі можливості: адаптацію складності завдань до рівня підготовки учнів, допомогу у виконанні аналітичних вправ, підтримку в роботі з просторовими даними та індивідуалізацію освітньої траєкторії.

Отже, теоретичні основи використання AI-технологій у сучасній дидактиці географії базуються на поєднанні класичних педагогічних концепцій із сучасними цифровими підходами до організації навчання. Саме таке поєднання створює передумови для оновлення методів навчання географії, посилення її дослідницького характеру та формування в учнів компетентностей, необхідних для життя в цифровому суспільстві.

Розвиток цифрових технологій значно розширив можливості використання інноваційних методів навчання у шкільному курсі географії. Особливе місце серед таких технологій займають системи штучного інтелекту, які можуть застосовуватися для аналізу географічних даних, моделювання природних процесів, візуалізації складної інформації та підтримки індивідуалізованого навчання.

Для географії як навчальної дисципліни це має особливе значення, оскільки її зміст безпосередньо пов'язаний із просторовою інформацією, картографічними даними, статистичними матеріалами, природними процесами та соціально-економічними явищами. Саме тому застосування AI-технологій у географічній освіті дає змогу не лише урізноманітнити подачу навчального матеріалу, а й зробити процес навчання більш науково обґрунтованим, наочним, дослідницьким і практично орієнтованим.

Одним із найбільш перспективних напрямів використання сучасних цифрових технологій у географічній освіті є застосування геоінформаційних систем (GIS). Геоінформаційні системи являють

visualization of spatial data. According to M. Goodchild, GIS enables the analysis of spatial relationships between natural and socio-economic phenomena, as well as the modeling of complex spatial processes [10]. Within the educational process, the use of GIS contributes to the development of students' skills in working with geographical information, enhances spatial and analytical thinking, and deepens their understanding of the interrelationships within the Earth's geographical envelope.

In the practice of teaching geography at general secondary education institutions, various GIS tools may be employed, including ArcGIS Online, Google Earth, QGIS, and interactive cartographic platforms. The use of these resources enables students to investigate landforms, analyze demographic and climatic indicators, examine the distribution of natural resources, explore urbanization processes, and study regional environmental issues.

Another important direction involves the use of satellite data and remote sensing materials. Satellite imagery allows students to investigate real changes in the natural environment, analyze climatic transformations, monitor vegetation cover, examine urbanization processes, observe shoreline changes, detect deforestation, and study other geographical phenomena. According to the research of M. Reichstein and colleagues, combining satellite data with machine learning algorithms significantly improves the accuracy of analyzing natural processes [19]. Within the school geography curriculum, this provides extensive opportunities for fostering an inquiry-based approach to learning, in which students work not only with textbook information but also with authentic real-world data.

Artificial intelligence can also be employed for the automated analysis of geographical information. Machine learning algorithms make it possible to process large volumes of spatial data and identify patterns that are difficult to detect using traditional analytical methods. According to H. Miller and M. Goodchild, contemporary geography is increasingly becoming a data-intensive science based on the analysis of large-scale

собою комплекс програмних засобів для збору, зберігання, аналізу та візуалізації просторових даних. За визначенням М. Гудчайлда, GIS дають змогу аналізувати просторові взаємозв'язки між природними та соціально-економічними явищами, а також моделювати складні просторові процеси [10]. У навчальному процесі використання GIS сприяє формуванню в учнів навичок роботи з географічною інформацією, розвитку просторового й аналітичного мислення, а також поглибленню розуміння взаємозв'язків у географічній оболонці Землі.

У практиці викладання географії в закладах загальної середньої освіти можуть застосовуватися різні GIS-інструменти, зокрема ArcGIS Online, Google Earth, QGIS та інтерактивні картографічні платформи. Використання таких ресурсів дозволяє учням досліджувати рельєф територій, аналізувати демографічні та кліматичні показники, вивчати структуру природних ресурсів, досліджувати урбанізаційні процеси та екологічні проблеми регіонів.

Важливим напрямом є також використання супутникових даних і матеріалів дистанційного зондування Землі. Супутникові знімки дозволяють досліджувати реальні зміни у природному середовищі, аналізувати кліматичні трансформації, стан рослинного покриву, процеси урбанізації, зміни берегової лінії, вирубування лісів та інші явища. За даними досліджень М. Райхштайна та співавторів, поєднання супутникових даних із алгоритмами машинного навчання значно підвищує точність аналізу природних процесів [19]. У шкільному курсі географії це відкриває широкі можливості для формування дослідницького підходу до навчання, коли учні працюють не лише з готовою інформацією підручника, а й із реальними даними.

Штучний інтелект може застосовуватися і для автоматизованого аналізу географічної інформації. Алгоритми машинного навчання дають змогу обробляти великі масиви просторових даних та виявляти закономірності, які складно помітити

datasets [15]. In school education, this enables students to develop competencies in analyzing climatic indicators, statistical materials, cartographic data, and forecasting selected natural and socio-economic phenomena.

Another important application is the personalization of learning. Adaptive educational systems and AI tools can analyze students' learning outcomes and recommend individualized learning pathways. R. Luckin, W. Holmes, M. Griffiths, and L. Forcier argue that artificial intelligence makes it possible to create personalized learning environments that take into account students' prior knowledge, learning pace, error patterns, and individual educational needs [14]. In geography education, this may be reflected in varying the complexity of learning tasks, selecting cartographic materials of different levels of difficulty, and generating individualized exercises and explanations for complex topics.

In addition, contemporary generative AI tools can be used by teachers to create assessment tasks, discussion questions, case studies, concise explanatory texts, instructional scenarios, interactive exercises, and review materials. However, in such cases, teachers must perform the role of critically evaluating the generated content, verifying the accuracy of information, and adapting educational materials to the age-specific characteristics and learning needs of students.

Thus, the practical possibilities of applying AI technologies in geography education include the visualization of spatial objects, the analysis of geographical data, the use of satellite imagery, the support of inquiry-based learning, and the personalization of the educational process. These opportunities make geography education more contemporary, visual, analytical, competency-based, and aligned with the demands of modern education.

традиційними методами. За словами Х. Міллера та М. Гудчайлда, сучасна географія дедалі більше стає наукою, що ґрунтується на аналізі великих обсягів даних [15]. У шкільному навчанні це дозволяє формувати в учнів навички аналізу кліматичних показників, статистичних матеріалів, картографічних даних та прогнозування окремих природних і соціально-економічних явищ.

Ще одним важливим напрямом є персоналізація навчання. Адаптивні освітні системи й AI-інструменти можуть аналізувати результати навчальної діяльності учнів і пропонувати індивідуальні освітні траєкторії. Дослідники Р. Лакін, В. Голмс, М. Гріффітс та Л. Форсьє зазначають, що використання штучного інтелекту дає можливість створювати персоналізовані освітні середовища, які враховують рівень підготовки учнів, темп засвоєння навчального матеріалу, характер помилок та індивідуальні освітні потреби [14]. У навчанні географії це може проявлятися у варіюванні складності завдань, доборі картографічних матеріалів різного рівня, створенні індивідуалізованих вправ і пояснень до складних тем.

Крім того, сучасні генеративні AI-інструменти можуть використовуватися вчителем для створення тестових завдань, запитань до дискусії, ситуативних задач, коротких пояснювальних текстів, навчальних сценаріїв, інтерактивних вправ та матеріалів для повторення. Однак у такому разі педагог має виконувати функцію критичного відбору, перевірки точності інформації та дидактичної адаптації змісту до вікових особливостей учнів.

Таким чином, практичні можливості використання AI-технологій у навчанні географії охоплюють візуалізацію просторових об'єктів, аналіз географічних даних, роботу з супутниковими знімками, підтримку дослідницької діяльності та персоналізацію освітнього процесу. Це робить навчання географії більш сучасним, наочним, аналітичним і компетентісно орієнтованим.

Table 1

Didactic Opportunities for the Use of AI and Digital Tools in Geography Education in General Secondary Education Institutions

Digital or AI Tool	Didactic Function	Example of Use in Geography Lessons
Google Earth	Visualization of geographical features and the development of spatial thinking	Exploring Earth's landforms, analyzing urbanization, and studying natural zones
ArcGIS Online	Analysis and interpretation of spatial data	Creating thematic maps of population, climate, or natural resources
NASA Earth Data	Working with satellite data	Analyzing climate change and monitoring the condition of the atmosphere and oceans
Copernicus Data Space	Analysis of environmental and natural processes	Investigating deforestation and land-use changes
ChatGPT	Generation of educational tasks and explanation of complex topics	Creating quizzes, case-based tasks, and explanations of geographical processes
QGIS	Development of skills in working with geographical data	Creating thematic maps and analyzing geographical information
LearningApps	Interactive reinforcement of knowledge	Designing cartographic exercises and geography quizzes
Kahoot!	Assessment and evaluation of students' knowledge	Conducting interactive quizzes on topics from the school geography curriculum

The analysis of the tools presented in Table 1 indicates that the use of digital and AI technologies in geography education contributes to improving the visualization of educational content, fostering students' spatial thinking, developing research competencies [2], and strengthening the practical orientation of classroom instruction. At the same time, the effectiveness of these resources depends on the didactic appropriateness of their selection, the teacher's level of professional preparedness, and the alignment of the selected tools with the objectives of a particular lesson.

The use of artificial intelligence technologies in contemporary education opens up new opportunities for improving the educational process. In the context of geography education, one of the principal advantages of AI is its ability to enhance the effectiveness of learning through the integration of visualization, analytical methods, inquiry-based activities, and personalized learning approaches.

Аналіз представлених у таблиці 1 інструментів свідчить, що використання цифрових та AI-технологій у навчанні географії сприяє підвищенню наочності навчального матеріалу, розвитку просторового мислення учнів, формуванню дослідницьких компетентностей [2] і посиленню практичної спрямованості уроків. Водночас ефективність застосування таких ресурсів залежить від дидактичної доцільності їх добору, рівня підготовки вчителя та відповідності інструментів цілям конкретного уроку.

Використання технологій штучного інтелекту у сучасній освіті відкриває нові можливості для вдосконалення навчального процесу. У контексті навчання географії однією з головних переваг AI є можливість підвищення ефективності освітнього процесу через поєднання наочності, аналітики, дослідницької діяльності та персоналізованого підходу.

Отже, для використання

Therefore, the use of intelligent educational systems has a positive impact on learning outcomes, increases students' motivation, and promotes the development of their research skills. For geography education, particular value lies in the possibilities of visualizing, modeling, and analyzing spatial processes, as these provide students with a deeper understanding of the interrelationships between natural and socio-economic phenomena.

Another significant advantage is the opportunity to personalize the educational process. Contemporary adaptive learning systems can analyze students' learning performance and recommend individualized learning pathways. This makes it possible to take into account students' prior knowledge, learning pace, the complexity of individual topics, and the nature of their typical errors. In geography teaching, such personalization can contribute to the more effective development of cartographic skills, spatial analysis competencies, and the ability to work with various types of geographical data.

At the same time, the use of AI technologies in school education is associated with a number of challenges. One of the key issues concerns academic integrity. Generative AI systems may be used by students not only as learning support tools but also as a means of avoiding independent cognitive activity. Consequently, there is a growing need to revise approaches to assessing learning outcomes, with greater emphasis placed on the learning process itself, students' reasoning, oral responses, and practical classroom activities.

Another important aspect is teachers' level of digital competence. The effective use of AI in geography education requires teachers not only to be proficient in digital tools but also to understand their didactic functions, integrate them appropriately into lesson design, and critically evaluate the reliability of the information they generate. Without adequate methodological support, even advanced technologies may be used only formally, without producing genuine improvements in the quality of

інтелектуальних освітніх систем позитивно впливає на результати навчання, підвищує рівень мотивації учнів і сприяє формуванню їхніх дослідницьких умінь. Для географічної освіти особливу цінність мають можливості візуалізації, моделювання та аналізу просторових процесів, оскільки саме вони забезпечують більш глибоке розуміння взаємозв'язків між природними та суспільними явищами.

Суттєвою перевагою є й можливість персоналізації навчального процесу. Сучасні адаптивні системи можуть аналізувати результати діяльності учнів та пропонувати індивідуальні освітні траєкторії. Це дає змогу враховувати рівень підготовки учнів, їхній темп роботи, складність окремих тем і характер типових помилок. У викладанні географії така персоналізація може сприяти більш ефективному формуванню картографічних умінь, навичок просторового аналізу та вміння працювати з різними типами даних.

Разом із тим використання AI-технологій у шкільній освіті пов'язане з низкою викликів. Однією з ключових проблем є питання академічної доброчесності. Генеративні AI-системи можуть використовуватися учнями не лише як засіб підтримки навчання, а й як спосіб уникнення самостійної пізнавальної діяльності. У зв'язку з цим зростає потреба в оновленні підходів до оцінювання результатів навчання, зокрема в посиленні уваги до процесу виконання завдань, аргументації, усних відповідей та практичної діяльності учнів.

Іншим важливим аспектом є рівень цифрової компетентності педагогів. Ефективне використання AI в навчанні географії потребує від учителя не лише володіння цифровими інструментами, а й розуміння їхньої дидактичної функції, уміння інтегрувати їх у структуру уроку та критично оцінювати достовірність отриманої інформації. Без належного методичного супроводу навіть сучасні технології можуть використовуватися формально, не забезпечуючи реального покращення якості навчання.

Крім того, використання AI-технологій

education.

Furthermore, the implementation of AI technologies in education raises issues related to personal data protection, the ethical use of digital resources, and the transparency of algorithmic processes. UNESCO's recommendations emphasize the necessity of ensuring the safe, equitable, and responsible use of artificial intelligence in education [21]. This implies that the integration of AI into school practice should be accompanied not only by appropriate technological infrastructure but also by the development of a culture of ethical digital technology use among both teachers and students.

Despite these challenges, most researchers agree that AI technologies possess considerable potential for advancing contemporary education. Promising directions for school geography education include the use of adaptive learning systems, the integration of Geographic Information Systems (GIS), the analysis of satellite data, the development of digital cartographic literacy, and the promotion of inquiry-based learning. In the future, these technologies may become important tools for improving the quality of geography education, fostering students' contemporary competencies, and bringing school education closer to authentic practices of spatial analysis.

Based on the conducted analysis, a conceptual model for integrating AI technologies into geography education in general secondary education institutions was developed (Figure 1). The model illustrates the relationships among AI tools, digital geographical resources, teaching methods, and educational outcomes.

The proposed didactic model for the application of AI technologies in geography education in general secondary education institutions reflects the logical sequence of integrating contemporary digital tools into the educational process.

Therefore, the proposed model demonstrates that AI technologies in geography education should be regarded as a tool that establishes connections between digital resources, contemporary didactic methods, and competency-based learning outcomes.

у навчанні актуалізує питання захисту персональних даних, етичного використання цифрових ресурсів та прозорості алгоритмів. У рекомендаціях ЮНЕСКО підкреслюється необхідність безпечного, справедливого та відповідального застосування штучного інтелекту в освіті [21]. Це означає, що інтеграція AI у шкільну практику має супроводжуватися не лише технічним забезпеченням, а й формуванням у педагогів і учнів культури етичного використання цифрових технологій.

Попри зазначені виклики, більшість дослідників вважає, що використання AI-технологій має значний потенціал для розвитку сучасної освіти. Перспективними напрямками для шкільної географічної освіти є використання адаптивних освітніх систем, інтеграція геоінформаційних технологій, аналіз супутникових даних, розвиток цифрової картографічної грамотності та дослідницького підходу до навчання. У майбутньому ці технології можуть стати важливим інструментом підвищення якості навчання географії, формування сучасних компетентностей учнів і наближення шкільної освіти до реальних практик просторового аналізу.

На основі проведеного аналізу було розроблено концептуальну модель інтеграції AI-технологій у навчання географії в закладах загальної середньої освіти (рис. 1). Вона відображає взаємозв'язок між використанням AI-інструментів, цифрових географічних ресурсів, методів навчання та освітніх результатів.

Запропонована дидактична модель використання AI-технологій у навчанні географії у закладах загальної середньої освіти відображає логічну послідовність інтеграції сучасних цифрових інструментів в освітній процес.

Отже, представлена модель демонструє, що AI-технології у навчанні географії доцільно розглядати як інструмент, який забезпечує зв'язок між цифровими ресурсами, сучасними дидактичними методами та компетентнісними результатами навчання.

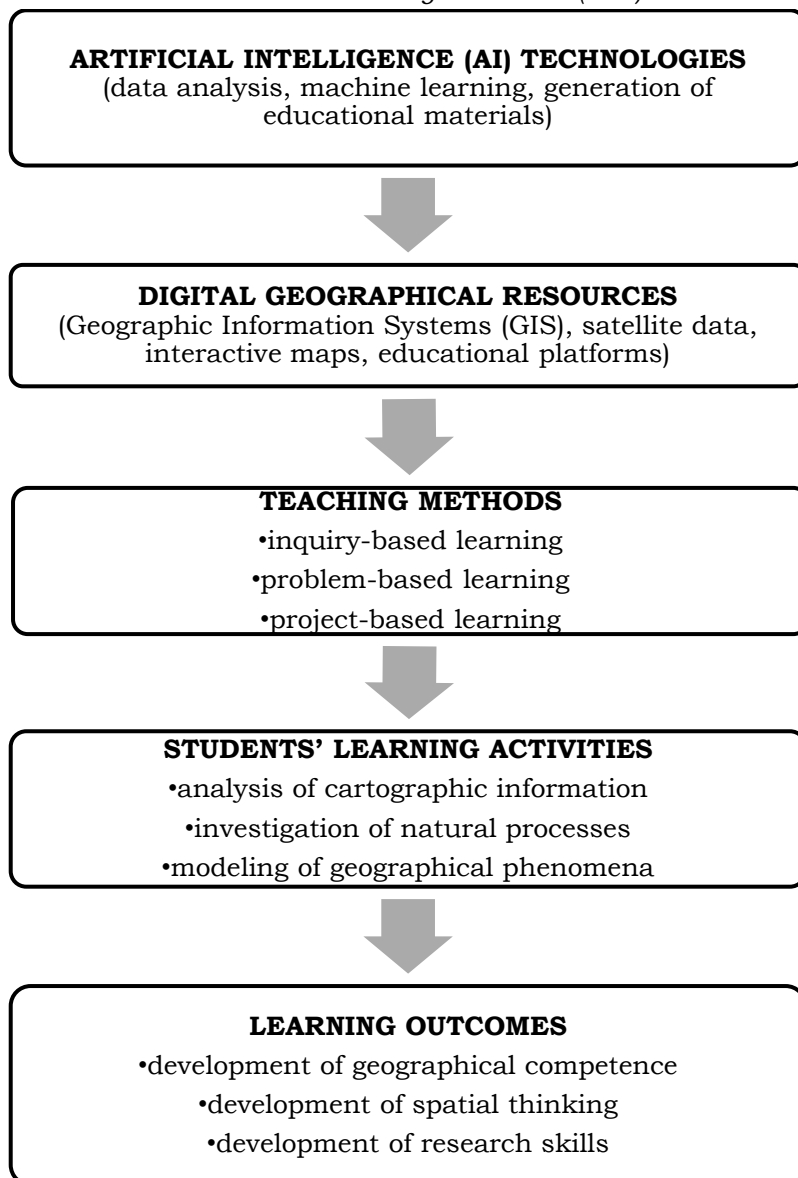


Fig. 1. Conceptual Model for Integrating AI Technologies into Geography Education in General Secondary Education Institutions

Conclusions and research perspectives. In the context of the ongoing digital transformation of education, the use of artificial intelligence technologies has become increasingly important for modernizing the educational process and updating the content of school education. The analysis of scholarly literature and contemporary educational practices conducted in this study demonstrates the considerable potential of AI technologies for advancing the didactics of geography in general secondary education institutions.

The study found that the integration of artificial intelligence into the educational process is grounded in contemporary pedagogical approaches, including

Висновки та перспективи досліджень. У сучасних умовах цифровізації освіти використання технологій штучного інтелекту набуває важливого значення для модернізації навчального процесу та оновлення змісту шкільної освіти. Проведений аналіз наукових джерел і сучасних освітніх практик свідчить про значний потенціал AI-технологій у розвитку сучасної дидактики географії в закладах загальної середньої освіти.

У ході дослідження встановлено, що інтеграція штучного інтелекту в навчальний процес ґрунтується на сучасних педагогічних підходах, зокрема конструктивістській теорії навчання,

constructivist learning theory, the sociocultural theory of learning and development, and the competency-based approach to education. Within the context of geography education, particular importance is also attached to the concept of spatial thinking, which determines the specific application of digital cartographic resources, Geographic Information Systems (GIS), satellite data, and spatial analysis technologies.

The findings indicate that the use of AI technologies in geography education offers substantial didactic opportunities. In particular, the application of Geographic Information Systems, satellite data, interactive cartographic platforms, and adaptive educational tools enhances the visualization of educational content, promotes a deeper understanding of geographical processes, develops students' skills in working with geographical information, and fosters spatial thinking as well as research competencies. Another important direction is the use of AI tools for data analysis, process modeling, and the creation of educational materials.

The study systematized the didactic opportunities offered by contemporary AI and digital tools in geography education, as presented in Table 1, and developed a conceptual model for integrating AI technologies into the educational process. This makes it possible to regard the use of artificial intelligence in school geography education as a promising direction for the modernization of didactics, combining technological innovation with competency-based learning outcomes.

At the same time, the study identified several challenges associated with implementing AI technologies in the educational process. Among the most significant are issues of academic integrity, teachers' digital competence, the ethical use of digital resources, information reliability, and the protection of personal data. Therefore, the effective application of AI in geography education requires a comprehensive approach that includes teacher professional development, the enhancement of digital infrastructure, methodological support, and the pedagogically sound selection of digital

соціокультурній концепції розвитку та компетентнісному підході в освіті. У контексті географічної освіти особливого значення набуває також концепція просторового мислення, що визначає специфіку використання цифрових картографічних ресурсів, геоінформаційних систем, супутникових даних і технологій просторового аналізу.

Дослідження показало, що використання AI-технологій у навчанні географії має значні дидактичні можливості. Зокрема, застосування геоінформаційних систем, супутникових даних, інтерактивних картографічних платформ та адаптивних освітніх інструментів дозволяє підвищити рівень наочності навчального матеріалу, сприяє глибшому розумінню географічних процесів, формує навички роботи з географічною інформацією, розвиває просторове мислення та дослідницькі вміння учнів. Важливим напрямом є також використання AI-інструментів для аналізу даних, моделювання процесів і створення навчальних матеріалів.

У процесі дослідження узагальнено дидактичні можливості сучасних AI- та цифрових інструментів у навчанні географії, що відображено в таблиці 1, а також розроблено концептуальну модель інтеграції AI-технологій в освітній процес. Це дозволяє розглядати використання штучного інтелекту в шкільній географічній освіті як перспективний напрям оновлення дидактики, який поєднує технологічні інновації з компетентнісними результатами навчання.

Разом із тим встановлено, що впровадження AI-технологій у навчальний процес супроводжується низкою викликів, серед яких важливе місце займають питання академічної доброчесності, рівень цифрової компетентності вчителів, етичні аспекти використання цифрових ресурсів, достовірність інформації та захист персональних даних. У зв'язку з цим ефективне використання AI у навчанні географії потребує комплексного підходу, який включає підготовку педагогічних кадрів, розвиток цифрової інфраструктури, методичний супровід та

tools.

In conclusion, the findings of this study confirm that artificial intelligence technologies possess considerable potential for advancing contemporary geography didactics. The integration of AI technologies into the educational process contributes to the development of students' geographical competence, enhances their analytical and spatial thinking, improves the effectiveness of the educational process, and supports the modernization of teaching methods in school geography education.

педагогічно виважений добір цифрових інструментів.

Отже, результати проведеного дослідження підтверджують, що використання технологій штучного інтелекту має значний потенціал для розвитку сучасної дидактики географії. Інтеграція AI-технологій у навчальний процес сприяє формуванню географічної компетентності учнів, розвитку їхнього аналітичного та просторового мислення, підвищенню ефективності освітнього процесу та оновленню методів шкільного навчання.

REFERENCES (TRANSLATED & TRANSLITERATED)

1. Yemchuk, T.V. (2022). Pidvyshchennia tsyfrovoi kompetentnosti pedahoha zasobamy informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii [Enhancing teachers' digital competence by means of information and communication technologies]. *Naukovi zapysky Tsentralnoukrainskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Vynnychenka. Serii: Pedahohichni nauky – Scientific notes of the Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical University. Series: Pedagogical Sciences*, is. 204, 114-119 [in Ukrainian].
2. *Zakon Ukrayiny "Pro osvitu" vid 05.09.2017 № 2145-VIII [Law of Ukraine "On Education" (2017). No. 2145-VIII] / Verkhovna Rada Ukrayiny. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2145-19> [in Ukrainian].*
3. *Rozporyadzhennya vid 2 hrudnya 2020 r. № 1556-r "Pro skhvalennya Kontseptsiyi rozvytku shtuchnoho intelektu v Ukrayini" [Order No. 1556-r "On approval of the Concept for the Development of Artificial Intelligence in Ukraine"] / Cabinet Ministriv Ukrayiny. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text> [in Ukrainian].*
4. Kolomiiets, A.M., & Kushnir, O.I. (2023). Vykorystannia shtuchnoho intelektu v osvittii ta naukovi diialnosti: mozhlyvosti ta vyklyky [Use of artificial intelligence in educational and scientific activity: opportunities and challenges]. *Metodolohichni problemy vprovadzhennia tsyfrovyykh tekhnolohii ta innovatsiinykh metodyk navchannia – Methodological problems of implementing digital technologies and innovative teaching methods*, No. 70. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-70-45-57> [in Ukrainian].
5. Petrova, O.O. (2014). *Metody ta systemy shtuchnoho intelektu. Intelektualnyi analiz danykh: Teksty lektsii [Methods and systems of artificial intelligence. Data mining: Lecture notes]*. Kharkiv: KhNUBA [in Ukrainian].
6. *Osvita 4.0: ukrainskyi svitanok [Education 4.0: Ukrainian sunrise]. (2022). Retrieved from: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/2022/12/10/Osvita-4.0.ukrayinskyi.svitanok.pdf> [in Ukrainian].*
7. Papucha, M.V. (ed.) (2018). *Psykhologhiia liudyny: L.S. Vyhotskyi ta suchasna nauka [Human psychology: L.S. Vygotsky and modern science]*. Nizhyn: NDU im. M. Hoholia [in Ukrainian].
8. Solodovnyk, H.V. (2021). *Metody ta systemy shtuchnoho intelektu [Methods and systems of artificial intelligence]*. Kharkiv: DISA PLUS [in Ukrainian].
9. Garzón, J., Patiño, E., & Marulanda, C. (2025). Systematic Review of Artificial Intelligence in Education: Trends, Benefits, and Challenges. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9, 84. DOI: <https://doi.org/10.3390/mti9080084> [in English].
10. Goodchild, M.F. (2004). GIScience, geography, form, and process. *Annals of the Association of American Geographers*, 94(4), 709-714 [in English].

11. Hariri, R. Artificial Intelligence in Education. In: *Handbook of Research on Digital Content, Mobile Learning, and Technology Integration Models in Teacher Education* [in English].
12. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Boston: Center for Curriculum Redesign [in English].
13. Lee, I., Lee, J., Lee, K., Lee, J., & Hwang, J. (2019). Effectiveness of artificial intelligence in education: A systematic review. *Journal of Educational Technology & Society*, 22(3), 47-63 [in English].
14. Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. (2016). Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education. *Pearson Education* [in English].
15. Miller, H., & Goodchild, M. (2015). Data-Driven Geography. *GeoJournal*, 449-461 [in English].
16. National Research Council. (2006). *Learning to Think Spatially*. Washington: National Academies Press [in English].
17. OECD (2026). *Digital Education Outlook 2026: Generative AI in Education* [in English].
18. Piaget, J. (1970). *Psychology and Pedagogy*. New York: Viking Press [in English].
19. Reichstein, M. & al. (2019). Deep Learning and Process Understanding for Data-Driven Earth System Science. *Nature* [in English].
20. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. (4th ed.). Pearson [in English].
21. UNESCO. *Artificial Intelligence in Education: Guidance for Policy-Makers* [in English].
22. Vieriu, A., & Gabriel, P. (2025). The Impact of Artificial Intelligence (AI) on Students' Academic Development. *Education Sciences*, 15, 343. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15030343> [in English].
23. Woolf, B. (2009). *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-centered Strategies for Revolutionizing E-learning*. Elsevier [in English].

Received: April 15, 2026

Accepted: May 04, 2026

Published: May 29, 2026

