



Людмила Мандруляк – аспірантка кафедри педагогіки та освітнього менеджменту Комунального закладу вищої освіти «Одеська академія неперервної освіти Одеської обласної ради», м. Одеса, Україна, учитель математики та інформатики Новосамарської гімназії з дошкільним відділенням та початковою школою Окнянської селищної ради Подільського району Одеської області.

Коло наукових інтересів: геоінформаційні технології в освіті, формування STEM-компетентностей учнів закладів загальної середньої освіти, розвиток просторового мислення, методика впровадження ГІС в освітній процес.

 ludmylamandrulyak@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0004-3242-4219>

УДК 373.5.015.3+159.922.7]:004.9:91(045)

<https://doi.org/10.32405/2411-1317-2026-3-225-234>

Подано до редакції: 28.07.2026

Прийнято після рецензування: 11.08.2026

Затверджено до друку: 20.08.2026

Опубліковано: 30.09.2026

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ STEM-КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ БАЗОВОЇ ШКОЛИ ЗАСОБАМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Анотація. У статті обґрунтовано психолого-педагогічні особливості учнів базової школи, що визначають специфіку та психологічну сприйнятливості цього вікового періоду для формування STEM-компетентностей засобами геоінформаційних технологій (ГІТ). Зазначено, що йдеться про теоретично обґрунтоване припущення, яке потребує подальшої емпіричної перевірки, а не про строго встановлений сенситивний період у клінічному розумінні цього терміна.

На основі теоретичного аналізу виокремлено, що готовність учнів до ГІТ-опосередкованої діяльності визначається трьома взаємопов'язаними чинниками: розвитком когнітивної здатності до роботи з просторовими абстракціями, потребою в соціальній взаємодії з однолітками та зростанням значущості автономії й самостійності.

Авторським результатом дослідження є диференціація вимог до ГІТ-опосередкованої навчальної діяльності за циклами базової школи: адаптаційним циклом (5–6 класи) та циклом базового предметного навчання (7–9 класи). Диференціацію отримано шляхом синтезу вікової прогресії американської освітньої рамки «Наукові стандарти наступного покоління» (NGSS, Next Generation Science Standards) із авторською триетапною моделлю впровадження ГІТ в освітній процес; ця диференціація є результатом теоретичного синтезу, а не емпірично встановленою закономірністю.

Обґрунтовано, що в адаптаційному циклі педагогічно доцільними є інтерпретація готових карт і шарів даних, виконання завдань за інструкцією та робота з конкретно представленими просторовими об'єктами. У циклі базового предметного навчання поступово стають доступнішими самостійне формулювання геопросторових задач, оперування абстрактними просторовими поняттями та поєднання кількох джерел даних для отримання нового результату.

Показано, що когнітивна й соціально-комунікативна складові розвитку учнів сходяться в одному віковому діапазоні, що створює теоретичні підстави розглядати базову школу як психологічно сприятливий період для системного формування STEM-компетентностей засобами ГІТ у командній проєктній діяльності. Перспективою подальших досліджень є емпірична перевірка запропонованої вікової диференціації в межах педагогічного експерименту.

Ключові слова: STEM-компетентності; геоінформаційні технології; вікові особливості; базова школа; когнітивний розвиток; підлітковий вік.

Вступ і постановка проблеми. Впровадження геоінформаційних технологій (ГІТ) в освітній процес базової школи здебільшого обґрунтовується технологічною чи предметно-методичною доцільністю – доступністю інструментів, відповідністю змісту навчальних програм, наявністю освітніх ліцензій. Поза увагою, однак, часто лишається питання не менш принципове: чи готовий учень цього віку психологічно й когнітивно до самої природи діяльності, яку пропонує ГІТ-середовище – оперування абстрактними просторовими моделями, роботу з умовними позначеннями, побудову висновків на основі шарів даних, які не піддаються безпосередньому чуттєвому сприйняттю. Якщо методика впроваджується без урахування вікових меж доступності такого мислення, існує ризик або педагогічно передчасного навантаження (коли від учня вимагають операцій, до яких він ще не готовий), або, навпаки, не виправданого спрощення (коли ГІТ зводиться до розглядання готових карт без спонукування до розвитку доступного вже мислення).

Суперечність, яку розв'язує ця стаття, полягає в тому, що методика впровадження ГІТ у базовій школі (5–9 класи) поки не має явного психолого-педагогічного обґрунтування щодо того, чому саме цей віковий діапазон є придатним і психологічно сприятливим (а не строго сенситивним у клінічному значенні цього терміна) періодом для формування STEM-компетентностей саме в такий спосіб.

Перш ніж переходити до аналізу вікової специфіки, варто коротко окреслити теоретичне підґрунтя, яке пов'язує STEM-компетентність із геоінформаційними технологіями, оскільки саме характер цього зв'язку визначає, які саме психологічні передумови є релевантними для цього дослідження. У сучасних дослідженнях STEM-компетентність визначають як інтегровану здатність застосовувати знання й уміння з природничих наук, технологій, інженерії та математики для розв'язання міждисциплінарних задач (Arikan, Erkin, & Pesen, 2022), тобто йдеться не про суму окремих предметних знань, а про цілісну характеристику, що виявляється саме в діяльності: роботі з моделями, аналізі й інтерпретації даних, дослідницькому пошуку, розв'язанні проблем, самостійному створенні продукту (Portillo-Blanco et al., 2024). Геоінформаційні технології є релевантним інструментальним середовищем для реалізації саме такого типу діяльності: робота з шарами геопросторових даних передбачає їх аналіз та інтерпретацію, побудова картографічного продукту є формою створення просторового продукту, а самостійна постановка геопросторового дослідницького питання – формою дослідницької діяльності (National Research Council, 2006). Функціональний зв'язок, отже, полягає не в тому, що ГІТ автоматично формують STEM-компетентність, а в тому, що конкретна ГІТ-операція створює діяльнісну ситуацію, в якій реалізується певний тип STEM-діяльності – і саме тому психологічна готовність учня до цієї діяльності є предметом цього дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Класичною теоретичною основою для розуміння вікових меж абстрактного мислення лишається концепція стадій когнітивного розвитку, згідно з якою перехід від конкретно-операційного мислення до формально-операційного відбувається орієнтовно в 11–12 років і триває протягом підліткового віку (Inhelder & Piaget,

1958, pp. 334–336). Саме формально-операційне мислення – здатність оперувати гіпотетичними, не представленими безпосередньо в досвіді конструкціями – є психологічною передумовою роботи з тим типом абстракцій, які пропонує ГІТ: умовний масштаб, система координат, шар даних як окрема концептуальна одиниця, відокремлена від видимого зображення карти.

Водночас сучасні дослідники наголошують, що вікові межі цього переходу не слід сприймати як жорсткий норматив: труднощі, з якими стикаються учні середньої школи при засвоєнні абстрактного наукового матеріалу, нерідко пояснюються не браком здібностей, а розбіжністю між вимогами навчальної програми та реальним рівнем когнітивного розвитку значної частини учнів: далеко не всі учні середньої школи мають повністю сформоване формально-операційне мислення (за: Shayer & Adey, 1981, цит. за: Taber, 2025). Відповідно, вікові орієнтири, використані в цьому дослідженні, варто розглядати як статистичну тенденцію, що потребує диференційованого педагогічного підходу, а не як універсальний поріг готовності.

Показово, що віковий перехід до формально-операційного мислення припадає практично на середину базової школи (5–9 класи, орієнтовно 10–15 років), що дає підстави розглядати цей період не як довільно обраний, а як психологічно обґрунтований для поступового ускладнення геопросторових завдань.

Оскільки віковий діапазон американської middle school (6–8 класи, орієнтовно 11–14 років) і цикл базового предметного навчання української базової школи (7–9 класи, орієнтовно 12–15 років) істотно перетинаються за віком учнів і за освітнім статусом (перехід від початкової / адаптаційної ланки до більш спеціалізованого предметного навчання), порівняння вікової прогресії вимог NGSS з українським контекстом є методологічно виправданим, хоча й не тотожним. Ця вікова логіка набуває операціоналізованого відображення в освітніх стандартах: американська освітня рамка Next Generation Science Standards (NGSS) передбачає прогресивне ускладнення вимог до роботи з моделями та даними за віковими діапазонами (K–2, 3–5, 6–8, 9–12). На етапі 6–8 класів вимоги до моделювання істотно ускладнюються: поряд із використанням моделей для опису й пояснення явищ акцент посилюється на їх розробленні, використанні для представлення невидимих механізмів, прогнозування та пояснення взаємозв'язків між компонентами досліджуваного явища (NGSS Lead States, 2013, p. 56).

Емпіричне підтвердження практичної придатності середньої школи для роботи з геопросторовими технологіями надають Mathews et al. (2023), які на вибірці учнів middle school (аналог циклу базового предметного навчання) зафіксували статистично значуще покращання розуміння топографічних карт після серії занять із застосуванням безпілотних літальних апаратів і геопросторового аналізу (Mathews et al., 2023, p. 120). Довгостроковий ефект раннього залучення до просторової діяльності підтверджують Peterson et al. (2020): участь у просторово орієнтованих активностях у дитинстві та ранньому підлітковому віці стійко корелює з рівнем розвитку просторового мислення в старшому підлітковому віці (p. 6).

Водночас когнітивна готовність – лише одна складова психологічної картини. Ранній підлітковий вік характеризується не менш істотними соціально-комунікативними змінами. Krammer et al. (2023) на вибірці учнів із середнім віком 10,44 року (у момент переходу з початкової до середньої школи) показують, що саме на цьому віковому етапі різко зростає значущість стосунків з однолітками для психологічного благополуччя, а здатність налагоджувати й підтримувати дружні стосунки стає одним із провідних завдань розвитку (Krammer et al., 2023, p. 115). Ту саму вікову специфіку – з опертям на концепцію І. Беха про сенситивні характеристики підліткового віку – розкриває Гриньова (2024): підлітковий вік (11–15 років) характеризується гострою потребою у спілкуванні з однолітками, залежністю від їхньої думки, а також відкритістю до розбудови кооперативних стосунків і спільної соціально значущої

діяльності (за: Бех, 2015, цит. за: Гриньова, 2024, с. 61). Показово, що в тому ж джерелі серед чутливих характеристик прямо називається розвиток формально-логічного та абстрактного мислення – тобто когнітивна й соціально-комунікативна складові вікової специфіки цього періоду постають не паралельними, а взаємопов'язаними процесами.

Значущість самостійності й автономії як окремої потреби цього вікового періоду підтверджують Tang et al. (2024): дослідження учнів, залучених до самостійно обраних STEM-проектів, показує, що можливість самостійного вибору теми й напряму дослідження є істотним чинником стійкої навчальної мотивації та поглибленого залучення до діяльності (Tang et al., 2024, p. 2360).

Отже, проведений аналіз джерел засвідчує, що психологічна готовність учнів базової школи до формування STEM-компетентностей засобами ГІТ визначається не одним, а щонайменше трьома взаємопов'язаними чинниками: когнітивною зрілістю для роботи з просторовими абстракціями (яка сама по собі є варіативною, а не жорстко віковою), потребою в соціальній взаємодії з однолітками, що робить командну проектну форму роботи не лише зручною, а психологічно доцільною, і зростанням значущості самостійності й автономії. Жодне з проаналізованих джерел, однак, не розглядає ці три чинники в єдиній системі саме стосовно специфіки ГІТ-опосередкованого навчання в українській базовій школі.

Мета статті полягає в обґрунтуванні психолого-педагогічних особливостей учнів базової школи, які зумовлюють специфіку й психологічну сприйнятливості (як теоретично обґрунтоване, що потребує подальшої емпіричної перевірки, припущення, а не строго встановлений чутливий період) цього вікового періоду для формування STEM-компетентностей засобами геоінформаційних технологій.

Для досягнення мети сформульовано такі **завдання**:

- 1) розкрити вікові когнітивні особливості учнів базової школи у контексті здатності до просторового та абстрактного мислення;
- 2) визначити, які компоненти ГІТ-діяльності відповідають доступному на кожному циклі базової школи рівню когнітивного розвитку, а які потребують додаткової педагогічної підтримки;
- 3) обґрунтувати психологічну сприйнятливості базової школи як періоду для формування STEM-компетентностей засобами ГІТ з урахуванням не лише когнітивної, а й соціально-комунікативної складової розвитку.

Методи дослідження. Дослідження ґрунтується на теоретичному аналізі й систематизації психолого-педагогічних джерел щодо вікового когнітивного та соціального розвитку учнів базової школи; зіставному аналізі вимог ГІТ-опосередкованої діяльності (визначених нами раніше через когнітивно-операційний та діяльнісно-практичний критерії) з доступними на різних циклах базової школи когнітивними можливостями; методі теоретичного узагальнення для обґрунтування психологічної сприйнятливості досліджуваного вікового періоду.

Результати та обговорення. *Когнітивна готовність до роботи з геопросторовими абстракціями.* Перехід від конкретно-операційного до формально-операційного мислення є не одномоментною подією, а розтягнутим у часі процесом, який у значній частині учнів завершується істотно пізніше середньостатистичного орієнтира (Inhelder & Piaget, 1958, p. 334; за: Shayer & Adey, 1981, цит. за: Taber, 2025). Це має пряме методичне значення: учні адаптаційного циклу (5–6 класи), які лише вступають у цей перехідний період, потребуватимуть значно більшої педагогічної підтримки при роботі з абстрактними геопросторовими поняттями (система координат, умовний масштаб), ніж учні циклу базового предметного навчання (7–9 класи), в яких формально-операційне мислення вже переважно сформоване. Водночас

конкретні межі цього переходу для кожного окремого учня можуть суттєво відхилятися від середньостатистичних орієнтирів, і навіть частина учнів 7–9 класів може потребувати додаткової підтримки.

Це узгоджується зі структурою нашої раніше запропонованої триетапної моделі впровадження ГІТ в освітній процес базової школи (Mandruliak & Mukoviz, 2025): ознайомчий етап, орієнтований на роботу з готовими картами й найпростішими операціями в межах гурткової роботи, природно відповідає адаптаційному циклу, коли формально-операційне мислення учнів лише починає формуватися. Натомість два наступні етапи моделі – проєктно-інтеграційний, що передбачає створення учнями власних картографічних проєктів та інтеграцію геопросторового аналізу зі змістом суміжних предметів, і аналітико-прикладний, що вимагає самостійного формулювання геопросторової задачі та оперування кількома джерелами даних, – стають когнітивно доступними лише в циклі базового предметного навчання, послідовно ускладнюючись у його межах у міру того, як формально-операційне мислення набуває стійкості.

Диференціація вимог до ГІТ-опосередкованої навчальної діяльності учнів базової школи. Порівняння вікової прогресії американської освітньої рамки NGSS і власної триетапної моделі відбувається за спільним критерієм – рівнем когнітивної самостійності учня в роботі з моделями та даними, а не обсягом засвоєних предметних знань: саме за цим критерієм NGSS фіксує поріг переходу від інтерпретації готової до самостійного розроблення моделі, а власна модель – перехід від репродуктивної роботи до самостійного створення геопросторового продукту. Вікова прогресія NGSS передбачає послідовне ускладнення роботи з моделями: від їх використання для опису та пояснення явищ до більш самостійного розроблення й застосування моделей для пояснення невидимих механізмів, прогнозування та представлення взаємозв'язків між компонентами явища. Особливо виразно таке ускладнення вимог простежується на рівні 6–8 класів (NGSS Lead States, 2013, р. 56), що методологічно співвідноситься з циклом базового предметного навчання української базової школи. Зіставлення цього вікового порога з власною триетапною моделлю показує: ознайомчий етап моделі, що передбачає переважно інтерпретацію готових карт і виконання базових операцій, співвідноситься з нижчими рівнями складності роботи з моделями; натомість два наступні етапи запропонованої нами моделі ГІТ-діяльності – проєктно-інтеграційний і аналітико-прикладний – передбачають поступовий перехід від створення власного геопросторового продукту до постановки дослідницької задачі та роботи з кількома джерелами даних, що узгоджується з ускладненням вимог до моделювання на рівні 6–8 класів NGSS.

Саме це зіставлення вікового порога NGSS із когнітивною складністю етапів власної моделі й дає підстави для наведеної далі диференціації.

В адаптаційному циклі (5–6 класи) доступними є:

- інтерпретація готових карт і шарів даних;
- виконання завдань за детальною інструкцією;
- робота з конкретними, наочно представленими просторовими об'єктами.

У циклі базового предметного навчання (7–9 класи) поступово стають доступнішими:

- самостійне формулювання геопросторової дослідницької задачі;
- оперування абстрактними концепціями (похибка джерела даних, масштабована не-

відповідність);

- поєднання кількох джерел даних для отримання нового результату.

Уточнимо співвідношення цієї дворівневої диференціації з триетапною моделлю 2025 р.: ознайомчий етап моделі повністю відповідає адаптаційному циклу, тоді як перелічені вище

вміння циклу базового предметного навчання послідовно охоплюють два наступні етапи моделі – спочатку проєктно-інтеграційний (самостійне створення картографічних проєктів), а згодом аналітико-прикладний (самостійне формулювання дослідницької задачі та поєднання джерел даних). Тобто два цикли базової школи не підміняють трьох етапів моделі, а групують їх відповідно до вікової структури навчання: один етап на цикл адаптації, два послідовні етапи – на цикл базового предметного навчання.

Перелічені операції відповідають найскладнішій, аналітико-прикладній частині цього циклу; менш складні, скафолдовані дії початкового, проєктно-інтеграційного етапу того самого циклу (створення простих картографічних продуктів за допомогою вчителя) відповідають нижчому рівню складності тієї самої логіки. Співвіднесення цієї диференціації із системою критеріїв, показників і рівнів сформованості STEM-компетентності є предметом окремої, ще не завершеної розробки авторки і виходить за межі цієї статті.

Опосередковане емпіричне підтвердження доцільності поєднання активної діяльності та геопросторових технологій у навчанні учнів middle school дає дослідження Mathews et al. (2023), у якому після шестимісячного циклу занять із застосуванням практичних активностей і геопросторових технологій, зокрема дронів, зафіксовано статистично значуще покращання загальних результатів учнів: приріст становив 14% (Mathews et al., 2023, p. 120).

Запропонована в цьому дослідженні диференціація вимог до ГІТ-опосередкованої навчальної діяльності учнів за циклами базової школи є авторським результатом, отриманим шляхом синтезу вікової прогресії NGSS (NGSS Lead States, 2013) із власною раніше обґрунтованою триетапною моделлю впровадження ГІТ (Mandruliak & Mukoviz, 2025). У жодному з проаналізованих джерел ця відповідність – цикл базової школи ↔ рівень складності геопросторового завдання ↔ етап моделі впровадження – не встановлювалася.

Соціально-комунікативна доцільність командної проєктної форми роботи. Когнітивна готовність, однак, є необхідною, але не достатньою умовою ефективного навчання. Гострота потреби в спілкуванні з однолітками та відкритість до розбудови кооперативних стосунків, характерні для підліткового віку (за: Бех, 2015, цит. за: Гриньова, 2024, с. 61), означають, що командна форма організації ГІТ-проєктів відповідає не лише практичній зручності організації навчального процесу, а глибшій психологічній потребі цього вікового періоду. Це підтверджується й дослідженням Krammer et al. (2023): саме в період переходу до середньої школи стосунки з однолітками стають одним із провідних чинників психологічного благополуччя учня (Krammer et al., 2023, p. 128).

Водночас потреба в автономії, яка також зростає в цьому віці, вимагає, щоб командна робота не була жорстко регламентованою ззовні: дослідження самостійно обраних STEM-проєктів показує, що саме можливість вибору теми й напряму підтримує стійку мотивацію (Tang et al., 2024, p. 2360). Це має пряме методичне значення для організації ГІТ-проєктів у базовій школі: оптимальна форма організації – командна робота з елементом самостійного вибору теми дослідження в межах загального напряму, а не жорстко заданий індивідуальний алгоритм дій.

Показово, що когнітивна й соціально-комунікативна лінії аргументації сходяться на тому самому віковому діапазоні: перехід до формально-операційного мислення і пік потреби в кооперації з однолітками припадають на той самий період підліткового віку (11–15 років), що дає підстави розглядати базову школу цілісно: не лише як когнітивно доступний, а і як психологічно доцільний (теоретично обґрунтоване припущення, яке потребує подальшої емпіричної перевірки) період для системного формування STEM-компетентностей засобами ГІТ саме в командній, проєктній формі (рис. 1).

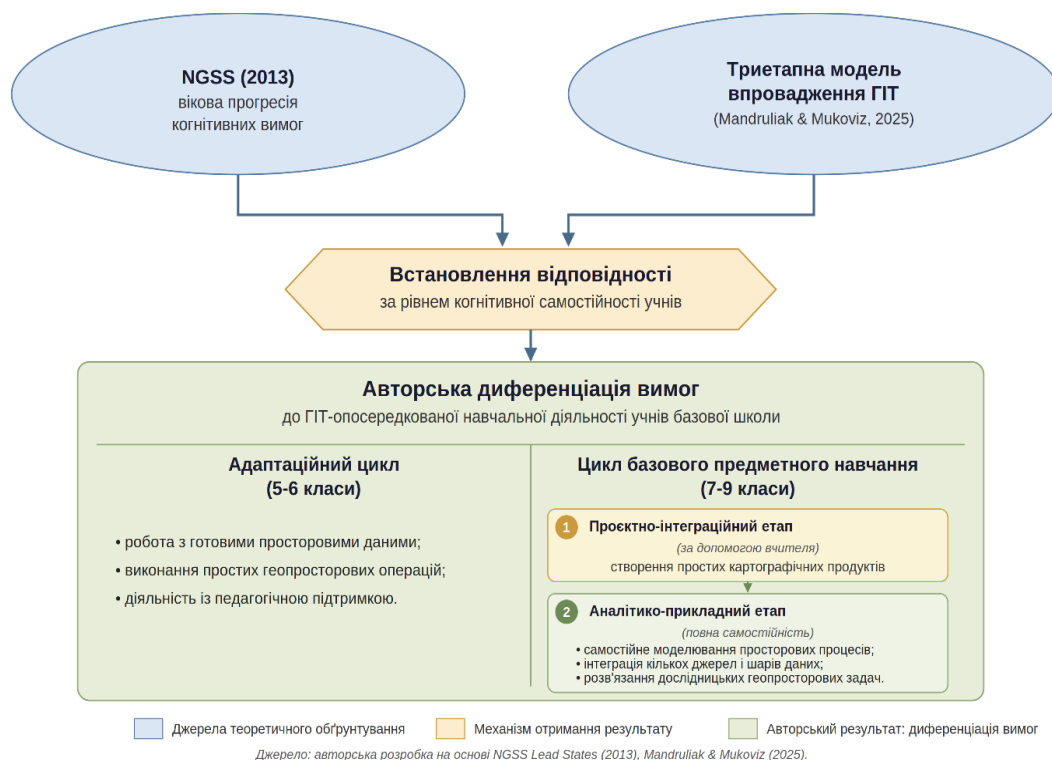


Рис. 1. Логіка отримання авторської диференціації вимог до ГІТ-опосередкованої навчальної діяльності учнів базової школи

Джерело: розроблено автором за допомогою інструменту штучного інтелекту Claude (Anthropic) на основі проаналізованих джерел; зміст і структуру перевірено та затверджено автором.

Висновки та перспективи подальших розвідок. Психологічна готовність учнів базової школи до формування STEM-компетентностей засобами геоінформаційних технологій визначається трьома взаємопов'язаними чинниками. По-перше, поступовим і варіативним переходом від конкретно-операційного до формально-операційного мислення, який відкриває здатність оперувати абстрактними геопросторовими поняттями, причому цей перехід нерівномірний упродовж адаптаційного циклу й циклу базового предметного навчання і завершується значно пізніше середньостатистичного орієнтира в значній частини учнів, а тому вимагає диференційованого підходу до складності завдань. По-друге, гострою потребою підлітків у соціальній взаємодії з однолітками, яка робить командну проєктну форму роботи не лише організаційно зручною, а психологічно доцільною. По-третє, зростанням значущості автономії й самостійності, що вимагає поєднання командної форми роботи з елементом самостійного вибору в межах загального завдання.

Усі три поставлені завдання виконано: розкрито вікові когнітивні особливості учнів базової школи (завдання 1); визначено диференціацію компонентів ГІТ-діяльності за циклами базової школи (завдання 2) – авторський результат, отриманий синтезом вікової прогресії NGSS із власною триетапною моделлю впровадження ГІТ; обґрунтовано психологічну сприйнятливості цього періоду з урахуванням і когнітивної, і соціально-комунікативної складових –

як теоретично обґрунтоване, що потребує подальшої емпіричної перевірки, припущення, а не строго встановлений сенситивний період у клінічному розумінні цього терміна (завдання 3). Мету статті – обґрунтування психолого-педагогічних особливостей учнів базової школи, що зумовлюють специфіку формування STEM-компетентностей засобами ГІТ, досягнуто.

Перспективу подальших досліджень становить емпірична перевірка виявленої вікової диференціації в межах констатувального етапу педагогічного експерименту – зокрема встановлення того, чи справді адаптаційний цикл і цикл базового предметного навчання демонструють статистично значущі відмінності в динаміці формування STEM-компетентностей засобами ГІТ.

Використані джерела

- Бех, І. Д. (2015). *Вибрані наукові праці*. Виховання особистості (т. 1). Букрек.
- Гриньова, М. В. (2024). *Виховання лідерських якостей учнів основної школи у процесі е-партисипативного проєктування* (Дисертація доктора філософії). КЗВО «Одеська академія неперервної освіти Одеської обласної ради». https://static.klasnaocinka.com.ua/uploads/editor/9324/732394/sitepage_692/files/disertaciya_vihovannya_liderskih_yakostey_uchniv_osnovnoi_shkoli_u_procesi_e_partisipativno-go_proektuvannya_grinova_m_v.pdf
- Мандруляк, Л., & Муковіз, О. (2025, 24 жовтня). *Модернізація освітнього процесу базової школи засобами геоінформаційних технологій*. У *Педагогічна освіта: традиції, реалії, перспективи* (Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17623999>
- Arikan, S., Erktin, E., & Pesen, M. (2022). Development and validation of a STEM competencies assessment framework. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10132-3>
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence: An essay on the construction of formal operational structures* (A. Parsons & S. Milgram, Trans.). Basic Books. <https://doi.org/10.1037/10034-000>
- Krammer, I., Schrank, B., Pollak, I., Stiehl, K. A. M., Nater, U. M., & Woodcock, K. A. (2023). Early adolescents' perspectives on factors that facilitate and hinder friendship development with peers at the time of school transition. *Journal of School Psychology*, (98), 113–132. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2023.03.001>
- Mathews, A. J., DeChano-Cook, L. M., & Bloom, C. (2023). Enhancing middle school learning about geography and topographic maps using hands-on play and geospatial technologies. *Journal of Geography*, 122(5), 115–125. <https://doi.org/10.1080/00221341.2023.2226156>
- National Research Council. (2006). *Learning to think spatially: GIS as a support system in the K-12 curriculum*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11019>
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press. <https://nap.nationalacademies.org/read/18290>
- Peterson, E. G., Weinberger, A. B., Uttal, D. H., Kolvoord, B., & Green, A. E. (2020). Spatial activity participation in childhood and adolescence: Consistency and relations to spatial thinking in adolescence. *Cognitive Research: Principles and Implications*, (5), art. 43. <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00239-0>
- Portillo-Blanco, A., Deprez, H., De Cock, M., Guisasaola, J., & Zuza, K. (2024). A systematic literature review of integrated STEM education: Uncovering consensus and diversity in principles and characteristics. *Education Sciences*, 14(9), 1028. <https://doi.org/10.3390/educsci14091028>
- Shayer, M., & Adey, P. (1981). *Towards a science of science teaching: Cognitive development and curriculum demand*. Heinemann Educational Books.
- Taber, K. S. (2025). Developing intellectual sophistication and scientific thinking—The schemes of William G. Perry and Deanna Kuhn. In B. Akpan & T. Kennedy (Eds.). *Science education in theory and practice: An introductory guide to learning theory* (2nd ed., pp. 215–231). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81351-1_13
- Tang, K.-S., McLure, F., Williams, J., & Donnelly, C. (2024). Investigating the role of self-selected STEM projects in fostering student autonomy and self-directed learning. *The Australian Educational Researcher*, 51(5), 2355–2379. <https://doi.org/10.1007/s13384-024-00696-2>

References

- Arikan, S., Erktin, E., & Pesen, M. (2022). Development and validation of a STEM competencies assessment framework. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10132-3> (in English).
- Bekh, I. D. (2015). *Vybrani naukovi pratsi. Vychovannia osobystosti* (vol. 1) [Selected scientific works. Personality upbringing]. Bukrek (in Ukrainian).
- Hrynova, M. V. (2024). *Vychovannia liderskykh yakosteï uchniv osnovnoi shkoly u protsesi e-partyssypatyvnoho proektivannia* [Development of leadership qualities in basic school students through e-participatory design] (Doctoral Dissertation). Odesa Regional Academy of In-Service Education. https://static.klasna-ocinka.com.ua/uploads/editor/9324/732394/sitepage_692/files/disertaciya_vihovannya_liderskih_yakostey_uchniv_osnovnoi_shkoli_u_procesi_e_partisipativnogo_proektivannia_grinova_m_v.pdf (in Ukrainian).
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence: An essay on the construction of formal operational structures* (A. Parsons & S. Milgram, Trans.). Basic Books. <https://doi.org/10.1037/10034-000> (in English).
- Krammer, I., Schrank, B., Pollak, I., Stiehl, K. A. M., Nater, U. M., & Woodcock, K. A. (2023). Early adolescents' perspectives on factors that facilitate and hinder friendship development with peers at the time of school transition. *Journal of School Psychology*, (98), 113–132. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2023.03.001> (in English).
- Mandruliak, L., & Mukoviz, O. (2025, October 24). Modernizatsiia osvithnoho protsesu bazovoi shkoly zasobamy heoinformatsiinykh tekhnolohii [Modernization of the educational process of the basic school using geoinformation technologies]. In *Pedahohichna osvita: Tradysii, realii, perspektyvy* (Zbirnyk materialiv Vseukrainskoi naukovopraktychnoi internet-konferentsii). <https://doi.org/10.5281/zenodo.17623999> (in Ukrainian).
- Mathews, A. J., DeChano-Cook, L. M., & Bloom, C. (2023). Enhancing middle school learning about geography and topographic maps using hands-on play and geospatial technologies. *Journal of Geography*, 122(5), 115–125. <https://doi.org/10.1080/00221341.2023.2226156> (in English).
- National Research Council. (2006). Learning to think spatially: GIS as a support system in the K-12 curriculum. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11019> (in English).
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press (in English).
- Peterson, E. G., Weinberger, A. B., Uttal, D. H., Kolvoord, B., & Green, A. E. (2020). Spatial activity participation in childhood and adolescence: Consistency and relations to spatial thinking in adolescence. *Cognitive Research: Principles and Implications*, (5), art. 43. <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00239-0> (in English).
- Portillo-Blanco, A., Deprez, H., De Cock, M., Guisasola, J., & Zuza, K. (2024). A systematic literature review of integrated STEM education: Uncovering consensus and diversity in principles and characteristics. *Education Sciences*, 14(9), 1028. <https://doi.org/10.3390/educsci14091028> (in English).
- Shayer, M., & Adey, P. (1981). *Towards a science of science teaching: Cognitive development and curriculum demand*. Heinemann Educational Books (in English).
- Taber, K. S. (2025). Developing intellectual sophistication and scientific thinking—The schemes of William G. Perry and Deanna Kuhn. In B. Akpan & T. Kennedy (Eds.). *Science education in theory and practice: An introductory guide to learning theory* (2nd ed., pp. 215–231). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81351-1_13 (in English).
- Tang, K.-S., McLure, F., Williams, J., & Donnelly, C. (2024). Investigating the role of self-selected STEM projects in fostering student autonomy and self-directed learning. *The Australian Educational Researcher*, 51(5), 2355–2379. <https://doi.org/10.1007/s13384-024-00696-2> (in English).

Liudmyla Mandruliak, PhD Student at the Department of Pedagogy and Educational Management, Odesa Regional Academy of In-Service Education, Teacher of Mathematics and Computer Science at Novosamarka Gymnasium with Preschool Division and Elementary School, Odesa, Ukraine.

Research interests: *geoinformation technologies in education, development of STEM competencies among students in general secondary education institutions, development of spatial thinking, methodology of integrating GIS into the educational process.*

PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL FEATURES OF STEM-COMPETENCY FORMATION OF BASIC SCHOOL STUDENTS BY MEANS OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

Abstract. The article substantiates the psychological and pedagogical characteristics of basic school students that determine the specificity and psychological favorability of this age period for the formation of STEM competencies through geoinformation technologies (GIT). It is emphasized that this is a theoretically substantiated assumption requiring further empirical verification rather than a strictly established sensitive period in the clinical sense of the term.

Based on theoretical analysis, it is identified that students' readiness for GIT-mediated activities is determined by three interrelated factors: the development of cognitive ability to work with spatial abstractions, the need for social interaction with peers, and the increasing significance of autonomy and independence.

The author's original contribution is the differentiation of requirements for GIT-mediated educational activities according to the cycles of basic school: the adaptation cycle (grades 5–6) and the cycle of basic subject learning (grades 7–9). This differentiation was obtained through the synthesis of the age-related progression of the American educational framework NGSS (Next Generation Science Standards) with the author's three-stage model of GIT implementation in the educational process; this differentiation is a result of theoretical synthesis rather than an empirically established regularity.

It is substantiated that within the adaptation cycle, appropriate activities include the interpretation of ready-made maps and data layers, performing tasks according to instructions, and working with concretely represented spatial objects. Within the cycle of basic subject learning, independently formulating geospatial research tasks, operating with abstract spatial concepts, and combining multiple data sources to obtain new results become progressively more accessible.

It is shown that the cognitive and socio-communicative components of students' development converge within the same age range, providing theoretical grounds for considering basic school as a psychologically favorable period for the systematic formation of STEM competencies through GIT in team-based project activities. Further research should focus on the empirical verification of the proposed age differentiation within a pedagogical experiment.

Keywords: STEM competencies; geoinformation technologies; age-related characteristics; basic school; cognitive development; adolescence.