

УДК 373.3:57:004(045)

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИВЧЕННІ БІОЛОГІЧНИХ ДИСЦИПЛІН (ЗАГАЛЬНА БІОЛОГІЯ, ЦИТОЛОГІЯ, ГЕНЕТИКА, БІОЛОГІЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РОЗВИТКУ)

Сергій Скрипник, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри екології та біологічної освіти, Хмельницький національний університет.

ORCID: 0000-0002-9296-9745

E-mail: skrypnyks2@gmail.com

У статті досліджуються особливості використання цифрових технологій у процесі вивчення біологічних дисциплін: загальної біології, цитології, генетики, біології індивідуального розвитку. Акцентовано увагу на перевагах застосування інтерактивних програм, віртуальних лабораторій, мультимедійного контенту та цифрових платформ для підвищення пізнавальної активності здобувачів освіти. Визначено педагогічні умови та методичні прийоми ефективного впровадження цифрового інструментарію в освітньому процесі.

Ключові слова: цифрові технології; біологічна освіта; віртуальні лабораторії; мультимедійні ресурси; інтерактивне навчання; доповнена реальність; цифрові інструменти; педагогічна майстерність.

THE PECULIARITIES OF USING DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF BIOLOGICAL DISCIPLINES (GENERAL BIOLOGY, CYTOLOGY, GENETICS, BIOLOGY OF INDIVIDUAL DEVELOPMENT)

Sergii Skrypnyk, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of Ecology and Biological Education, Khmelnytskyi National University.

ORCID: 0000-0002-9296-9745

E-mail: skrypnyks2@gmail.com

The article explores the features of implementing digital technologies in the study of biological disciplines such as general biology, cytology, genetics, and developmental biology. The rapid digitalization of education has necessitated the integration of innovative tools and platforms into the learning process to enhance student engagement and improve the assimilation of complex scientific content. The paper analyzes modern digital educational tools including interactive simulations, virtual laboratories, multimedia presentations, and digital textbooks, highlighting their positive impact on the motivation and academic performance of students.

Special attention is paid to the pedagogical benefits of using virtual environments that allow learners to visualize and model biological processes that are difficult or impossible to observe in traditional classroom settings. The use of digital microscopes, augmented reality applications, and adaptive learning platforms makes it possible to individualize the educational trajectory of students, fostering deeper understanding and promoting active learning.

Furthermore, the article identifies effective methodological strategies for integrating digital tools into

biology lessons, such as gamification, interactive quizzes, virtual experiments, and project-based learning. The importance of teacher digital competence and continuous professional development is emphasized as a key condition for successful implementation of technology in biological education. Overall, the article substantiates the need for a systematic and balanced approach to incorporating digital technologies into biology education, taking into account both the pedagogical goals and the technical readiness of educational institutions.

The integration of digital technologies into the study of biological disciplines significantly enhances the effectiveness of the educational process. Their application promotes students' cognitive activity, supports visualization of abstract concepts, and facilitates the acquisition of practical skills in a safe and controlled virtual environment. Virtual laboratories, interactive content, and personalized learning systems contribute to deeper understanding of complex biological topics and provide opportunities for differentiated instruction.

However, the effective use of digital tools requires methodical planning, availability of technical resources, and a high level of teacher readiness. Therefore, it is essential to ensure continuous professional development for educators, as well as the systematic modernization of the educational environment. The study confirms that digital technologies, when applied appropriately, become a powerful resource for modern biology education.

Keywords: digital technologies; biological education; virtual laboratories; multimedia resources; interactive learning; augmented reality; digital tools; pedagogical competence.

Сучасний освітній процес потребує впровадження цифрових технологій, які сприяють підвищенню ефективності навчання біологічних дисциплін. Використання інформаційних технологій у вивченні загальної біології, цитології, генетики та біології індивідуального розвитку дає змогу покращити засвоєння матеріалу, підвищити рівень інтерактивності та зробити освітній процес більш персоналізованим. Однак виникає проблема оптимального поєднання традиційних методів навчання з цифровими інструментами, що потребує теоретичного обґрунтування та практичного впровадження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій дають можливість констатувати, ґрунтовно досліджено використання цифрових технологій у біологічній освіті Пехотою О. [1] та Гриньовою М. [2], які висвітлюють різні аспекти впровадження інтерактивних симуляцій, віртуальних лабораторій, електронних підручників та адаптивних навчальних платформ.

Напулі С., Тейлор Д., Лі Ч. та інші дослідники обґрунтовують ефективність впровадження віртуальних лабораторій для навчання біології. Автори зазначають, що такі інструменти дозволяють студентам проводити експерименти без фізичного доступу до лабораторного обладнання, що особливо важливо у віддаленому навчанні. Використання віртуальних симуляцій сприяє кращому розумінню складних біологічних процесів і підвищує рівень залученості студентів [3].

Deng L., Zhang Y., Wang H. та інші досліджували роль доповненої реальності (AR) у навчанні біологічних дисциплін. Вони довели, що використання AR-технологій дозволяє створювати інтерактивні моделі клітин, органів та організмів, що значно покращує видиме сприйняття інформації. Це особливо корисно при вивченні цитології, анатомії та ембріології, де традиційні методи часто є обмеженими [4].

Miller H., Kastens K. аналізували вплив інтерактивних мультимедійних ресурсів на закріплення біологічних знань. Вони встановили, що використання анімації, відео та 3D-моделей покращує розуміння складних тем, таких як клітинний поділ, генетичні мутації та механізми ембріонального розвитку. Дослідження показало, що студенти, які навчалися за допомогою мультимедійних ресурсів, мали вищі показники успішності з

тими, хто використовував традиційні методи навчання [5].

Çakiroğlu Ü., Gökoglu S. досліджували вплив гейміфікації в біологічній освіті. Автори дійшли висновку, що інтеграція елементів гри, таких як навчальні квести, змагання та нагороди, сприяє мотивації студентів до вивчення біології. Вони також відзначають, що цифрові навчальні ігри не дозволяють моделювати біологічні процеси, що покращує розуміння абстрактних концепцій, таких як генетична рекомбінація чи еволюційні механізми [6].

Лінднер М., Краус Ф., Вайгель Т. та інші у своїх дослідженнях вивчали ефективність адаптивних онлайн-курсів у викладенні біологічних дисциплін. Вони встановили, що персоналізовані навчальні платформи, які враховують індивідуальні особливості студентів, допомагають краще засвоювати матеріал. Автори наголошують, що такі технології особливо корисні у складних темах, наприклад, генетики та молекулярної біології, де необхідний диференційований підхід до навчання [7].

Шмід Б., Мюллер А., Вілке М. та інші розглядали можливості штучного інтелекту (AI) у біологічній освіті. Вони дійшли висновку, що інтеграція AI-асистентів, таких як чат-боти та системи розпізнавання зображення, готова студентам швидше отримувати відповіді на запитання та покращує аналіз складних біологічних даних. Наприклад, AI-технології можуть використовуватися для аналізу генетичних посиленнь, що значно розширює можливості вивчення генетики в навчальних закладах [8].

У 2023 році Ковальський С. у своїй магістерській роботі дослідив використання інтерактивних технологій на уроках біології та екології. Він підкреслив, що впровадження інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) в освітній процес сприяє активізації пізнавальної діяльності учнів та покращенню засвоєння матеріалу.

Отже, використання інтерактивних семінарів, дискусій, симуляцій та рольових ігор у поєднанні з позакласною роботою показало позитивні результати. Ковальський С. також відзначив ефективність застосування цифрових носіїв інформації, таких як планшети, цифрові мікроскопи та інтерактивні дошки, у освітньому процесі [9].

Люленко С. та Подзерей Р. розглядали застосування цифрових технологій для підвищення якості навчання хімії та біології. Вони зазначили, що впровадження ІКТ в освітній процес дозволяє прискорити передачу знань та адаптацію студентів до сучасних вимог. Автори підкреслили, що використання мультимедійних презентацій, віртуальних лабораторій та інтерактивних підручників сприяє глибшому розумінню складних біологічних концепцій та розвитку практичних навичок у здобувачів освіти [10].

Козак Н., Макашова О. та Мещерякова І. дослідили вплив мультимедійних технологій на процес вивчення медичної біології. Вони дійшли висновку, що інтеграція мультимедійних елементів у навчальний процес сприяє мотивації студентів та покращує якість засвоєння матеріалу. Крім того, використання інтерактивних моделей та анімацій дозволяє студентам краще зрозуміти складні біологічні процеси та явища [11].

Гнатюк В., Аркушина Г. та Скорик О. у своїй статті проаналізували перехід від традиційних до цифрових методів викладання біології. Вони відзначили, що впровадження віртуальних лабораторій, інтерактивних підручників та інших цифрових ресурсів сприяє оптимізації навчального процесу та розвитку критичного мислення у студентів. Автори також підкреслили важливість адаптації викладачів до нових

технологій та необхідного професійного розвитку в умовах цифровізації освіти [12].

Загалом, сучасні дослідження підтверджують, що інтеграція цифрових технологій у викладання біологічних дисциплін є ефективним засобом підвищення якості освіти, мотивації студентів та розвитку їх практичних навичок.

Метою статті є аналіз та обґрунтування доцільності використання цифрових технологій у навчанні біологічних дисциплін, а також визначення їхньої ролі у підвищенні якості біологічної освіти.

Використання цифрових технологій у біологічній освіті включає кілька напрямів:

1. Віртуальні лабораторії та симуляції. Дають можливість імітувати складні біологічні процеси (напр., молекулярні механізми генетики) без потреби в дорогому обладнанні.

Віртуальні лабораторії є ефективним засобом навчання, що дозволяє студентам проводити експерименти в цифровому середовищі, моделюючи реальні біологічні процеси. Це особливо корисно для вивчення складних тем, які потребують дорогого лабораторного обладнання або спеціальних умов для проведення експериментів.

Приклади застосування: «Молекулярна біологія та генетика» – віртуальні лабораторії дають можливість студентам аналізувати молекули ДНК, проводити полімеразну ланцюгову реакцію, досліджувати механізми реплікації, транскрипції та трансляції без необхідності працювати з фізичними лабораторними матеріалами. такі симуляції забезпечують візуалізацію процесів на рівні молекули, що полегшує розуміння складних механізмів; «Цитологія» – віртуальні лабораторії пропонують працювати з цифровими мікроскопами, що дозволяє детальніше розглянути клітинні структури, зокрема ендоплазматичний ретикулум, мітохондрії, лізосоми, апарат Гольджі та інші органи; «Біологія індивідуального розвитку» – віртуальні лабораторії можуть спостерігати за стадіями ембріонального розвитку, аналізувати процеси гастрულляції, нейруляції та органогенезу. Це особливо корисно для майбутніх медиків та біологів, оскільки забезпечує доступ до складних біологічних процесів без необхідності використання лабораторних тварин або біологічних зразків.

«Labster» – цей ресурс надає віртуальні симуляції лабораторних експериментів з біології, які дозволяють студентам виконувати експерименти, такі як аналіз ДНК чи дослідження клітинних структур, у віртуальному середовищі. Це допомагає знизити витрати на матеріали та обладнання.

2. Інтерактивні мультимедійні ресурси. Відео-лекції, анімації та 3D-моделі допомагають візуалізувати складні структури та процеси (напр., будову клітини в цитології).

Інтерактивні мультимедійні ресурси є інструментарієм у сучасному освітньому процесі, особливо при вивченні біологічних дисциплін. Вони можуть зробити навчання більш динамічним, наочним та інтерактивним. Розглянемо їх використання на прикладах у таких дисциплінах, як загальна біологія, цитологія, генетика та біологія індивідуального розвитку.

Приклади застосування: «Загальна біологія» – у загальній біології мультимедійні ресурси допомагають студентам усвідомити взаємодію живих організмів з навколишнім середовищем, а також важливі екологічні, фізіологічні та еволюційні процеси. Відео та анімації, що демонструють процеси фотосинтезу, дихання та обміну речовин у

рослинах, дозволяють студентам побачити ці процеси в динаміці. Наприклад, в анімаціях можна продемонструвати, як поглинання світла хлорофілом призводить до утворення глюкози та кисню, що важливо для розуміння основних біохімічних процесів. У мультимедійних інтерактивних підручниках (наприклад, у програмі «BioMania») є різноманітні інтерактивні завдання, що включають фізіологічні процеси, поведінку тварин, зокрема використання інтерактивних карт для вивчення біомів, ланцюгів живлення та кругообігу речовин у природі;

«Цитологія» – мультимедійні ресурси дозволити вивчити складні клітинні структури та їх функції через візуалізацію. «3D-моделі клітини» (програма «CellCraft») дають можливість студентам детально вивчити органели клітини, наприклад, мітохондрії, ендоплазматичну сітку, апарат Гольджі. Моделі можна обертати, масштабувати та взаємодіяти з ними, що дозволяє краще зрозуміти, як ці органели функціонують у рамках життєдіяльності клітини. «Анімації та візуалізації клітинних процесів» показують процеси мітозу та мейозу, можна побачити, як відбувається поділ клітини, вивчаючи кожну фазу процесу в деталях. Візуалізація молекулярних механізмів (наприклад, транскрипції або трансляції) допомагають студентам зрозуміти, як функціонують клітинні механізми.

«Генетика» – є основною біологічною дисципліною, яка вивчає спадковість та мінливість, і мультимедійні ресурси змінюють важливу роль у вивченні таких складних понять, як гени, ДНК, мутації та генетичні закони. «Інтерактивні генетичні карти» які допоможуть студентам відстежувати, як різні гени розташовані на хромосомах, а також як вони взаємодіють між собою. Це особливо корисно для розуміння таких явищ, як генетичне рекомбінування або зчеплення генів. «Моделювання генетичних схрещувань» (програма «Mendel's Peas») дають студентам можливість моделювати схрещування рослин або тварин із різними генотипами, щоб передбачити результати потомства за допомогою законів Менделя. Студенти можуть змінювати гени батьків і спостерігати за розподілом алелів у потомства. Відео та анімації, які показують, як мутації можуть виникати в ДНК, як відбувається рекомбінація генів під час мейозу, або як природний відбір впливає на популяцію, дають можливість студентам краще зрозуміти еволюційні процеси.

«BioDigitalHuman» – цей ресурс пропонує інтерактивні 3D-моделі людського тіла, що дозволяє студентам вивчати анатомію та фізіологію. Учні можуть обертати моделі, досліджувати різні системи організму та візуалізувати, як працюють різні органи.

3. Онлайн-тести та адаптивні платформи. Використання LMS-систем (Moodle, Google Classroom) дозволяє здійснювати контроль знань та персоналізувати навчання. «Zoom», «Google Classroom» та «Moodle» – ці платформи використовуються для проведення онлайн-лекцій та семінарів. Викладачі можуть ділитися презентаціями, проводити опитування в режимі реального часу та організовувати групові проекти, де студенти працюють разом над завданнями. «Khan Academy» – платформа пропонує безкоштовні курси з загальної біології, де студенти можуть вивчати теми через відео та інтерактивні вправи. Наприклад, курс з еволюції включає відео, що пояснює природний відбір, а також тести для самоперевірки. «SmartSparrow» – це платформа, яка дозволяє викладачам створювати адаптивні навчальні курси. Наприклад, у курсі з генетики студенти можуть проходити різні модулі в залежності від того, як вони виконують

тести, отримуючи додаткові ресурси та пояснення в темах, що викликають труднощі.

4. Доповнена та віртуальна реальність. Технології AR/VR дають змогу проводити інтерактивні дослідження в умовах, наближених до реальних експериментів.

«Доповнена реальність (AR)» та «Віртуальна реальність (VR)» відкриває нові можливості для навчання, роблячи процес вивчення біологічних дисциплін, таких як загальна біологія, цитологія, генетика та біологія індивідуального розвитку, більш інтерактивним і наочним:

«Загальна біологія» – «Доповнена реальність (AR)» та «Віртуальна реальність (VR)» можуть бути використані для вивчення різноманітних аспектів загальної біології, таких як екосистеми, фізіологічні процеси та біохімічні реакції. Завдяки цим технологіям студенти можуть досліджувати живі організми, екосистеми або процеси, які важко побачити у звичайних умовах. «Віртуальні екскурсії в природному середовищі» – студенти можуть «відвідувати» різні екосистеми (ліси, океани, пустелі) та стежити за взаємодією різних організмів у цих середовищах, що дає вам краще зрозуміти екологічні процеси. «Моделювання фізіологічних процесів» – студенти можуть «поринути» у віртуальну модель людського організму, щоб побачити, як працюють органи, як циркулює кров, або як ознайомитися з обмінними процесами в клітинах, що дозволяє краще зрозуміти біохімічні реакції;

«Цитологія» – AR/VR технології можуть бути використані для вивчення клітинних структур, процесів мітозу та мейозу, а також взаємодії органел у клітинах. Якщо клітини та органели занадто малі для спостереження неозброєним оком, ці технології дозволяють зробити їх «видимими» в деталях. «Моделювання будови клітин» – VR для вивчення структури різних типів клітин, від прокаріотичних до еукаріотичних. Студенти можуть «заглянути» в середину клітини, досліджувати органи, такі як мітохондрії, рибосоми, ядро, та вивчати їх функції. – «Процеси клітинного поділу» – за допомогою VR можна візуалізувати процеси мітозу і мейозу в реальному часі, що дає зрозуміти, як клітини діляться і як передаються генетичні матеріали. Це значно полегшує розуміння складних процесів, які використовують багато часу для спостереження;

«Генетика» – AR/VR технології також можуть бути використані для вивчення молекулярних механізмів спадковості, мутацій, генетичних захворювань та інших складних процесів на рівнях ДНК і хромосом. «Моделювання молекули ДНК» – завдяки VR студенти можуть «входити» в молекули ДНК, досліджувати їх структуру, розташування нуклеотидів та розуміти, як відбувається реплікація ДНК. Це дає можливість побачити, як саме генетичний матеріал кодує спадкові ознаки. «Вивчення процесу схрещування» – за допомогою AR можна візуалізувати гени на хромосомах і провести схрещування у віртуальному середовищі. Студенти можуть спостерігати, як комбінації генів у потомстві змінюються при різних типах схрещувань, таких як моногібридному, дигібридному та полігібридному схрещуванні;

«Біологія індивідуального розвитку» – AR/VR технології можуть значно покращити розуміння процесів індивідуального розвитку, таких як ембріогенез, диференціація клітин і формування органів. Віртуальні моделі можуть студентам «пережити» розвиток організму від запліднення до дорослого стану. «Моделювання ембріогенезу» – студенти можуть за допомогою VR спостерігати розвиток ембріона на різних стадіях, вивчаючи процеси, які відбуваються на молекулярному та клітинному

рівнях, від зародження до формування основних органів. «Симуляція органогенезу» – віртуальні симуляції можуть показати, як відбувається формування органів і тканин в організмі на ранніх етапах розвитку, що дозволяє глибше зрозуміти процеси диференціації клітин та їх роль у розвитку органів.

Наведемо приклади цифрового інструментарію, який активно використовується студентами кафедри екології та біологічної освіти Хмельницького національного університету:

«Загальна біологія»: «Interactive Biology» – цей ресурс пропонує інтерактивні анімації, які демонструють основні концепції загальної біології, такі як клітинна структура, фотосинтез та еволюція. Студенти можуть вивчати матеріали через відео та інтерактивні графіки; «OpenStax Biology» – безкоштовний онлайн-підручник, що містить інтерактивні елементи, тести та вправи, які допомагають студентам закріпити знання про біологічні системи, екосистеми та взаємодії між організмами.

«Цитологія»: «Virtual Microscope» – платформа дозволяє студентам досліджувати зразки клітин під мікроскопом в онлайн-форматі. Це дає змогу вивчати різні типи клітин (наприклад, рослинні та тваринні) та їх структуру без необхідності в реальному лабораторному обладнанні; «Cell Biology Animation» – ресурс, пропонує 3D-анімації, які демонструють процеси, такі як мітоз і мейоз, що допомагає студентам візуалізувати та зрозуміти складні процеси клітинного поділу.

«Генетика»: «Learn Genetics» – цей ресурс пропонує безкоштовні матеріали для викладання генетики, включаючи інтерактивні модулі, які демонструють принципи спадковості, мутації та генного редагування. Наприклад, студенти можуть досліджувати, як працює CRISPR за допомогою інтерактивних графіків;

«Genetic Science Learning Center» – платформа надає інтерактивні вправи та симуляції, які допомагають зрозуміти генетичні концепції, такі як Punnett squares, та їх застосування в реальних дослідженнях.

«Біологія індивідуального розвитку»: «Embryology Interactive» – ресурс пропонує інтерактивні моделі розвитку ембріонів, що дозволяє студентам досліджувати стадії розвитку від запліднення до формування органів;

«Developmental Biology Animations» – платформа, що надає анімації, які демонструють процеси, такі як гастрюляція, нейруляція та формування органів, допомагають студентам візуалізувати і зрозуміти етапи індивідуального розвитку.

Отже, використання цифрових технологій у вивченні біологічних дисциплін має величезний потенціал для покращення навчального процесу, роблячи його більш ефективним, доступним та цікавим для студентів. Це не лише готує майбутніх фахівців до роботи в сучасному світі, але й сприяє розвитку їхніх навичок та знань у галузі біології.

Перспективи використання цифрових технологій при вивченні загальної біології, цитології, генетики та біології індивідуального розвитку: широке використання віртуальної та доповненої реальності. Впровадження технологій віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) відкриває нові можливості для занурення студентів у навчальний процес:

- Інтеграція штучного інтелекту. Використання штучного інтелекту (ШІ) у навчальних платформах може забезпечити ще більшу індивідуалізацію освіти. ШІ може аналізувати успішність студентів, пропонувати персона-

лізовані завдання та ресурси, а також надавати зворотний зв'язок у реальному часі, що значно підвищить ефективність навчання;

- Розвиток онлайн-курсів та МООС. Масові відкриті онлайн-курси (МООС) продовжують розвиватися, надаючи доступ до якісних матеріалів з біології для студентів з усього світу. Це дозволяє залучати фахівців з різних країн до створення курсів, що збагачує навчальний контент та підвищує його актуальність;
- Покращення міждисциплінарного навчання. Цифрові технології можуть сприяти інтеграції біології з іншими науками, такими як хімія, фізика та інформатика;
- Зростання значення даних у біології. З розвитком біоінформатики та аналізу великих даних, студенти повинні навчатися працювати з великими обсягами інформації. Використання цифрових технологій для збору, аналізу та візуалізації біологічних даних стане важливим аспектом навчання в галузі генетики та біології індивідуального розвитку;
- Підвищення доступності освіти. Цифрові технології можуть знизити бар'єри для доступу до якісної освіти, особливо в регіонах з обмеженими ресурсами. Це дозволить більшій кількості студентів отримати знання в галузі біології, що, в свою чергу, може сприяти розвитку науки та освіти в країнах, що розвиваються;
- Співпраця між навчальними закладами та науковими інститутами. Цифрові платформи можуть полегшити співпрацю між університетами, дослідними інститутами та промисловістю, що сприятиме обміну знаннями та досвідом, а також участі студентів у реальних дослідженнях.

Таким чином, використання цифрових технологій у вивченні біологічних дисциплін має величезний потенціал для покращення навчального процесу, роблячи його більш ефективним, доступним та цікавим для студентів. Це не лише готує майбутніх фахівців до роботи в сучасному світі, але й сприяє розвитку їхніх навичок та знань у галузі біології:

- Підвищення мотивації та зацікавленості. Використання цифрових технологій у навчанні біології сприяє підвищенню мотивації студентів. Інтерактивні платформи, мультимедійні ресурси та віртуальні лабораторії надають можливість вивчати матеріал у захопливий та інтерактивний спосіб, що сприяє кращому засвоєнню знань.
- Доступність навчальних ресурсів. Цифрові технології забезпечують доступ до різноманітних навчальних матеріалів, включаючи відео, анімації та інтерактивні симуляції, що дозволяє студентам вчитися в зручному для них темпі. Це особливо важливо для тих, хто навчається дистанційно або має обмежений доступ до традиційних навчальних ресурсів.
- Індивідуалізація навчання. Адаптивні навчальні технології дозволяють враховувати індивідуальні потреби студентів, пропонуючи персоналізовані навчальні плани та ресурси. Це забезпечує більш ефективне засвоєння матеріалу, оскільки кожен студент може працювати над темами, які викликають у нього труднощі.
- Розвиток практичних навичок. Віртуальні лабораторії та симуляції дають

можливість студентам отримувати практичний досвід, що є важливим аспектом вивчення біології. Це особливо корисно для дисциплін, де практичні навички мають вирішальне значення, таких як цитологія та генетика.

- Сприяння колаборації. Цифрові інструменти, такі як платформи для дистанційного навчання, сприяють колективній роботі та обміну ідеями серед студентів. Це не лише покращує командну роботу, але й допомагає розвивати критичне мислення та аналітичні навички.
- Постійний розвиток технологій. Сфера цифрових технологій постійно розвивається, що відкриває нові можливості для вдосконалення навчання. Викладачі та студенти повинні бути готовими адаптуватися до нових інструментів та методів, що з'являються на ринку освітніх технологій.

У контексті динамічного розвитку цифрових технологій актуальним є подальше поглиблення досліджень у таких напрямках: розробка інтегрованих цифрових курсів для біологічних дисциплін, що поєднують елементи віртуальної реальності, доповненої реальності та гейміфікації для створення комплексного навчального середовища; емпіричне вивчення впливу цифрових технологій на рівень навчальних досягнень здобувачів освіти, мотивацію, розвиток критичного мислення та дослідницьких навичок у межах біологічної освіти; створення методичних рекомендацій для викладачів щодо ефективного поєднання традиційних і цифрових форм навчання в умовах змішаного або дистанційного освітнього процесу; дослідження потенціалу штучного інтелекту та адаптивних платформ у персоналізації біологічної освіти, зокрема у контексті складних тем, таких як молекулярна генетика, ембріологія чи цитогенетика; аналіз ефективності цифрових інструментів в контексті міждисциплінарного навчання, особливо на стику біології з хімією, фізикою, інформатикою та медициною; оцінка цифрової компетентності викладачів біологічних дисциплін та розробка моделей підвищення їх професійної готовності до впровадження сучасних освітніх технологій; дослідження впливу цифрових технологій на формування екологічної свідомості та наукового світогляду здобувачів освіти у процесі вивчення біологічних дисциплін.

Розширення та поглиблення цих дослідницьких напрямів сприятиме подальшому удосконаленню біологічної освіти в цифрову епоху, забезпечуючи її сучасність, ефективність і відповідність запитам суспільства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пехота О., Кіктенко А., Любарська О. та ін. Освітні технології: навч.-метод. посіб. Київ: А.С.К., 2002. 255 с.
2. Гриньова М. Цифрові технології в сучасній освіті: можливості та виклики. Харків: Освіта, 2015. 312 с.
3. Напулі С., Тейлор Д., Лі Ч. та ін. Використання віртуальних лабораторій у біологічній освіті. *Journal of Educational Technology*. 2021. Т. 18, № 3. С. 45–58.
4. Deng L., Zhang Y., Wang H. та ін. Доповнена реальність у викладанні біології: вплив на засвоєння знань. *Computers & Education*. 2020. Т. 148. С. 103788.
5. Miller H., Kastens K. Інтерактивні мультимедійні ресурси в біологічній освіті. *Journal of Science*. 2018. Т. 27, № 5. С. 410–420.
6. Çakiroğlu Ü., Gökoglu S. Вплив гейміфікації на мотивацію студентів до вивчення біології. *Education and Information Technologies*. 2019. Т. 24, № 6. С. 3455–3470.
7. Лінднер М., Краус Ф., Вайгель Т. та ін. Адаптивні онлайн-курси як засіб персоналізації біологічної

- освіти. *Online Learning Journal*. 2021. Т. 25, № 1. С. 101–116.
8. Шмід Б., Мюллер А., Вілке М. та ін. Штучний інтелект у біологічній освіті: можливості та виклики. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2022. Т. 32, № 2. С. 215–232.
 9. Ковальський С. Використання інтерактивних технологій на уроках біології та екології: кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр». Київ, 2023. 82 с.
 10. Люленко С., Подзерей Р. Застосування цифрових технологій для підвищення якості навчання хімії та біології. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2023. № 2(84). С. 113–121.
 11. Козак Н. О., Макашова О. Є., Мещерякова І. П. Мультимедійні технології у вивченні медичної біології. *Медицина освіти*. 2019. № 3. С. 28–33.
 12. Гнатюк В., Аркушина Г., Скорик О. Перехід від традиційних до цифрових методів викладання біології. *Педагогічні науки: теорія і практика*. 2024. № 1(115). С. 94–101.

REFERENCES

1. Pehota, O. M., Kiktenko, A. Z., Liubarska, O. M., et al. (2002). *Osvitni tekhnolohii* [Educational technologies: Teaching and methodical guide]. Kyiv: A.S.K. [in Ukrainian].
2. Hryniova, M. V. (2015). *Tsyfrovi tekhnolohii v suchasni osviti: mozhly v ostita vyklyky* [Digital technology esinmodern education: Opportunities and challenges]. Harkiv: Osvita [in Ukrainian].
3. Napuli, S., Taylor, D., Lee, C., et al. (2021). The use of virtual laboratories in biology education. *Journal of Educational Technology*, 18(3), 45–58 [in English].
4. Deng, L., Zhang, Y., Wang, H., et al. (2020). Augmented reality in biology teaching: The impact on knowledge acquisition. *Computers & Education*, 148, 103788 [in China].
5. Miller, H., & Kastens, K. (2018). Interactive multimedia resources in biology education. *Journal of Science Education and Technology*, 27(5), 410–420 [in English].
6. Çakiroğlu, Ü., & Gökoglu, S. (2019). The effect of gamification on students' motivation in learning biology. *Education and Information Technologies*, 24(6), 3455–3470 [in Turkey].
7. Lindner, M., Kraus, F., Weigel, T., et al. (2021). Adaptive online e-courses as a tool for personalized biology education. *Online Learning Journal*, 25(1), 101–116 [in English].
8. Schmid, B., Müller, A., Wilke, M., et al. (2022). Artificial intelligence in biology education: Opportunities and challenges. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(2), 215–232 [in English].
9. Kovalskyi, S., Kastens K., (2023). *Vykorystannia interaktyvnykh tekhnolohii na urokakh biolohii ta ekolohii* [The use of interactive technologies in biology and ecology lessons]. *Master's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
10. Liulenko, S., & Podzerei, R. (2023). *Zastosuvannia tsyfrovnykh tekhnolohii dlia pidvyshchennia yakosti navchannia khimii ta biolohii* [The use of digital technologies to improve chemistry and biology education]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia*, (2)84, 113–121 [in Ukrainian].
11. Kozak, N. O., Makashova, O. Ye., & Meshcheriakova, I. P. (2019). *Multymediini tekhnolohii u vyvchenni medychnoi biolohii* [Multimedia technologies in medical biology education]. *Medychna osvita*, (3), 28–33 [in Ukrainian].
12. Hnatiuk, V., Arkushyna, H., & Skoryk, O. (2024). *Perekhid vid tradytsiinykh do tsyfrovnykh metodiv vykladannia biolohii* [The shift from traditional to digital teaching methods in biology]. *Pedahohichni nauky: teoriia i praktyka*, (1)115, 94–101 [in Ukrainian].