Педагогіка дошкільної та середньої освіти. Професійна освіта та теорія навчання

УДК 378.147:57

Використання онлайн-лабораторій та симуляторів на уроках біології

THE USE OF ONLINE LABORATORIES AND SIMULATORS IN BIOLOGY CLASSES

ГНЄЗДІЛОВА Вікторія – *кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника, вул. Галицька, 201б, м. Івано-Франківськ, 76008, Україна*

ORCID https://orcid.org/0000-0002-3340-5747

GNIEZDILOVA Victoria – *PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Biology and Ecology, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 201b, Halytska Street, Ivano-Frankivsk, 76008, Ukraine*

МИКИТИН Тетяна – *кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника, вул. Галицька, 201б, м. Івано-Франківськ, 76008, Україна*

ORCID https://orcid.org/0000-0002-3458-0520

MYKYTYN Tetiana – *PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Biology and Ecology, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 201b, Halytska Street, Ivano-Frankivsk, 76008, Ukraine*

РІЗНИЧУК Надія – *кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника, вул. Галицька, 201б, м. Івано-Франківськ, 76008, Україна*

ORCID https://orcid.org/0000-0002-4863-6775

RIZNYCHUK Nadiya – *PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Biology and Ecology, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 201b, Halytska Street, Ivano-Frankivsk, 76008, Ukraine*

ПРИЙМАК Андріана – *магістр 1 року навчання спеціальності 014.05 Середня освіта (біологія та здоров'я людини), Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника, вул. Галицька, 201б, м. Івано-Франківськ, 76008, Україна*

ORCID https://orcid.org/0009-0004-8324-9262

PRYIMAK Andriana – *master's student of the 1st year of study, specialization 014.05 Secondary Education (Biology and Human Health), Department of Biology and Ecology, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 201b, Halytska Street, Ivano-Frankivsk, 76008, Ukraine*

Анотація. *У статті розглянуто використання онлайн-лабораторій та симуляторів при викладанні біології як ефективного інструменту модернізації освітнього процесу. Віртуальні лабораторії дозволяють компенсувати нестачу матеріально-технічної бази, забезпечують безпечне проведення експериментів та сприяють розвитку дослідницьких навичок учнів. Проаналізовано переваги інтеграції цифрових платформ у навчання, зокрема їхній вплив на формування критичного мислення, самостійної роботи та навичок експериментальної діяльності. Визначено основні методичні підходи до застосування онлайн-лабораторій у шкільній програмі та перспективи їх подальшого використання в контексті дистанційного та змішаного навчання. Акцентовано увагу на питаннях ефективності використання віртуальних лабораторій у порівнянні з традиційними методами викладання, що є актуальним у сучасних освітніх реаліях. Запропоновано інструктивну картку для виконання лабораторної роботи з використанням віртуальної лабораторії. Окрему увагу приділено аналізу можливостей інтеграції онлайн-лабораторій у навчальний процес із метою підвищення рівня засвоєння*

© ГНЄЗДІЛОВА Вікторія, МИКИТИН Тетяна, РІЗНИЧУК Надія, ПРИЙМАК Андріана

матеріалу. Автори виокремили основні етапи успішної інтеграції віртуальних лабораторій та симуляторів у навчальний процес з біології: ознайомлення учнів з онлайн-лабораторією, інтеграція у навчальний план, розробка завдань, отримання зворотного зв'язку. Встановлено, що онлайн-лабораторії сприяють формуванню дослідницької компетентності, розвитку аналітичного мислення та підвищенню мотивації учнів до вивчення природничих наук. До негативних факторів їх використання можна віднести: відсутність в учнів фізичного досвіду роботи з лабораторним обладнанням, живого спілкування з однолітками та залежність від технологій. У статті зроблено висновок, що онлайн-лабораторії є ефективним засобом підвищення якості біологічної освіти, забезпечують доступність навчання, гнучкість у викладанні та підвищують рівень практичних навичок учнів. Вони сприяють створенню інтерактивного навчального середовища, яке відповідає сучасним вимогам освіти.
Ключові слова: *онлайн-лабораторії, симулятори, біологічна освіта, дистанційне навчання, віртуальні експерименти, цифрові технології.*

Summary. *The article examines the use of online laboratories and simulators in biology teaching as an effective tool for modernizing the educational process. Virtual laboratories help compensate for the lack of material and technical resources, ensure the safe conduct of experiments, and promote the development of students' research skills. The advantages of integrating digital platforms into education have been analyzed, particularly their impact on the development of critical thinking, independent work, and experimental skills. The main methodological approaches to the use of online laboratories in the school curriculum have been identified, as well as the prospects for their further application in the context of distance and blended learning. The focus is on the effectiveness of virtual laboratories compared to traditional teaching methods, which is particularly relevant in modern educational contexts. An instructional guide for conducting a laboratory experiment using a virtual laboratory has been proposed. Special attention is given to analyzing the possibilities of integrating online laboratories into the educational process to enhance material retention. The authors have identified the key stages of successful integration of virtual laboratories and simulators into biology education: familiarizing students with the online laboratory, introducing it into the curriculum, developing assignments, and obtaining feedback. It has been established that online laboratories contribute to the development of research competence, analytical thinking, and increased student motivation for studying natural sciences. However, their use also has some drawbacks, including the lack of hands-on experience with laboratory equipment, reduced live interaction with peers, and dependence on technology. The article concludes that online laboratories are an effective tool for enhancing the quality of biology education, ensuring accessibility, flexibility in teaching, and improving students' practical skills. They contribute to the creation of an interactive learning environment that meets modern educational requirements.*
Key words: *online laboratories, simulators, biology education, distance learning, virtual experiments, digital technologies.*

Вступ. Сучасні технології відіграють важливу роль у вдосконаленні освітнього процесу, зокрема у викладанні біології. Одним із перспективних інструментів для підвищення ефективності навчання є онлайн-лабораторії, які надають учням можливість проводити віртуальні експерименти, моделювати біологічні процеси та взаємодіяти з цифровим середовищем. В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій та з огляду на безпекову ситуацію в нашій країні не зникає потреба у дистанційному навчанні, а використання таких лабораторій стає актуальним засобом забезпечення якісної біологічної освіти.

Онлайн-лабораторії дозволяють компенсувати обмеження, пов'язані з відсутністю матеріально-технічної бази у школах, мінімізувати ризики роботи з небезпечними речовинами та забезпечити доступ до складних експериментів, які неможливо реалізувати у традиційних умовах. Вони сприяють розвитку дослідницьких навичок, критичного мислення, самостійності учнів, що є важливими аспектами сучасної біологічної освіти, а також ключовими компетентностями Нової української школи.

Однак ефективність використання онлайн-лабораторій у навчальному процесі потребує наукового обґрунтування. Важливо оцінити їхній вплив на формування знань і навичок учнів, а також визначити оптимальні методики інтеграції цих інструментів у шкільну програму.

Аналіз останніх досліджень. До теми використання інтерактивних технологій при вивченні природничих дисциплін зверталися різні науковці та освітяни-практики. Зокрема, С. Сорокіна та ін. у своїй роботі проаналізували особливості використання технологій віртуальної реальності в освітньому процесі, зокрема у вивченні біології, та визначили основні переваги та недоліки такого підходу. Автори зазначають, що у процесі вивчення біології віртуальна реальність сприяє кращому розумінню та запам'ятовуванню навчального матеріалу. Використання віртуальної реальності має великий потенціал для покращення освіти та розвитку біологічних наук загалом [5].

В. Гнатюк та ін. аналізували сучасні можливості віртуальних лабораторій. Основну увагу автори приділили обговоренню переваг, які формуються завдяки їх активному використанню в освітньому процесі [2]. Вони наголошують на значному поширенні інноваційних цифрових технологій в освітніх середовищах. У своїй роботі науковці розглянули програми (*VirtualLab, LabInApp Virtual Labs, BioDigital Human, Labster* та інші), які найчастіше використовуються під час підготовки спеціалістів як в українських закладах освіти, так і в європейських.

У своєму дослідженні Г. Аркушина та ін. розглянули можливості використання різних цифрових платформ та онлайн-ресурсів викладачами біології для реалізації освітніх завдань в умовах дистанційного та змішаного навчання [1]. У статті описано найпоширеніші з них. Визначено, що такі методи викладання сприяють оптимізації процесу навчання, підвищують навчально-пізнавальну активність та слугують розвитку критичного та візуального мислення здобувачів освіти. Автори зазначають, що актуальним у викладанні біології є також використання віртуальних лабораторій. Вони дозволяють краще зрозуміти складні біологічні концепції, розвинути практичні навички.

До визначення ефективності використання онлайн-лабораторій під час опанування біологічних дисциплін зверталися і закордонні науковці. Зокрема, Трейсі А. Стакі-Мікелл та Бріджит Д. Стакі-Даннер (*Tracey A. Stuckey-Mickell, Bridget D. Stuckey-Danner*) провели дослідження про те, які лабораторії (віртуальні чи реальні) сприяють кращому розумінню та засвоєнню навчального матеріалу [9]. Більшість студентів, що взяли участь в опитуванні, віддавали перевагу реальним лабораторіям. У той же час багато респондентів зазначили, що віртуальні лабораторії є корисними для розуміння експериментального дизайну та змісту курсу. Це свідчить про позитивне ставлення до віртуальних лабораторій як до додаткового навчального інструменту.

Byukusenge et al. у ході своїх досліджень проаналізували 26 наукових статей, пов'язаних із використанням віртуальних лабораторій у біологічній освіті [7]. Автори підкреслюють, що онлайн-лабораторії особливо ефективні при вивченні абстрактних тем, таких як клітинна біологія, генетика та мікробіологія. Результати свідчать про те, що віртуальні лабораторії сприяють активному навчанню та залученню, що робить їх цінним інструментом у сучасній освіті з біології.

В іншому науковому дослідженні йдеться про те, як віртуальні лабораторії сприяють електронному навчанню через різноманітні онлайн-інструменти: симуляції, анімаційні відео та методи самостійної оцінки. Такі лабораторії надають безпечне середовище для проведення експериментів, які можуть бути небезпечними в традиційних умовах, дозволяючи студентам взаємодіяти зі складними біологічними концепціями без супутніх ризиків [8].

Систематичний огляд показав, що віртуальні лабораторії значно підвищують концептуальне розуміння, практичні навички та мотивацію учнів до вивчення біології.

Віртуальні лабораторії стали важливим інструментом у дистанційному навчанні, особливо в галузі природничих наук і біології, зокрема. Хоча їх можна ефективно використовувати і для офлайн-навчання. Сучасні учні є представниками покоління з «кліковим» мисленням, яким важко довго утримувати увагу, і займаються вони лише тим, що їх по-справжньому цікавить.

Онлайн-лабораторії урізноманітнюють освітній процес та сприяють кращому опануванню навчального матеріалу. А саме:

- дозволяють учням проводити експерименти в безпечному середовищі, моделюючи поведінку об'єктів і спостерігаючи за результатами. Це підвищує розуміння ключових концепцій у біології;
- учні можуть отримувати практичний досвід, виконуючи експерименти, аналізуючи дані, підтверджуючи або спростовуючи гіпотези та вирішуючи проблеми. Це формує навички систематичності, критичного та аналітичного мислення;
- віртуальні лабораторії усувають ризики, пов'язані з використанням реальних матеріалів і живих організмів. Це особливо важливо в умовах дистанційного навчання, коли фізичні лабораторії можуть бути недоступні, або ж відсутнє необхідне обладнання;
- віртуальні лабораторії сприяють активному залученню учнів у процес навчання. Школярі можуть самостійно експериментувати, що підтримує їхню активну роль у власному освітньому процесі;
- учні можуть повторювати експерименти стільки разів, скільки потрібно для досягнення глибшого розуміння матеріалу. Це дозволяє їм аналізувати свої помилки і вдосконалювати навички;
- віртуальні лабораторії надають можливість вивчати різні біологічні концепції через інтерактивні симуляції. Це робить навчання більш доступним і зручним для учнів [4, 6].

Таким чином, віртуальні лабораторії не лише покращують якість біологічної освіти, але й роблять її більш інтерактивною та безпечною для учнів.

Метою статті є огляд можливостей та перспектив використання онлайн-лабораторій у викладанні біології та методичних підходів до їх застосування.

Виклад основного матеріалу. За час пандемії COVID-19, коли заклади освіти вимушено перейшли на дистанційне навчання, більшість учителів природничих дисциплін почали активно використовувати у своїй роботі платформу *Graasp*. Вона дозволяла створювати індивідуальне навчальне середовище з використанням віртуальної лабораторії *Go-Lab*, а також різноманітних інструментів, які допомагали у проведенні експериментів [3]. Проте на даний час платформа не працює у повному обсязі з певних технічних причин. Залишилася можливість окремого використання онлайн-лабораторій [14]. Платформа пропонує велике різноманіття віртуальних лабораторій, які можна використати на лабораторних, факультативних заняттях, у гуртковій роботі з біології, для підготовки учнівських наукових робіт. Лабораторія працює у режимі перегляду. Для полегшення роботи учнів із функціоналом обраної лабораторії необхідно скласти інструктивну картку. Оскільки інтерфейс є англомовним. Пропонуємо зразок інструктивної картки.

Тема: *Дослідження впливу інтенсивності світла та температури на швидкість фотосинтезу*

Мета: *З'ясувати, як змінюється швидкість фотосинтезу залежно від інтенсивності світла та температури, використовуючи симуляцію*

Хід роботи

Підготовка до експерименту

1. Перейдіть за покликанням: https://leosiiman.neocities.org/lab-rate-of-photosynthesis/photolab-individual.

2. Ознайомтеся з інтерфейсом:

Lamp Intensity (Lumens) – інтенсивність світла;

Temperature – температура;

Numbers of bubbles – показник бульбашок, що відображає швидкість фотосинтезу.

Виконання експерименту

1. Дослідження впливу інтенсивності світла

1) Встановіть температуру на рівні 25°C.

2) Почніть із мінімальним рівнем інтенсивності світла (0 одиниць).

3) Натисніть розпочати і запишіть кількість бульбашок, які виділяються за 30 секунд.

4) Збільшите інтенсивність світла на 1000 одиниць (2000, 3000), щоразу записуючи результат до таблиці.

Таблиця 1. Вплив інтенсивності світла

Інтенсивність світла	0	1000	2000	3000
Кількість бульбашок при температурі 25°C за 30 сек				

2. Дослідження впливу температури

1) Встановіть інтенсивність світла на рівні 2000 одиниць.

2) Почніть із мінімальною температурою (10°C).

3) Натисніть розпочати і запишіть кількість бульбашок на 30 секунд.

4) Підвищуйте температуру до 25°C та 40°C, записуючи кількість бульбашок до таблиці:

Таблиця 2. Вплив температури

Температура	10°C	25°C	40°C
Кількість бульбашок при інтенсивності світла 2000 одиниць, за 30 с			

Завдання

1. Побудуйте графіки впливу інтенсивності світла на перебіг фотосинтезу та впливу температури.

2. Порівняйте результати, знайшовши оптимальні значення інтенсивності світла та температури, при яких фотосинтез відбувається найвище.

3. Напишіть висновок.

Платформа *Phet* пропонує сім симуляцій, які допоможуть опанувати біологію людини, генетику, біохімію [11]. Важливо зауважити, що симуляції перекладені українською мовою, тому це значно полегшує їх використання учнями та вчителями. Інтерфейс доволі простий і зрозумілий у використанні. Кожна симуляція містить додаткові розділи: інформація (перелік теми, для вивчення яких можна використати симуляцію; перелік навчальних цілей); ресурси для викладання (поради для вчителів як працювати з симуляцією); діяльність (розробки уроків з використанням симуляції).

Платформа *OLABS* розроблена та підтримується університетом *Amrita* (Індія) [10]. Вона пропонує віртуальні лабораторії з фізики, хімії, біології для учнів 9–12 класів, а також симуляції з математики та англійської мови для учнів 9–10 класів. Онлайн-лабораторії та симуляції з біології поділені за темами на чотири групи відповідно до навчального матеріалу шкільної програми: 9 клас, 10 клас, 11 клас та 12 клас. Кожна симуляція чи лабораторія складається

з декількох частин: теорія (короткий теоретичний матеріал), хід роботи (з описом необхідного лабораторного обладнання), анімація (коротке відео, у якому показано як проводять цей експеримент у реальній лабораторії), симулятор (за допомогою якого учні проводять віртуальні дослідження), самоперевірка (тестові запитання, які допомагають учневі перевірити теоретичні знання з даної теми), ресурси (перелік джерел додаткової інформації) та фідбек (для зворотного зв'язку з розробниками платформи). Єдиним вагомим недоліком цієї платформи є англомовний інтерфейс. Тому для використання симуляторів та лабораторій необхідно хід роботи перекладати українською мовою або знову ж таки розробляти інструктивну картку для учнів. Гарною ідеєю може бути використання платформи для інтегрованих уроків англійської мови та біології, хімії чи фізики.

Комп'ютерна програма *ROQED* Science нещодавно з'явилася на ринку і набирає популярності серед учителів [12]. Використання 3D інтерактивних віртуальних лабораторій з фізики, хімії, біології, географії дає можливість провести наочно та віртуально демонстрації різних фізичних, хімічних та біологічних досліджень, зрозуміти суть роботи приладів, механізмів та обладнання. Програма також має багатофункціональні інструменти для створення унікальних уроків. Суттєвим недоліком є те, що програмне забезпечення є платним. У демоверсії доступні сім пробних уроків, які містять лише два типи контенту: інтерактивні анімації та вивчення структури. Вивчення структури дозволяє обертати, досліджувати об'єкти з різних ракурсів, а також розбирати їх на дрібніші складові частинки. Розробники програми також пропонують мобільний додаток *Roqed Student* з технологію доповненої реальності, а також можливість підключення до інтерактивної дошки для проходження спільних тестувань.

Платформа *Simpop* пропонує симуляції та ігри з фізики, хімії та біології [13]. Найбільшою кількістю симуляцій представлена фізика. Хоча інтерфейс платформи є англомовним, це не викликає додаткових труднощів у використанні. Оскільки симуляції та ігри є доволі простими, вони розраховані на учнів від 6 до 12 років. У категорії «Біологія» пропонується симуляція «Віртуальний мікроскоп», у якому можна розглянути особливості будови семи запропонованих живих об'єктів. Окрім віртуального мікроскопа можна пограти у біологічне лото, яке допоможе учням познайомитися з постатями видатних біологів.

Звичайно, успішна інтеграція віртуальних лабораторій та симуляторів у навчальний процес вимагає додаткових зусиль від учителів. Послідовність дій представлено на рисунку 1.

Рис. 1. Впровадження онлайн-лабораторій у навчальний процес

Як видно з рисунка, першим і дуже важливим завданням є знайомство учнів з платформою. А саме, з віртуальною лабораторією, симуляцією та інструментами, які будуть використовуватися для проведення досліджень. Якщо обрана віртуальна лабораторія має англомовний інтерфейс, то можна підготувати переклад українською мовою або ж запропонувати учням словничок термінів. Наступним кроком буде розробка плану-конспекту уроку із зазначенням форм та методів навчання. Необхідним є поєднання інтерактивних та традиційних методів.

Підбір об'єктів дослідження, розробка завдань лабораторної роботи та схеми експерименту вимагають найбільше часу та зусиль. На цьому етапі можна розробити інструктивну картку для лабораторної роботи, яка буде під рукою у кожного учня під час виконання завдання. Використовувати віртуальні лабораторії та симулятори, як уже згадувалося, можна не лише на уроках, але й на факультативних чи гурткових заняттях для проєктної діяльності. Це стимулюватиме учнів до проведення самостійних досліджень, розвиватиме наукове мислення, креативність. Останньою, але не менш важливою ланкою є отримання зворотного зв'язку від учнів про використання онлайн-лабораторії для подальшого вдосконалення освітнього процесу.

Висновки. Використання віртуальних лабораторій на уроках біології є потужним інструментом для покращення освітнього процесу. Вони не тільки роблять навчання більш доступним та безпечним, але й сприяють розвитку критичного мислення та практичних навичок в учнів. Інтеграція таких технологій у навчання може значно підвищити зацікавленість учнів у предметі та їхню готовність до самостійного навчання.

Проте, незважаючи на переваги використання віртуальних лабораторій в освітньому процесі, існує ряд негативних аспектів. А саме, відсутність в учнів фізичного досвіду роботи з лабораторним обладнанням та живого спілкування з однолітками і залежність від технологій.

У цілому, онлайн-лабораторії можуть ефективно покращити освіту з біології, підвищуючи залученість учнів, розуміння та практичні навички при забезпеченні безпечного та гнучкого навчального середовища.

Список використаних джерел

1. Аркушина Г. Ф., Гнатюк В. В., Скорик О. Д. Інноваційні методи викладання біології: від традиційних до цифрових підходів. *Академічні візії.* 2024. Вип. 28. С. 1–13. URL: https://dspace.cusu.edu.ua/handle/123456789/5096 (дата звернення: 23.02.2025).

2. Гнатюк В. В., Упатова І. П., Дехтярьова О. О., Куруц Н. В. Віртуальні лабораторії в біологічній освіті: моделювання експериментальних досліджень. *Академічні візії.* 2023. Вип. 21. С. 21–35. DOI: http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8199004

3. Гнєзділова В. І., Довбенюк Н. Я. Методика створення середовища ILS на платформі Graasp. *Перспективи та інновації науки. Серія «Педагогіка». Серія «Психологія». Серія «Медицина».* 2022. № 3 (8). С. 52–65. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-3(8)-52-65

4. Погляд експерта. Лабораторні роботи в умовах дистанційного навчання. URL: https://b-pro.com.ua/statti/poglyad-eksperta.-laboratorni-roboti-v-umovah-distancijnogo-navchannya (дата звернення: 28.02.2025).

5. Сорокіна С., Колодій В., Абрамчук О. Використання віртуальної реальності в навчанні біології: можливості та переваги. *Перспективи та інновації науки. Серія «Педагогіка». Серія «Психологія». Серія «Медицина».* 2023. № 13 (31). С. 338–349. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-13(31)-338-350

6. Шпуганич І. Г. Віртуальна фізична лабораторія під час дистанційного навчання. URL: https://naurok.com.ua/virtualna-fizichna-laboratoriya-pid-chas-distanciynogo-navchannya-388321.html (дата звернення: 25.02.2025).

7. Celine Byukusenge & Nsanganwimana Florien & Tarmo Albert. Effectiveness of Virtual Laboratories in Teaching and Learning Biology: A Review of Literature. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research.* 2022. Vol. 21. № 6. P. 1–17. DOI: https://doi.org/10.26803/ijlter.21.6.1

8. P. Manchikanti, B. Kumar and V. Singh. Role of Virtual Biology Laboratories in Online and Remote Learning. 2016. *IEEE Eighth International Conference on Technology for Education (T4E)*. Mumbai, India. 2016. P. 136–139. DOI: 10.1109/T4E.2016.035 DOI:10.1109/T4E.2016.035

9. Tracey A. Stuckey-Mickell and Bridget D. Stuckey-Danner Virtual Labs in the Online Biology Course: Student Perceptions of Effectiveness and Usability. *MERLOT Journal of Online Learning*

and Teaching. 2007. Vol. 3. № 2. P. 105–111. URL: https://jolt.merlot.org/vol3no2/stuckey.pdf (дата звернення: 24.02.2025).
10. Amrita Online Labs. URL: https://amrita.olabs.edu.in/?sub=79&brch=17&sim=199&cnt=4 (дата звернення: 27.02.2025).
11. PhET Interactive Simulations // University of Colorado Boulder. URL: https://phet.colorado.edu/uk/simulations/browse (дата звернення: 27.02.2025).
12. ROQED. URL: https://roqed.com.ua/index.html (дата звернення: 27.02.2025).
13. SimPop. URL: https://simpop.org (дата звернення: 27.02.2025).
14. Go-Lab Online Laboratories. URL: https://www.golabz.eu/labs (дата звернення: 28.02.2025).

References

1. Arkushyna G. F., Hnatuk V. V., Skoryk O. D. (2024). Innovatsijni metody vykladannia biologii: vid tradytsijnyh do tsyfrovyh pidhodiv [Innovative teaching methods in biology: from traditional to digital approaches]. Akademichni vizii – Academic visions, 28, 1–13. URL: https://dspace.cusu.edu.ua/handle/123456789/5096 (accessed 23.02.2025) [in Ukrainian].
2. Hnatiuk V. V., Upatova I. P., Dehtiarova O. O., Kuruts N. V. (2023). Virtualni laboratorii v biologichnij osviti: modeluvannia eksperementalnyh doslidzhen [Virtual laboratories in biological education: modeling experimental research]. Akademichni vizii – Academic visions, 21, 21–35. DOI: http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8199004 [in Ukrainian].
3. Gniezdilova V. I., Dovbeniuk N. Ya. (2022). Metodyka stvorennia seredovyshcha ILS na platform Graasp [Methods of creating an ILS on the Graasp platform]. Perspektyvy ta innovatsii nauky – Prospects and innovations of science, 3 (8), 52–65. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-3(8)-52-65 [in Ukrainian].
4. Pogliad eksperta. Laboratorni robony v umovah dystantsijnogo navchannia [The Expert's View: Laboratory Work in the Context of Distance Learning]. URL: https://b-pro.com.ua/statti/poglyad-eksperta.-laboratorni-roboti-v-umovah-distancijnogo-navchannya (accessed: 28.02.2025) [in Ukrainian].
5. Sorokina S., Kolodii V., Abramchuk O. (2023). Vykorystannia virtualnoi realnosty v navchanni biologii: mozhlyvosti ta perevagy [Use of virtual reality in teaching biology: opportunities and advantages]. Perspektyvy ta innovatsii nauky – Prospects and innovations of science, 13 (31), 338–349. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-13(31)-338-350 [in Ukrainian].
6. Shpuganych I. G. Virtualna fizychna laboratoria pid chas dystantsiynogo navchannia [Virtual physics laboratory during distance learning]. URL: https://naurok.com.ua/virtualna-fizichna-laboratoriya-pid-chas-distanciynogo-navchannya-388321.html (accessed: 25.02.2025) [in Ukrainian].
7. Celine Byukusenge & Nsanganwimana Florien & Tarmo Albert. (2022). Effectiveness of Virtual Laboratories in Teaching and Learning Biology: A Review of Literature. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research.* DOI: https://doi.org/10.26803/ijlter.21.6.1
8. P. Manchikanti, B. Kumar and V. Singh. (2016). Role of Virtual Biology Laboratories in Online and Remote Learning. *IEEE Eighth International Conference on Technology for Education (T4E).* Mumbai, India. DOI: 10.1109/T4E.2016.035 DOI:10.1109/T4E.2016.035
9. Tracey A. Stuckey-Mickell and Bridget D. Stuckey-Danner. (2007). Virtual Labs in the Online Biology Course: Student Perceptions of Effectiveness and Usability. *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching.* URL: https://jolt.merlot.org/vol3no2/stuckey.pdf (accessed: 24.02.2025).
10. Amrita Online Labs. URL: https://amrita.olabs.edu.in/?sub=79&brch=17&sim=199&cnt=4 (accessed: 27.02.2025).
11. PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. URL: https://phet.colorado.edu/uk/simulations/browse (accessed: 27.02.2025).
12. ROQED. URL: https://roqed.com.ua/index.html (accessed: 27.02.2025).
13. SimPop. URL: https://simpop.org (accessed: 27.02.2025).
14. Go-Lab Online Laboratories. URL: https://www.golabz.eu/labs (accessed: 28.02.2025).