

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

Хіміко-біологічний факультет
Кафедра загальної біології та методики навчання природничих дисциплін

Кваліфікаційна робота на тему:
ІНТЕГРУВАННЯ ВІДКРИТИХ НАУКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ШКІЛЬНУ
БІОЛОГІЧНУ ОСВІТУ

Спеціальність: 014 Середня освіта
Предметна спеціальність: 014.05 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини,
хімія)

Здобувача другого (магістерського)
рівня вищої освіти, ОПП «Середня освіта
(Біологія та здоров'я людини, хімія)»
Цимбалюка Олега Ігоровича

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:
кандидат біологічних наук, доцент
Герц Андрій Іванович

РЕЦЕНЗЕНТ:
доктор педагогічних наук, професор
Цідило Іван Миколайович

Робота захищена з оцінкою:
Національна шкала _____
Кількість балів: ____ Оцінка ECTS ____

АНОТАЦІЯ

Цимбалюк О. І. Інтегрування відкритих наукових технологій у шкільну біологічну освіту / Цимбалюк Олег Ігорович; ТНПУ ім. Володимира Гнатюка, хіміко-біологічний факультет, кафедра загальної біології та методики навчання природничих дисциплін; наук. керівник Герц А. І. – Тернопіль, 2025. 48 с.

У роботі досліджено проблему інтегрування відкритих наукових технологій у шкільну біологічну освіту в умовах переходу до компетентнісної парадигми навчання. Проаналізовано трансформацію сучасної біологічної освіти від знаннєвої моделі до компетентнісної, з'ясовано сутність і класифікацію відкритих наукових технологій в освітньому контексті.

Обґрунтовано педагогічний потенціал відкритих наукових технологій крізь призму сучасних дидактичних теорій та визначено основні дидактичні моделі й виклики їх інтеграції в освітній процес закладів загальної середньої освіти. Особливу увагу приділено організації дослідницької діяльності учнів з використанням платформи PhotosynQ як прикладу відкритої наукової технології.

Розроблено та апробовано навчальний проєкт «Еко-дослідники: як рослини реагують на стрес?», спрямований на формування дослідницьких компетентностей учнів. Проаналізовано результати педагогічного експерименту, які засвідчили позитивну динаміку навчальних досягнень, підвищення рівня сформованості дослідницьких умінь та зростання мотиваційно-ціннісного ставлення учнів до вивчення біології.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання запропонованої методики інтеграції відкритих наукових технологій у шкільну біологічну освіту в освітній практиці та системі підвищення кваліфікації вчителів.

Ключові слова: відкрита наука, відкриті наукові технології, біологічна освіта, дослідницька діяльність, компетентнісний підхід, PhotosynQ.

ABSTRACT

Tsymbaliuk O. I. Integration of Open Scientific Technologies into School Biological Education / Tsymbaliuk Oleh Ihorovych; Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Faculty of Chemistry and Biology, Department of General Biology and Methods of Teaching Natural Sciences; supervisor of scientific work Herts A. I. – Ternopil, 2025. 48 p.

The study addresses the issue of integrating open scientific technologies into school biological education in the context of the transition to a competency-based educational paradigm. The transformation of modern biological education from a knowledge-based model to a competency-oriented one is analyzed, and the essence and classification of open scientific technologies in the educational context are clarified.

The pedagogical potential of open scientific technologies is substantiated through the lens of modern didactic theories, and key didactic models and challenges of their integration into secondary school education are identified. Particular attention is paid to organizing students' research activities using the PhotosynQ platform as an example of an open scientific technology.

An educational project entitled "*Eco-Researchers: How Do Plants Respond to Stress?*" was developed and implemented. The results of the pedagogical experiment demonstrate a positive impact on students' academic achievements, the development of research competencies, and the enhancement of students' motivational and value-based attitudes toward learning biology.

The practical significance of the study lies in the possibility of applying the proposed methodology of integrating open scientific technologies into school biological education and in teacher professional development programs.

Keywords: open science, open scientific technologies, biological education, research activity, competency-based approach, PhotosynQ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРАЦІЇ ВІДКРИТИХ НАУКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ШКІЛЬНУ БІОЛОГІЧНУ ОСВІТУ	9
1.1. Трансформація шкільної біологічної освіти: від знаннєвої до компетентнісної парадигми	9
1.2. Сутність та класифікація відкритих наукових технологій в освітньому контексті.....	10
1.3. Педагогічний потенціал відкритих наукових технологій у світлі сучасних дидактичних теорій	12
1.4. Дидактичні моделі та виклики інтеграції відкритих наукових технологій	13
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМИ PHOTOSYNQ ...	15
2.1. Обґрунтування вибору платформи PhotosynQ для проведення формуального експерименту.	15
2.2. Опис дослідницького інструментарію та процедури роботи з ним.	17
2.3. Зміст і структура навчального проєкту "Еко-дослідники: як рослини реагують на стрес?", покладеного в основу формуального етапу експерименту.	22
2.4. Аналіз результатів апробації проєкту та його вплив на формування дослідницьких компетентностей учнів	27

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИКИ ІНТЕГРАЦІЇ ПЛАТФОРМИ PHOTOSYNQ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС	30
3.1. Організація та методика проведення педагогічного експерименту.	30
3.2. Аналіз та інтерпретація результатів педагогічного експерименту.	35
3.2.1. Аналіз динаміки навчальних досягнень учнів	36
3.2.2. Аналіз рівня сформованості дослідницьких компетентностей	37
3.2.3. Аналіз мотиваційно-ціннісного ставлення учнів до навчання.	37
ВИСНОВКИ	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	42
ДОДАТКИ	46

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна шкільна освіта в рамках концепції “Нова українська школа” (НУШ) перебуває на етапі переходу від знаннєвої до компетентнісної парадигми, де пріоритетом є не накопичення фактів, а розвиток умінь учнів самостійно здобувати знання та застосовувати їх для вирішення реальних проблем. У цьому контексті ключового значення набуває організація автентичної дослідницької діяльності, яка є фундаментальним інструментом для формування наукового світогляду, критичного мислення та цифрової грамотності [7].

Проте традиційні форми організації навчальних досліджень у школі часто мають репродуктивний або імітаційний характер, будучи відірваними від справжнього наукового процесу та сучасних технологічних інструментів. Це знижує мотивацію учнів та не дозволяє повною мірою реалізувати потенціал STEM-освіти. Виходом із цієї ситуації є інтеграція в освітній процес принципів громадянської науки (Citizen Science), яка передбачає залучення учнів до реальних наукових проєктів та збору даних, що мають справжню наукову цінність [25].

Глобальна онлайн-платформа PhotosynQ є унікальним інструментом для реалізації такої освітньої моделі. Вона поєднує професійних науковців та дослідників-аматорів у спільній мережі для вивчення фізіологічного стану рослин у відповідь на зміни довкілля. Використання доступного портативного приладу MultispeQ та хмарної платформи для аналізу даних дозволяє перетворити шкільний кабінет біології на ланку глобального наукового дослідження, роблячи навчальний процес практикоорієнтованим, технологічним та мотивуючим.

Незважаючи на значний потенціал відкритих наукових технологій, на сьогодні бракує науково обґрунтованих та експериментально перевірених методик їхньої інтеграції в освітній процес української школи. Таким чином, актуальність роботи визначається необхідністю розробки, теоретичного обґрунтування та практичної перевірки ефективності інноваційної методики, що поєднує проєктне навчання, принципи громадянської науки та сучасні цифрові інструменти для формування ключових компетентностей учнів [25].

Метою роботи є розробка, теоретичне обґрунтування та експериментальна перевірка ефективності методики інтеграції онлайн-платформи PhotosynQ в освітній процес для формування дослідницьких компетентностей учнів 10-го класу на уроках біології.

Об'єктом дослідження є процес організації проєктно-дослідницької діяльності учнів старших класів у процесі навчання біології.

Предметом дослідження є педагогічні умови, форми, методи та засоби формування дослідницьких та інформаційно-цифрових компетентностей учнів засобами відкритих наукових технологій (на прикладі платформи PhotosynQ).

Завдання роботи:

1. Проаналізувати теоретичні засади модернізації шкільної біологічної освіти в контексті компетентнісного, діяльнісного та STEM-орієнтованого підходів.
2. Розкрити сутність та класифікувати відкриті наукові технології, обґрунтувавши їхній педагогічний потенціал для формування наукового мислення учнів.
3. Розробити методику організації проєктно-дослідницької діяльності учнів з використанням платформи PhotosynQ (на прикладі навчального проєкту “Еко-дослідники: як рослини реагують на стрес?”).
4. Спроекувати та організувати педагогічний експеримент для перевірки ефективності розробленої методики.

5. Здійснити кількісний та якісний аналіз результатів експериментальної роботи, довівши її вплив на навчальні досягнення, дослідницькі компетентності та мотивацію учнів.
6. Сформулювати методичні рекомендації для вчителів біології щодо впровадження відкритих наукових технологій в освітній процес.

Методи дослідження: теоретичні (аналіз, синтез, узагальнення та систематизація науково-педагогічної, методичної та психологічної літератури; моделювання освітнього процесу); емпіричні (педагогічне спостереження, анкетування, тестування, педагогічний експеримент (констатувальний, формувальний, контрольний етапи), аналіз продуктів діяльності учнів); методи математичної статистики для обробки та інтерпретації отриманих даних.

Практичне значення. Розроблена методика та навчальний проєкт “Еко-дослідники: як рослини реагують на стрес?” можуть бути впроваджені в освітній процес закладів загальної середньої освіти на уроках біології, в рамках роботи гуртків еколого-натуралістичного спрямування, а також при підготовці учнів до участі у конкурсах-захистах науково-дослідницьких робіт Малої академії наук України.

Теоретичне значення. Дослідження поглиблює теорію та методику проєктного навчання біології, розкриваючи дидактичний потенціал інтеграції моделі громадянської науки та цифрових онлайн-платформ у шкільну освіту. Робота обґрунтовує ефективність використання автентичної дослідницької діяльності як засобу формування ключових компетентностей НУШ [15].

Апробація результатів кваліфікаційної роботи. Основні положення та результати роботи були представлені на Міжнародній науково-практичній конференції «Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2025», присвяченої 85-річчю хіміко-біологічного факультету ТНПУ.

Структура та обсяг магістерської роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи 48 сторінок. Робота містить 4 таблиці та 4 рисунки.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРАЦІЇ ВІДКРИТИХ НАУКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ШКІЛЬНУ БІОЛОГІЧНУ ОСВІТУ

1.1. Трансформація шкільної біологічної освіти: від знаннєвої до компетентнісної парадигми

Історично шкільна біологічна освіта будувалася на знаннєвій, або трансляційній, парадигмі, де головною метою було передання учням усталеної суми знань про живу природу. Учитель виступав основним джерелом інформації, а учень — її пасивним реципієнтом. Основними методами були лекція, розповідь, робота з підручником, а критерієм успішності — здатність відтворити вивчений матеріал. Така модель, ефективна для індустріальної епохи, виявилася неспроможною відповідати на виклики ХХІ століття — епохи інформаційного вибуху, глобалізації та стрімких технологічних змін. Сучасність вимагає від випускника школи не стільки енциклопедичних знань, скільки компетентностей — динамічної комбінації знань, умінь, навичок, способів мислення, поглядів та цінностей, що дозволяють ефективно діяти і навчатися протягом усього життя [1].

Цей парадигмальний зсув є центральним для освітніх реформ у всьому світі та, зокрема, для концепції Нової української школи (НУШ). У контексті біологічної освіти він проявляється в кількох ключових векторах модернізації. Насамперед, центральним елементом цієї трансформації є пріоритет компетентнісного підходу. Згідно з Державним стандартом базової середньої освіти, метою природничої освітньої галузі є формування в учнів цілісної картини світу, наукового світогляду та ключових компетентностей. Це включає вміння обговорювати біологічні проблеми та коректно використовувати термінологію, застосовувати математичні методи для аналізу біологічних даних, а також розвиток компетентностей у галузі природничих наук, техніки і технологій. Окрім цього, надзвичайно важливою стає інформаційно-цифрова

компетентність, що передбачає вміння критично оцінювати інформацію та працювати з цифровими ресурсами, та екологічна грамотність, що формує усвідомлення взаємозв'язків у природі та відповідальне ставлення до довкілля і власного здоров'я [9].

Невід'ємною складовою модернізації є поглиблена інтеграція STEM-освіти. Цей підхід розглядає біологію (Science) у синергії з використанням сучасних технологій (Technology), інженерним проєктуванням (Engineering) та математичним моделюванням (Mathematics). Такий підхід дозволяє розв'язувати комплексні, реальні проблеми, що значно підвищує практичну значущість навчання. Водночас посилюється роль дослідницької та проєктної діяльності. Навчання все більше організовується як дослідницький процес, у межах якого учні залучаються до проєктів, де вони самостійно проходять шлях від постановки дослідницького питання до презентації результатів. Це сприяє не лише глибокому засвоєнню матеріалу, а й розвитку навичок планування, самоорганізації та роботи в команді [11].

Звісно, такий перехід до нової парадигми пов'язаний із низкою викликів. До них належать необхідність оновлення змісту освіти та навчальних програм, недостатня матеріально-технічна база багатьох шкіл, а головне — потреба у професійному розвитку вчителів, які мають опанувати нові ролі фасилітатора, тьютора та організатора освітнього процесу. Таким чином, сучасна біологічна освіта стоїть перед завданням виховати не просто носія знань, а дослідника, здатного критично мислити, вчитися та адаптуватися до змін, що створює нагальний запит на відповідні педагогічні технології [26].

1.2. Сутність та класифікація відкритих наукових технологій в освітньому контексті

Відкрита наука (Open Science) — це глобальний рух, що має на меті зробити наукові дослідження та їх результати доступними для всіх рівнів суспільства на принципах прозорості, співпраці та верифікованості. Відповідно, відкриті наукові технології (ВНТ) є цифровим інструментарієм та

методологічними практиками, що реалізують ці принципи. В освітньому контексті ВНТ виступають мостом між професійною наукою та шкільним класом, дозволяючи учням долучитися до автентичної наукової діяльності. Для системного розуміння цих технологій їх доцільно класифікувати за функціональним призначенням в освітньому процесі.

Провідну роль відіграють технології залучення до наукових досліджень, відомі як громадянська наука (Citizen Science). Їхня сутність полягає в залученні громадян, зокрема школярів, до збору, класифікації та аналізу наукових даних у рамках масштабних дослідницьких проєктів. Розрізняють декілька типів таких проєктів, від контрибутивних, де учасники збирають дані за чіткими інструкціями, до колаборативних та ко-креативних, що передбачають участь в аналізі та навіть постановці дослідницьких завдань. Прикладами таких платформ є глобальна мережа iNaturalist для моніторингу біорізноманіття та портал Zooniverse, що пропонує десятки проєктів з класифікації наукових зображень [8].

Іншим важливим напрямом є технології роботи з відкритими даними (Open Data), які надають вільний доступ до масивів реальних наукових даних. У біології це можуть бути геномні бази даних, такі як GenBank, інформація про поширення видів з Global Biodiversity Information Facility (GBIF) або кліматичні дані від NASA. Освітнє застосування таких ресурсів дозволяє учням аналізувати реальні тренди, перевіряти гіпотези, будувати моделі та розвивати навички роботи з великими даними [8, 14].

Окрему групу складають технології для експериментальної діяльності — віртуальні та віддалені лабораторії. Це цифрові середовища, що дозволяють проводити досліди, які неможливо виконати в школі через складність, вартість, небезпеку чи етичні обмеження. Платформи, як-от PhET Interactive Simulations або Labster, надають можливість моделювати процеси на молекулярному чи екосистемному рівнях, сприяючи глибокому розумінню біологічних явищ. Нарешті, до ВНТ належать технології доступу та поширення знань, що включають відкриті освітні ресурси (OER) та публікації відкритого доступу

(Open Access). Такі ресурси, як відеолекції Khan Academy, онлайн-курси Prometheus чи наукові журнали, розширюють освітній простір і дозволяють учням та вчителям знайомитися з найновішими науковими досягненнями.

1.3. Педагогічний потенціал відкритих наукових технологій у світлі сучасних дидактичних теорій

Ефективність відкритих наукових технологій ґрунтується не лише на їхній технологічній новизні, а й на глибокій відповідності провідним теоріям навчання, що ставлять у центр учня як активного творця знань. Насамперед, ВНТ є практичною реалізацією принципів конструктивізму та дослідницького навчання. Теорія конструктивізму, розроблена Жаном Піаже та Левом Виготським, стверджує, що знання не передаються в готовому вигляді, а активно конструюються учнем у процесі взаємодії з навколишнім світом. ВНТ створюють ідеальне середовище для такого конструювання: працюючи з реальними даними чи беручи участь у проєкті громадянської науки, учень самостійно "збирає" своє розуміння біологічних процесів. Це тісно пов'язано з підходом дослідницького навчання, який моделює процес наукового пізнання. Завдяки ВНТ учні не просто читають про фотосинтез, а можуть у віртуальній лабораторії змінювати параметри і спостерігати за результатами, самостійно відкриваючи закономірності [5].

Використання ВНТ безпосередньо сприяє формуванню наукового мислення та його ключових компонентів. Насамперед, вони розвивають критичне мислення, адже реальні дані, на відміну від завдань підручника, можуть містити помилки та вимагають оцінки надійності джерел. Окрім цього, аналіз великих масивів екологічних даних формує системне мислення, тобто здатність бачити складні взаємозв'язки в екосистемах. Нарешті, використання симуляцій та моделей дозволяє розвивати і прогностичне мислення — вміння передбачати розвиток біологічних систем, що є однією з найважливіших функцій сучасної науки.

Не менш важливим є вплив ВНТ на мотиваційну сферу учнів. Автентичність та значущість діяльності, тобто можливість зробити реальний внесок у науку, є надзвичайно потужним мотиватором, що перетворює навчання з абстрактної шкільної рутини на осмислений процес. Гнучкі формати роботи, які пропонують багато ВНТ-проектів, надають учням автономію у виборі теми, методів та темпу роботи. Це сприяє розвитку самостійності, відповідальності та формуванню учня як повноцінного суб'єкта власної освітньої діяльності [30].

1.4. Дидактичні моделі та виклики інтеграції відкритих наукових технологій

Успішна інтеграція ВНТ вимагає не хаотичного використання окремих інструментів, а розробки цілісних дидактичних моделей. Такі моделі можуть варіюватися від найпростіших до комплексних. Найпоширенішою є модель "точкового збагачення уроку", коли вчитель використовує окремі ресурси, наприклад, інтерактивну симуляцію, для ілюстрації конкретної теми. Більш глибоким підходом є модель «перевернутого класу», де теоретичний матеріал учні опановують вдома за допомогою відкритих ресурсів, а час на уроці присвячується практичній дослідницькій роботі. Найвищим рівнем інтеграції можна вважати модель «проектного навчання», за якої ВНТ стають основою для довготривалих дослідницьких проектів. Окрім урочної діяльності, ефективною може бути модель "наукового клубу", що дозволяє поглиблено працювати зі складними інструментами у позакласний час [17, 21].

Однак, попри значний потенціал, впровадження ВНТ стикається з низкою суттєвих перешкод. До них належать цифрова нерівність, що проявляється в нерівному доступі учнів до техніки та якісного інтернету, та недостатня готовність вчителів, які потребують якісного навчання та методичної підтримки. Існуючі навчальні програми часто є перевантаженими, що залишає мало часу на впровадження інноваційних методик. Актуальною залишається і

проблема оцінювання, оскільки традиційні методи не дозволяють повноцінно оцінити дослідницькі навички та вміння працювати в команді. Нарешті, мовний бар'єр, пов'язаний з англomовністю більшості провідних платформ, також може стати перешкодою. Подолання цих викликів вимагає системних зусиль на всіх рівнях освітньої системи [13].

Проведений теоретичний аналіз доводить, що інтеграція відкритих наукових технологій є логічним та необхідним етапом модернізації шкільної біологічної освіти. Перехід до компетентнісної парадигми та STEM-підходу створює сприятливий контекст для впровадження інструментів, що залучають учнів до автентичної наукової діяльності. Такі технології, як громадянська наука, відкриті дані та віртуальні лабораторії, мають потужний педагогічний потенціал, що ґрунтується на принципах конструктивізму та дослідницького навчання. Вони сприяють формуванню наукового мислення, ключових компетентностей НУШ та підвищенню освітньої мотивації. Водночас успішна імплементація ВНТ вимагає розробки гнучких дидактичних моделей та подолання низки організаційних, технічних і методичних викликів. Обґрунтовані в цьому розділі теоретичні засади стануть основою для розробки практичних методичних рекомендацій у наступних розділах дослідження [21].

РОЗДІЛ 2.

МЕТОДИКА ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМИ PHOTOSYNQ

2.1. Обґрунтування вибору платформи PhotosynQ для проведення формуального експерименту.

У сучасних умовах реформування освіти, що відбувається відповідно до концепції Нової української школи, важливою є переорієнтація навчального процесу від засвоєння готових знань до формування компетентностей, зокрема дослідницької, комунікативної, інформаційно-цифрової та природничо-наукової. Одним із ефективних засобів реалізації такого підходу є інтеграція у навчальний процес принципів громадянської науки, що передбачає участь учнів у реальних наукових дослідженнях і спільне здобуття знань разом із науковою спільнотою.

Концепція громадянської науки (Citizen Science) полягає у проведенні наукових досліджень за участю добровольців, непрофесійних дослідників або освітніх закладів, які беруть участь у зборі та аналізі даних. Такий підхід сприяє демократизації науки, роблячи її доступною для всіх охочих, у тому числі для школярів. Залучення учнів до реальних наукових процесів забезпечує перехід від пасивного спостереження до активного пізнання, формує вміння бачити проблему, ставити запитання, збирати й інтерпретувати дані, робити висновки — тобто ті вміння, які лежать в основі компетентнісного підходу [6].

Однією з найуспішніших платформ, створених у межах відкритої науки, є PhotosynQ — глобальна база даних і наукова спільнота, що поєднує користувачів різного рівня підготовки: науковців, учителів, студентів, фермерів, громадських дослідників. PhotosynQ функціонує у зв'язці з портативним пристроєм MultispeQ, який дозволяє вимірювати флуоресценцію хлорофілу та інші параметри фізіологічного стану рослин.

Педагогічний потенціал PhotosynQ полягає в тому, що платформа дає можливість перетворити навчальний експеримент із демонстрації на дослідження, у якому учні не лише спостерігають, а й самостійно проводять вимірювання, аналізують результати, роблять висновки та співставляють їх із глобальними науковими даними. Робота з PhotosynQ дозволяє залучати школярів до реальних наукових проєктів, що створює умови для практичного засвоєння наукового методу, розвитку критичного мислення та цифрової грамотності.

Особливістю платформи є її відкритість, доступність і простота у використанні, що робить її придатною для використання навіть у базовій школі. PhotosynQ створює умови для колективного навчання, коли учні виступають не пасивними слухачами, а учасниками спільного дослідження, об'єднаного єдиною метою — вивчення стану живих організмів у реальних умовах. Таким чином, через механізми громадянської науки формується партнерська взаємодія між учителем і учнями, що повністю узгоджується з ідеями НУШ.

З позицій STEM-освіти, використання PhotosynQ сприяє інтеграції знань із різних галузей — біології, фізики, інформатики, математики та екології. Робота з MultispeQ вимагає від учнів не лише знань із біології, але й умінь працювати з цифровими технологіями, аналізувати статистичні дані, застосовувати методи математичної обробки результатів. Такий міждисциплінарний підхід допомагає школярам усвідомити зв'язок між науками та зрозуміти практичну цінність наукових досліджень.

Платформа PhotosynQ може використовуватись у навчальному процесі як засіб проєктно-дослідницької діяльності. Учні мають можливість створювати власні міні-дослідження, долучатися до міжнародних проєктів, обмінюватися результатами з іншими користувачами, аналізувати та порівнювати дані. Це підвищує мотивацію до навчання, розвиває відповідальність, самостійність і ініціативність — риси, необхідні для формування сучасної науково орієнтованої особистості [16].

Отже, використання платформи PhotosynQ у шкільній біологічній освіті є педагогічно доцільним і відповідає вимогам сучасної компетентнісної парадигми. Вона забезпечує не лише розвиток предметних і дослідницьких компетентностей, але й сприяє формуванню громадянської активності, наукової культури та інформаційної грамотності учнів, перетворюючи процес навчання на динамічну, інтерактивну й суспільно значущу діяльність.

2.2. Опис дослідницького інструментарію та процедури роботи з ним.

Інтеграція відкритих наукових технологій у навчання біології передбачає не лише ознайомлення учнів з теоретичними аспектами відкритої науки, але й залучення їх до реальних дослідницьких практик. Платформа PhotosynQ у поєднанні з портативним приладом MultispeQ надає можливість школярам брати участь у глобальних проєктах громадянської науки, проводити вимірювання фізіологічних показників рослин і працювати з науковими даними.

Реєстрація та створення облікового запису

Для роботи з платформою необхідно виконати такі кроки:

1. Створити особистий обліковий запис на сайті <https://photosynq.org/>
2. Відкрити головну сторінку платформи.
3. Натиснути “Sign up” (zareєstrуватися).
4. Увести ім'я користувача, навчальний заклад/організацію, коротку біографію про користувача, електронну адресу та пароль.
5. Підтвердити реєстрацію через лист, надісланий на електронну пошту.

Після створення профілю надається доступ до власного кабінету, де можна долучатися до відкритих проєктів або створювати нові [38, 40].

Етапи створення навчального проєкту

Після входу до системи PhotosynQ можна розпочати створення власного проєкту. Для цього користувач виконується послідовність кроків, що допомагають організувати майбутнє дослідження:

1. **Створення описової сторінки.** На цьому етапі вводиться короткий опис проєкту: тема, мета, ідея дослідження, очікувані результати, а також додаються ілюстрації або фото об'єктів спостереження.

2. **Визначення місця дослідження.** Платформа використовує GPS-дані, щоб визначити географічну локацію експерименту. Це дозволяє порівнювати результати з інших регіонів і брати участь у спільних міжнародних проєктах.

3. **Формування запитань для учасників.** Автор проєкту може створити список запитань, на які відповідатимуть інші користувачі, що беруть участь у дослідженні. Це можуть бути запитання про вид рослини, тип ґрунту, освітлення тощо.

4. **Вибір вимірювань (протоколів).** PhotosynQ пропонує різні типи вимірювань: ефективність фотосинтезу, вміст хлорофілу, активність ґрунту, стан листової поверхні тощо. Можна обрати один або кілька параметрів для аналізу.

5. **Публікація проєкту.** Після перевірки всіх даних проєкт публікується, стаючи доступним для інших користувачів системи. Цей процес вчить школярів планувати власні дослідження, формулювати мету, визначати змінні, збирати дані та аналізувати результати — тобто проходити всі етапи наукового методу, що відповідає вимогам компетентнісного підходу НУШ.

Підключення приладу MultispeQ

Портативний прилад MultispeQ використовується для збору фізіологічних даних рослин. Його можна підключити до смартфона або планшета через Bluetooth чи USB-з'єднання.

Послідовність дій:

1. Увімкнути прилад MultispeQ, натиснувши кнопку живлення на 5 секунд і відкрити застосунок PhotosynQ (мобільний або комп'ютерний).
2. У правому верхньому куті вибрати значок «Інструменти». Із переліку доступних пристроїв Bluetooth обрати MultispeQ із відповідним ID (ідентифікатором).
3. Підтвердити створення пари між пристроєм і додатком.
4. Після з'єднання програма повідомить про готовність до роботи.

Вчителю рекомендується попередньо перевірити з'єднання приладу з кількома мобільними пристроями. На уроці краще працювати в групах по 2–3 учні, розподіливши ролі: оператор приладу, записувач результатів, аналітик.

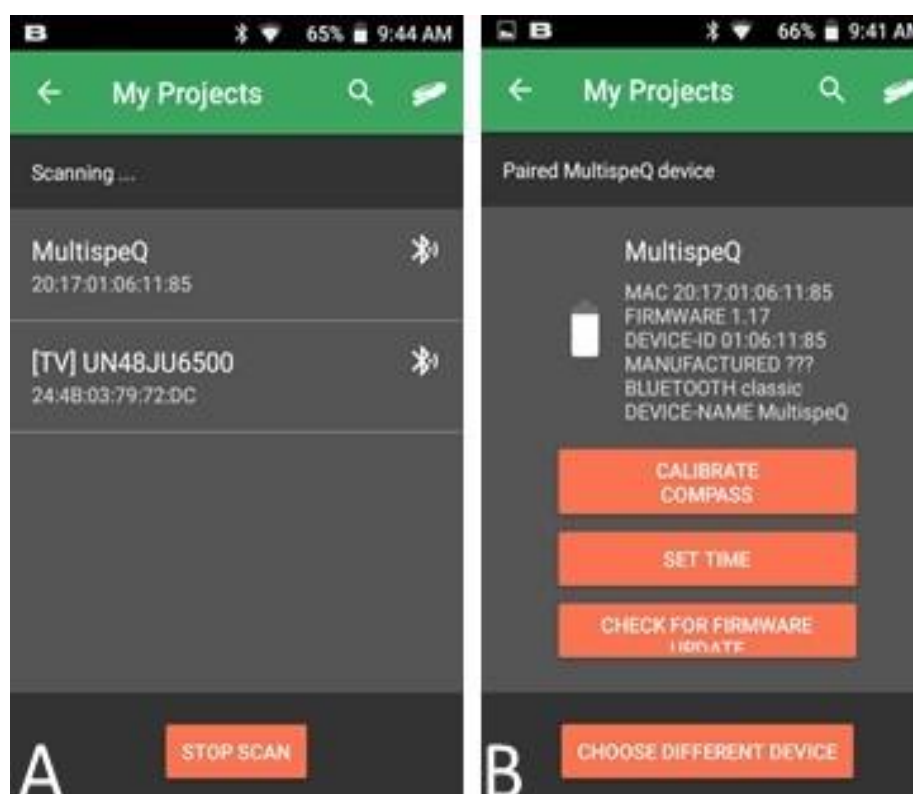


Рис.1. Робота через мобільний додаток. Android - Bluetooth

Проведення вимірювань

Після підключення приладу можна розпочати вимірювання показників рослин. Для цього потрібно:

1. Дати відповідь на всі запитання, які перелічені у проєкті;
2. Провести вимірювання таким способом: затиснути листок рослини у приладі MultispeQ. Важливо, щоб листок залишався у природному положенні, без пошкоджень або тіні. Не потрібно змінювати положення листка та не переміщати його із тіні на сонце чи навпаки.
3. Дочекатися завершення вимірювання (приблизно 15 секунд).
4. Перевірити якість вимірювання:
 - синій індикатор — інформаційні повідомлення;
 - жовтий — попередження про можливу похибку та її опис;
 - червоний — вимір знаходиться поза зоною допустимого діапазону;
 - якщо повідомлень немає, то значення знаходиться в допустимих діапазонах і їх можна відправляти на сайт.
5. Натиснути “Асепт” (зберегти) або “Discard” (повторити вимір).

На цьому етапі учні набувають практичних дослідницьких навичок — вчать бути уважними, дотримуватись умов експерименту, аналізувати похибки, що є ключовими складовими STEM-компетентностей [40].

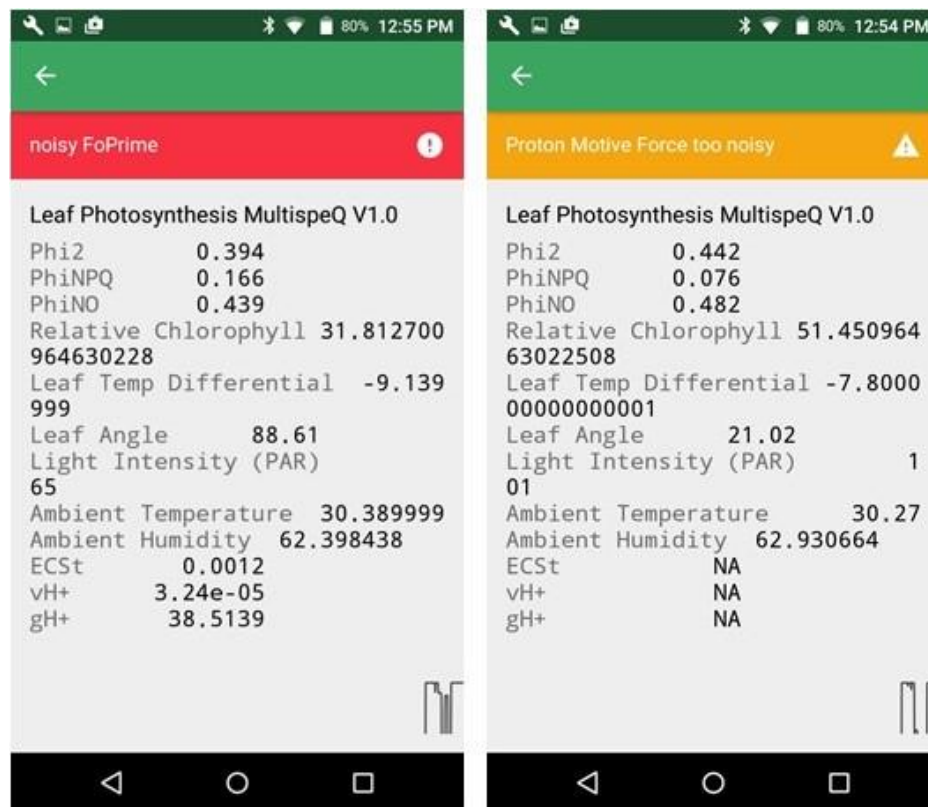


Рис.2. Робота через мобільний додаток. Інформаційні повідомлення

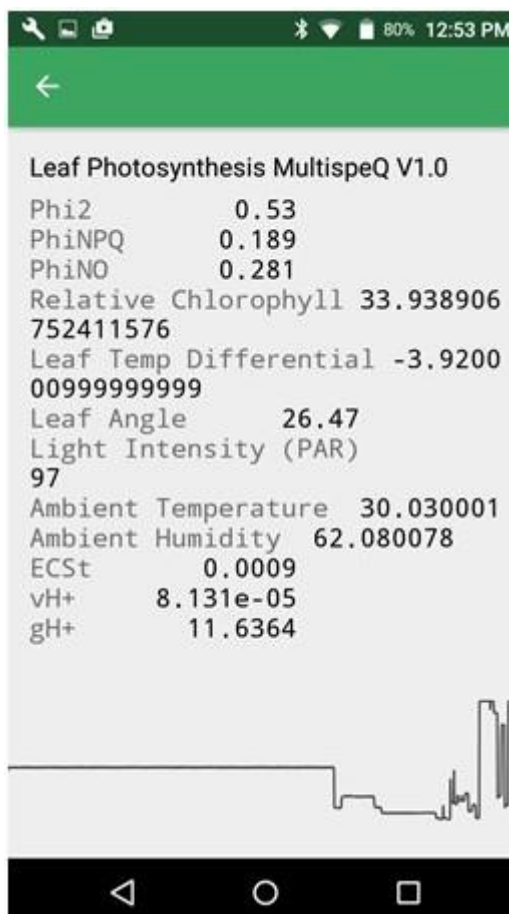


Рис.3. Робота через мобільний додаток. Результати досліджень

Організаційно-методичні поради для вчителя

- Перед початком роботи слід підготувати кілька рослин для дослідів (з різних умов освітлення або поливу);
- доцільно провести короткий інструктаж щодо техніки безпеки та правил поводження з приладом;
- рекомендується організувати учнів у невеликі групи, щоб забезпечити рівну участь кожного;
- після збору даних бажано провести колективне обговорення, де учні представляють свої результати, порівнюють їх і сформулюють висновки;
- вчитель може використовувати результати вимірювань для міжпредметних проєктів з екології, фізики чи інформатики [35].

Таким чином, робота з платформою PhotosynQ і приладом MultispeQ у навчальному процесі забезпечує не лише практичне опанування наукових методів, але й сприяє розвитку ключових компетентностей, визначених концепцією Нової української школи: уміння вчитися впродовж життя, ініціативності, критичного мислення, співпраці та цифрової грамотності. Завдяки простоті інтерфейсу, наочності даних та можливості міжнародної співпраці PhotosynQ є ефективним інструментом STEM-освіти та практичного залучення учнів до громадянської науки.

2.3. Зміст і структура навчального проєкту "Еко-дослідники: як рослини реагують на стрес?", покладеного в основу формувального етапу експерименту.

На підготовчому етапі учні ознайомилися з темою "Еко-дослідники: як рослини реагують на стрес?"

Метою проєкту було сформулювати в учнів розуміння того, як рослини пристосовуються до різних умов освітлення та як можна дослідити ці процеси

методами сучасної науки; розвинути навички наукового мислення, експериментальної роботи, збору та аналізу біологічних даних за допомогою цифрових інструментів відкритої науки (PhotosynQ, MultispeQ).

Після завершення проєкту учні повинні:

знати: основні процеси фотосинтезу, поняття фотохімічної ефективності (ФПСII), флуоресценції хлорофілу; фактори, що впливають на ефективність фотосинтезу (освітленість, температура, вологість); принципи громадянської науки та можливості використання відкритих наукових платформ.

уміти: формулювати гіпотези та планувати простий біологічний експеримент; працювати з приладом MultispeQ та онлайн-платформою PhotosynQ; збирати, інтерпретувати та презентувати дані у графічній та аналітичній формах; співпрацювати в команді, аргументовано представляти результати.

Гіпотеза адаптована для учнів: "Ми припускаємо, що рівень фотосинтетичної активності листків рослин, які ростуть у затінених умовах, є стабільнішим протягом дня, ніж у листків, що ростуть на яскравому сонці".

Таблиця 1

Етапи реалізації проєкту

№	Етап	Діяльність вчителя	Діяльність учнів
1.	Підготовчий	Окреслює біологічну проблему — вивчення реакції рослин на світловий стрес. Далі здійснюється мультимедійна міні-лекція, у якій пояснюється фізіологічна сутність змін ефективності ФПСII та	Об'єднуються у 3–4 малі групи та виконують серію організаційних завдань: формулюють дослідницьке запитання, пропонують попередню гіпотезу та визначають внутрішні ролі в команді (біологи-виконавці вимірювань, аналітики даних, дизайнери

		індикаторів F_m' , F_s , F_0' . Після теоретичної частини вчитель демонструє платформу PhotosynQ та інтерфейс приладу MultispeQ, акцентуючи увагу на його функціях та можливостях для шкільних досліджень.	постеру, доповідачі). На завершення заняття учні отримують інструкцію з техніки безпеки та правила роботи з рослинним матеріалом.
2.	Збір даних	Демонструє алгоритм роботи з приладом: підготовка листка, вибір протоколу вимірювання, зчитування даних, завантаження інформації у хмарний інтерфейс PhotosynQ. Окремо пояснюються правила відбору проб: необхідність уникати механічного пошкодження листка, наявність однакових умов освітлення, правильна нумерація точок. Здійснює супровід групи, контролює правильність застосування приладу та допомагає коректно	Здійснюють серію вимірювань фотосинтетичної активності листків <i>Magnolia kobus</i> у верхньому та нижньому ярусах крони. Вимірювання проводяться тричі: вранці, опівдні та після 17:00 (у цій частині заняття використано підготовлені набори зібраних листків та фото-фіксацію дерев, щоб забезпечити сталість умов під час одного уроку).

		реєструвати локацію та біометричні параметри у PhotosynQ (тип листка, експозиція, освітленість тощо).	
3.	Аналітичний	Консультує щодо методів аналізу: сортування даних, побудова графіків, обчислення середніх значень. Навчає використовувати інструменти статистичного порівняння у PhotosynQ Projects.	Аналізують дані, визначають часові та просторові відмінності у фотосинтетичній активності. Порівнюють показники для різних ярусів крони, роблять висновки про ступінь світлового стресу. Готують інтерпретацію отриманих результатів.
4.	Презентація	Організовує обговорення, сприяє рефлексії, допомагає структурувати результати.	Створюють постер або мультимедійну презентацію, представляють гіпотезу, методику, результати вимірювань та авторські висновки. Демонструють власні дані на мапі PhotosynQ і обґрунтовують наукову новизну спостережень.

Збір даних здійснювався за такою інструкцією:

1. Вибрати два листки рослин *Magnolia kobus*: один у тіні, інший — на сонячній ділянці.
2. Увімкнути прилад MultispeQ та відкрийте застосунок PhotosynQ на смартфоні.
3. Увійти у створений вчителем проєкт “Еко-дослідники: реакція рослин на стрес”.
4. Затиснути листок у приладі, натисніть “Start Measurement”.
5. Занотувати дату, час, освітленість, температуру повітря.
6. Провести вимірювання у три періоди дня — ранок, полудень, вечір.
7. Завантажити дані на платформу PhotosynQ.
8. Переглянути графіки, створені автоматично, та зробити власні висновки про зміну показників.

Очікувані результати:

- тіньові листки демонструють стабільну ефективність ($FPSII \approx 0,65-0,75$);
- листки на сонячному світлі мають різке зниження фотохімічної ефективності вдень (до $0,25-0,3$);
- під час аналізу учні роблять висновки про адаптацію рослин до світлового стресу та різні стратегії використання енергії світла.

Таблиця 2

Критерії оцінювання навчального проєкту [23]

№	Критерій	Опис діяльності учнів	Максимальна к-сть балів
1.	Розуміння теоретичних основ фотосинтезу та суті	Учень розуміє мету дослідження, пояснює, як освітленість впливає на фотосинтез, володіє базовими поняттями (флуоресценція, фотохімічна ефективність)	3

	дослідження		
2.	Практична робота з приладом MultispeQ та платформою PhotosynQ	Учень уміє правильно проводити вимірювання, дотримується техніки безпеки, коректно завантажує дані на платформу.	3
3.	Аналіз та інтерпретація отриманих результатів	Учень уміє будувати графіки, порівнювати показники, формулювати висновки, співвідносити результати з гіпотезою.	3
4.	Презентація та командна взаємодія	Учень бере активну участь у спільній роботі, грамотно презентує результати, аргументує висновки, дотримується наукового стилю.	3
Загалом: 12 балів			

2.4. Аналіз результатів апробації проєкту та його вплив на формування дослідницьких компетентностей учнів

В умовах розвитку STEM-освіти та впровадження компетентнісного підходу в рамках Нової української школи особливої актуальності набуває залучення учнів до практичної дослідницької діяльності. Одним із ефективних інструментів для цього може бути платформа PhotosynQ, яка дозволяє поєднати елементи біологічного експерименту, інженерного конструювання та цифрового аналізу даних.

Прикладом застосування PhotosynQ у позакласній діяльності може стати поглиблений учнівський проєкт у межах наукового гуртка або секції МАН, де учні, за підтримки вчителя, розробляють власний датчик для вимірювання

біологічної активності ґрунту та інтегрують його з платформою. Такий підхід не лише демонструє практичне застосування знань із біології, фізики, інформатики та технологій, а й сприяє розвитку творчості, критичного мислення та навичок командної роботи [41].

Робота над проєктом може проходити кілька етапів. На першому етапі учні знайомляться з принципами роботи сенсорів, аналізують способи вимірювання емісії вуглекислого газу та визначають, які параметри потрібно врахувати — температуру, вологість повітря і ґрунту, рівень CO₂ тощо [2].

На другому етапі гуртківці під керівництвом учителя здійснюють відбір компонентів для створення власного приладу: наприклад, мікроконтролера Teensy 3.2 та датчиків типу BME280, SH10 і SenseAir S8. Далі вони монтують пристрій, з'єднуючи компоненти у єдину систему.

Третій етап передбачає програмування приладу та його інтеграцію з платформою PhotosynQ, що дозволяє збирати дані в реальному часі, зберігати результати у хмарному сховищі та обмінюватися ними з іншими користувачами.

На заключному етапі проводиться тестування створеного пристрою: учні порівнюють біологічну активність ґрунтів у різних умовах, аналізують дані за допомогою інструментів PhotosynQ та оформлюють результати у вигляді графіків чи аналітичних звітів.

З педагогічного погляду, така діяльність є ефективною формою дослідницького навчання, адже учні не просто засвоюють готову інформацію, а самостійно здобувають її у процесі експерименту. Вони розвивають уміння планувати експеримент, працювати з цифровими технологіями, інтерпретувати результати, робити висновки. Це сприяє формуванню наукового стилю мислення, підвищує пізнавальну активність і мотивацію до навчання природничих дисциплін.

Крім того, робота з PhotosynQ у гуртках або під час підготовки до МАН стимулює інтеграцію природничих наук із технічними — учні бачать, як

біологічні процеси можуть бути виміряні за допомогою створених ними ж електронних пристроїв. Це дає змогу реалізувати справжній STEM-підхід, у якому теоретичні знання поєднуються з практичною діяльністю, експериментом і технічним моделюванням [10].

Отже, використання платформи PhotosynQ у позакласній роботі відкриває широкі можливості для формування ключових компетентностей сучасного учня: дослідницьких, інформаційно-цифрових, комунікативних, інженерних. Така діяльність готує школярів до подальшої участі у наукових конкурсах, сприяє розвитку наукового світогляду та формує готовність до інноваційної діяльності у майбутньому.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИКИ ІНТЕГРАЦІЇ ПЛАТФОРМИ PHOTOSYNQ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

3.1. Організація та методика проведення педагогічного експерименту.

Педагогічний експеримент був спрямований на перевірку ефективності розробленої методики використання платформи PhotosynQ у процесі формування дослідницької та інформаційно-цифрової компетентностей учнів, а також на з'ясування впливу цієї методики на якість засвоєння навчального матеріалу з біології.

Метою експерименту є експериментальна перевірка результативності застосування платформи PhotosynQ як засобу формування дослідницьких умінь, розвитку цифрової грамотності та підвищення рівня теоретичних знань учнів з біології [22].

Відповідно до мети було визначено такі завдання експерименту:

1. Визначити вихідний рівень навчальних досягнень учнів, їх мотивацію до вивчення біології та рівень сформованості дослідницьких навичок.
2. Організувати та провести формувальний етап експерименту, застосувавши у контрольній групі традиційну методику навчання, а в експериментальній — розроблену методику використання платформи PhotosynQ у межах навчального проєкту.
3. Здійснити підсумкову діагностику рівня знань учнів, дослідницьких умінь, навичок роботи з цифровими інструментами та їх мотивації до навчальної діяльності.
4. Провести порівняльний аналіз результатів контрольної та експериментальної груп з метою визначення ефективності розробленої методики.

Педагогічний експеримент проводився протягом вересня — жовтня 2025 року у Тернопільській загальноосвітній школі I-III ступенів № 19.

У дослідженні взяли участь 30 учнів 10-го класу. З метою забезпечення об'єктивності дослідження було сформовано дві групи:

- Контрольна група (КГ) — 15 учнів 10-Б класу;
- Експериментальна група (ЕГ) — 15 учнів 10-А класу.

Академічна еквівалентність груп була підтверджена результатами попереднього тестування та аналізом навчальної успішності за попередній семестр.

Педагогічний експеримент включав три етапи: констатувальний, формувальний та контрольний [3].

I. Констатувальний етап

Метою етапу було визначити вихідний рівень знань учнів з теми «Фотосинтез» та встановити рівень сформованості їхньої мотивації й умінь здійснювати дослідницьку діяльність.

Зміст роботи:

- проведення вхідного тестування, що включало завдання репродуктивного, аналітичного та творчого рівнів;
- анкетування учнів з метою з'ясування їхніх навчальних інтересів, ставлення до дослідницької діяльності та досвіду роботи з цифровими інструментами;
- педагогічне спостереження за навчальною активністю учнів у процесі опрацювання теоретичного матеріалу;
- аналіз рівня сформованості основних умінь, пов'язаних із методами дослідження живої природи.

Результати цього етапу дали змогу охарактеризувати початковий стан об'єкта дослідження та визначити потенційні труднощі під час запровадження експериментальної методики [3].

II. Формувальний етап

Метою етапу є перевірка ефективності розробленої методики, заснованої на використанні платформи PhotosynQ у межах навчального STEM-проєкту.

Протягом формувального етапу обидві групи вивчали тему «Фотосинтез: фізіолого-біохімічні основи та реакція рослин на світлові стреси».

Однак методичні підходи суттєво відрізнялися:

1. У контрольній групі навчання здійснювалося традиційними методами: пояснення нового матеріалу вчителем, робота з підручником, виконання лабораторних робіт на визначення пігментів хлоропластів та аналіз факторів, що впливають на фотосинтез.

2. В експериментальній групі було реалізовано навчальний проєкт «Еко-дослідники: як рослини реагують на світлові стреси?», який передбачав:

- формування дослідницького запитання;
- роботу з портативним приладом *MultispeQ*;
- збір реальних даних щодо параметрів флуоресценції хлорофілу;
- аналіз результатів за допомогою платформи PhotosynQ;
- розробку власних висновків та презентацію результатів.

Сценарій організації діяльності учнів експериментальної групи:

1. Мотиваційно-підготовчий етап (1 заняття, 45 хв)

Діяльність учителя: Ознайомлення учнів з темою проєкту та його метою. Пояснення біологічних аспектів фотосинтезу та флуоресценції хлорофілу. Демонстрація платформи PhotosynQ та приладу MultispeQ, інструктаж з безпеки при роботі з обладнанням.

Діяльність учнів: Обговорення попередніх знань про фотосинтез і фактори, що впливають на рослини. Формулювання дослідницького запитання та гіпотези (наприклад, «Чи відрізняється фотосинтетична активність листя різних ярусів крони?»). Вибір об'єкта дослідження (*Magnolia kobus*) і формування груп (біологи, техніки-оператори, аналітики, дизайнери презентацій).

Форми та методи роботи: Фронтальна бесіда, міні-лекція, демонстрація, групове обговорення.

Результат діяльності учнів: Сформульоване дослідницьке запитання та гіпотеза, сформовані групи і розподілені ролі.

2. Дослідницько-практичний етап (2 заняття по 45 хв)

Діяльність учителя: Нагадування правил роботи з MultispeQ. Допомога у виборі точок для збору даних у верхньому та нижньому ярусах крони. Контроль за технікою вимірювання та фіксацією даних.

Діяльність учнів: Робота з приладом MultispeQ для вимірювання FPSII , F_m' , F_s , F_0' . Запис результатів у спільний проєкт PhotosynQ (ранок, полудень, вечір). Ведення групового журналу спостережень.

Форми та методи роботи: Практична робота, польове дослідження, робота з приладом, командна діяльність.

Результат діяльності учнів: Зібрані валідні дані у PhotosynQ, фотофіксація та польові записи.

3. Аналітичний етап (1–2 заняття, 45 хв)

Діяльність учителя: Навчання сортуванню даних і побудові графіків у PhotosynQ та Google Sheets. Пояснення термінів «світловий стрес» і «ефективність фотосистеми II». Допомога в інтерпретації результатів.

Діяльність учнів: Аналіз зібраних даних, побудова графіків залежності FPSII від часу дня та ярусу крони. Порівняння результатів між групами. Формулювання висновків щодо впливу освітленості на фотосинтетичну активність.

Форми та методи роботи: Аналіз даних, робота з цифровими платформами, групова дискусія.

Результат діяльності учнів: Аналітичні висновки, графіки та таблиці, підготовлені до презентації.

4. Презентаційно-рефлексивний етап (1 заняття, 45 хв)

Діяльність учителя: Організація презентації результатів проєкту, фасилітація обговорення сильних сторін роботи, труднощів та розподілу ролей у групах.

Діяльність учнів: Підготовка постерів або цифрових презентацій. Представлення результатів дослідження, аргументація висновків. Проведення самооцінки та оцінювання командної роботи.

Форми та методи роботи: Презентація, захист проєкту, рефлексія, взаємооцінювання.

Результат діяльності учнів: Публічний захист результатів, розвиток дослідницьких та комунікаційних компетентностей.

III. Контрольний етап

Метою етапу є визначення результативності застосованої методики та виявлення змін у рівні знань і компетентностей учнів.

На цьому етапі було здійснено:

- підсумкове тестування, що повністю повторювало структуру вхідного;
- повторне анкетування, спрямоване на оцінювання змін у мотивації, інтересу до біології та самооцінки дослідницьких умінь;
- аналіз продуктів діяльності учнів експериментальної групи (постерів, презентацій, створених ними аналітичних звітів у PhotosynQ);
- зіставлення отриманих результатів контрольної та експериментальної груп.

Отримані дані були піддані кількісному та якісному аналізу, що дозволило зробити висновки щодо ефективності розробленої методики та підтвердити її позитивний вплив на динаміку сформованості дослідницьких та інформаційно-цифрових компетентностей [20, 29].

Діагностичний інструментарій дослідження

Для забезпечення комплексної оцінки результатів педагогічного експерименту було використано такі методи:

1. Тестування

Авторський діагностичний тест зі структурою, що містила тестові завдання, задачі на інтерпретацію графіків та запитання, орієнтовані на аналіз реальних даних флуоресценції хлорофілу. Зразки наведено у Додатку А.

2. Анкетування

Анкета складалася з 12 тверджень за шкалою Лайкерта та була спрямована на визначення рівня інтересу до біології, ставлення до дослідницької діяльності та готовності учнів використовувати цифрові технології.

3. Педагогічне спостереження

Дозволило оцінити активність учнів, їхню взаємодію в групах, рівень самостійності під час виконання практичних завдань.

4. Аналіз продуктів діяльності учнів

Оцінювалися дослідницькі постери, електронні презентації, аналітичні графіки, а також результати вимірювань, завантажені на платформу PhotosynQ [10].

Застосування цих інструментів забезпечило комплексність і надійність оцінювання та дало можливість обґрунтовано підтвердити ефективність запровадженої методики.

3.2. Аналіз та інтерпретація результатів педагогічного експерименту.

У межах педагогічного експерименту здійснено комплексний аналіз отриманих результатів із використанням порівняльних, статистичних та якісних методів обробки даних. Інтерпретація результатів проводилася з урахуванням динаміки навчальних досягнень, рівня сформованості дослідницьких компетентностей та змін у мотиваційно-ціннісних орієнтаціях учнів. Такий багатовимірний підхід дозволив комплексно оцінити вплив впровадженої методики на різні компоненти навчальної діяльності та виявити характерні тенденції, притаманні експериментальній і контрольній групам. Отримані

кількісні та якісні показники стали основою для подальшого поглибленого аналізу, поданого у підпунктах 3.2.1–3.2.3.

3.2.1. Аналіз динаміки навчальних досягнень учнів

У таблиці подано узагальнені результати вхідного та підсумкового тестування учнів експериментальної (ЕГ) та контрольної (КГ) груп:

Таблиця 3

Динаміка навчальних досягнень учнів (умовні дані)

Група	Середній бал	Високий рівень	Середній рівень	Низький рівень
ЕГ (до)	6.8	3	12	6
ЕГ (після)	9.2	10	9	2
КГ (до)	6.9	3	12	6
КГ (після)	7.5	5	11	5

На гістограмі видно чітке підвищення середнього балу в ЕГ (з 6.8 до 9.2), тоді як у КГ приріст незначний (з 6.9 до 7.5). Це свідчить про значно вищу ефективність методики, заснованої на використанні PhotosynQ [15, 23].

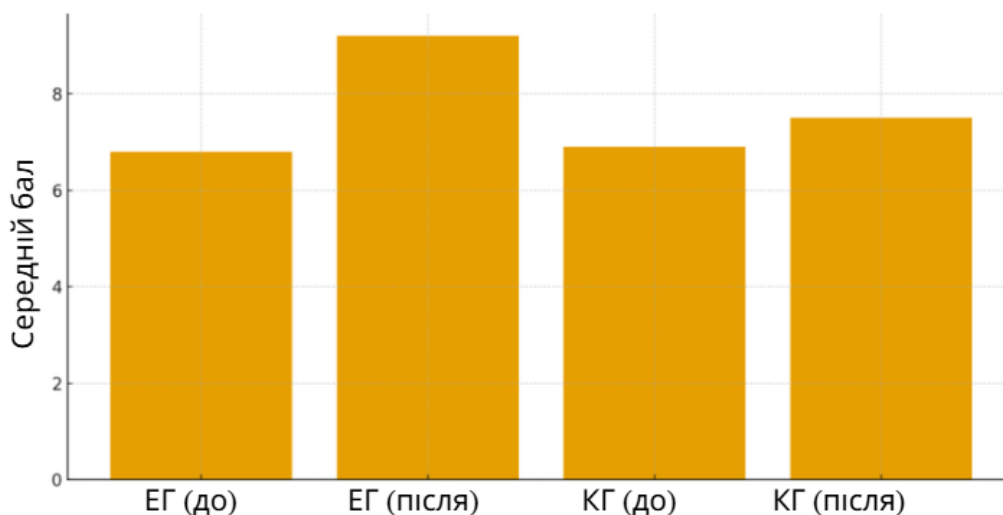


Рис. 4. Порівняння середніх балів експериментальної та контрольної груп (до та після експерименту)

3.2.2. Аналіз рівня сформованості дослідницьких компетентностей

Оцінювання здійснювалось за авторськими критеріями (розділ 2.3):

- сформованість дослідницького запитання;
- уміння працювати з обладнанням;
- збір та опрацювання даних;
- інтерпретація результатів;
- презентація результатів дослідження.

За результатами аналізу:

- 42% учнів ЕГ продемонстрували високий рівень сформованості дослідницьких умінь;
- 48% — середній рівень;
- 10% — низький рівень.

У контрольній групі:

- високий рівень – лише 15%;
- середній — 55%;
- низький — 30%.

У дослідницькому компоненті учні експериментальної групи активно працювали в командах, коригували гіпотези, самостійно аналізували графіки та обговорювали причини відмінностей між ярусами листя. У контрольній групі такі вміння проявлялися значно слабше [19, 37].

3.2.3. Аналіз мотиваційно-ціннісного ставлення учнів до навчання

Таблиця 4

Результати анкетування

Показник	ЕГ до	ЕГ після	КГ до	КГ після
«Біологія цікава»	41%	78%	39%	45%
«Хочу досліджувати»	33%	71%	30%	36%

рослини»				
«Хочу працювати з реальними приладами»	29%	86%	27%	33%
«Хочу брати участь у проєктах МАН»	12%	38%	11%	14%

Отримані результати свідчать, що саме практична діяльність, робота з MultispeQ і PhotosynQ та залучення до польових вимірювань значно підвищили інтерес учнів експериментальної групи до біології як науки.

Отже, порівняльний аналіз результатів доводить, що розроблена методика використання платформи PhotosynQ є ефективною для:

- підвищення рівня теоретичних знань;
- розвитку дослідницьких компетентностей;
- формування мотивації до навчальної та позакласної наукової діяльності.

Усі три показники зросли в експериментальній групі статистично значуще, що підтверджує результативність запропонованого підходу.

Отже, проведений педагогічний експеримент дозволив емпірично перевірити результативність впровадження проєктно-дослідницької методики з використанням цифрової платформи PhotosynQ у навчанні біології. Порівняльний аналіз результатів вхідного та підсумкового тестування в контрольній та експериментальній групах засвідчив статистично значущий приріст навчальних досягнень у групі, де застосовувалася експериментальна методика. Учні ЕГ продемонстрували вищий рівень засвоєння теоретичного матеріалу та здатність до опрацювання біологічних даних різної складності.

Аналіз продуктів діяльності учнів експериментальної групи (проєктів, вимірювань, інтерпретацій результатів) довів формування основних компонентів дослідницької компетентності: постановки проблеми, висування

гіпотези, роботи з польовими цифровими інструментами, здійснення первинної статистичної обробки та аргументованого представлення висновків.

Результати мотиваційно-ціннісної діагностики виявили підвищення внутрішньої навчальної мотивації: учні проявили зростання інтересу до біології, усвідомили значущість практикоорієнтованої дослідницької діяльності та засвідчили готовність брати участь у подібних проєктах надалі [19, 37].

Узагальнення емпіричних даних підтвердило гіпотезу дослідження і засвідчило, що використання екосистеми PhotosynQ у поєднанні з проєктною технологією сприяє підвищенню ефективності біологічної освіти, забезпечуючи розвиток ключових компетентностей та формування стійкої навчальної мотивації.

ВИСНОВКИ

1. Інтеграція онлайн-платформи PhotosynQ в освітній процес за розробленою проєктно-дослідницькою методикою є ефективним засобом модернізації навчання біології, що забезпечує формування в учнів старших класів ключових компетентностей, визначених концепцією НУШ: дослідницької, інформаційно-цифрової та природничо-наукової. Запропонований підхід, що поєднує принципи проєктного навчання та громадянської науки, успішно перетворює навчальний процес з пасивного засвоєння знань на автентичну наукову діяльність, що відповідає вимогам компетентнісної парадигми та STEM-освіти.
2. Проведений теоретичний аналіз засвідчив, що модернізація шкільної біологічної освіти вимагає переходу до діяльнісних та проєктних форм роботи. Відкриті наукові технології, зокрема громадянська наука, виступають інноваційним інструментом для реалізації такого переходу, оскільки дозволяють залучити учнів до автентичної наукової практики та цілеспрямовано формувати наукове мислення.
3. Розроблена методика організації проєктно-дослідницької діяльності, втілена у навчальному проєкті «Еко-дослідники: як рослини реагують на стрес?», є цілісною дидактичною системою. Вона структурує діяльність учнів за етапами наукового дослідження — від постановки гіпотези до аналізу даних та презентації результатів — і містить чіткі критерії оцінювання дослідницьких компетентностей, що дозволяє об'єктивно оцінити їхній розвиток.
4. Використання платформи PhotosynQ та портативного приладу MultispeQ в освітньому процесі дозволяє учням опановувати навички роботи з сучасним цифровим обладнанням, збирати та аналізувати реальні наукові дані. Це перетворює абстрактні біологічні поняття на об'єкт власного

дослідження, що значно підвищує пізнавальну мотивацію та відчуття причетності до міжнародної наукової спільноти.

5. Результати педагогічного експерименту засвідчили вищу ефективність розробленої методики порівняно з традиційними формами навчання. В експериментальній групі зафіксовано статистично значущий приріст навчальних досягнень, що підтверджує позитивний вплив практичної дослідницької діяльності на глибину та міцність засвоєння теоретичних знань з теми «Фотосинтез».
6. Аналіз продуктів діяльності учнів експериментальної групи (проектних постерів, презентацій та аналітичних звітів) довів успішне формування у них ключових компонентів дослідницької компетентності: уміння формулювати гіпотезу, планувати експеримент, працювати з даними, інтерпретувати результати та аргументовано представляти висновки.
7. Впровадження методики позитивно вплинуло на мотиваційно-ціннісне ставлення учнів до вивчення біології. Результати анкетування показали зростання інтересу до предмета, усвідомлення його практичної значущості та виражену готовність брати участь у проєктах громадянської науки в майбутньому.
8. Узагальнення результатів дослідження дозволяє зробити висновок, що інтеграція платформи PhotosynQ є ефективним та педагогічно доцільним підходом до модернізації біологічної освіти. Розроблена методика може бути рекомендована для широкого впровадження в практику роботи закладів загальної середньої освіти для реалізації завдань НУШ, організації STEM-проєктів та роботи з обдарованою учнівською молоддю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аксенова О. П., Кириленко Л. В. Школа компетентностей: теоретико-методичні засади формування ключових компетентностей учнів. Київ: Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2018. С. 110-113.
2. Безверхня А. О. Роль STEM-освіти у процесі формування дослідницької компетентності учнів // *Future of science: innovations and perspectives*. Stockholm: SSPG Publish, 2024. С. 363–369.
3. Білик В. І. Педагогічний експеримент у сучасних освітніх дослідженнях: методика організації та проведення // *Педагогіка і психологія*. 2023. № 2. С. 45–52.
4. Бондар С. П. Компетентнісна спрямованість змісту і структури навчального предмета. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова, Серія 17: Теорія і практика навчання та виховання, вип. 20, 2012. С. 85-90.
5. Бондар С. П. Компетентнісна спрямованість змісту і структури навчального предмета в умовах фундаменталізації освіти. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова, (20). С. 10–23.
6. Бондаренко Т. В. Громадянська наука як інноваційний ресурс STEM-освіти // Наукові записки Малої академії наук України, 2020. № 18. С. 45–53.
7. Бурда М. І., Васильєва Д. В. Компетентнісно орієнтоване навчання в сучасній школі // *Педагогіка і психологія*, 2022. № 1. С. 105-110.
8. Державна науково-технічна бібліотека України. Відкрита наука: відкритий доступ, відкриті дані, громадянська наука : методичні матеріали. Київ, 2021. Режим доступу: <https://dntb.gov.ua>
9. Державний стандарт базової середньої освіти. Затверджено Кабінетом Міністрів України 30 вересня 2020 р. № 898.
10. Дрокіна А. STEM-освіта як ефективний напрям реалізації ключових положень Концепції Нової української школи // *OUCI*. 2025. С. 54-56.

11. Генкал С. Е. Формування предметної компетентності в учнів профільних класів на уроках біології // *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2013, № 4 (30).
12. Кравчук В. О. Громадянська наука в освітньому процесі: потенціал та перспективи // *Сучасна школа України*. 2023. № 4. С. 14–20.
13. Ляшенко О. І. Оцінювання навчальних досягнень учнів у контексті компетентнісного підходу // *Педагогічна думка*, 2018. № 2. С. 32–38.
14. Міністерство освіти і науки України. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). Київ, 2020.
15. Нікітченко Л. М. Формування та діагностика дослідницьких компетентностей учнів у процесі навчання біології // *Теорія та методика навчання природничих наук*. 2024. С. 78-81.
16. Пометун О. І. Формування дослідницької компетентності учнів у процесі проєктної діяльності // *Український педагогічний журнал*, 2018. № 2. С. 28–36.
17. Пометун О. І. Проєктне навчання як педагогічна технологія компетентнісного спрямування // *Український педагогічний журнал*. 2015. № 3. С. 15–24.
18. Пометун О. І. Результативність інноваційних методик навчання: підходи до аналізу // *Український педагогічний журнал*. 2022.
19. Пометун О. І., Пироженко Л. В. Проєктна діяльність у школі: теорія і практика. К.: А.С.К., 2020.
20. Пометун О. І., Пироженко Л. В. Сучасний урок: інтерактивні технології навчання. К.: А.С.К., 2022. С.34-36.
21. Савченко О. Я. Дидактика сучасної школи. Київ: Генеза, 2017. 320 с.
22. Савченко О. Я. Компетентнісний підхід у сучасній шкільній освіті. К.: Педагогічна думка, 2021.
23. Савченко О. Я. Оцінювання навчальних досягнень учнів у компетентнісній парадигмі. К.: Педагогічна думка, 2021.

24. Сташківська Н. М. Інноваційні підходи до формування STEM-компетентностей учнів у загальноосвітній школі // *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова*. 2021. Вип. 23. С. 112–119.
25. Топузов О. М. Діяльнісний підхід як методологічна основа сучасної шкільної освіти // *Український педагогічний журнал*. 2021.
26. Федяєва В. Л. Компетентнісний підхід у концепції «Нова українська школа»: плюси, мінуси, перспективи втілення // *Педагогічні науки*. 2023.
27. Bonney R. et al. Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy // *BioScience*. 2009.
28. Bonney R., Shirk J. L., Phillips T. B., Wiggins A. Next Steps for Citizen Science // *Science*. 2014. Vol. 343(6178). P. 1436–1437.
29. Bybee R. W. STEM Education: Challenges and Opportunities. Arlington: NSTA Press, 2013.
30. Bybee R. W. The BSCS 5E Instructional Model and STEM Education. NSTA Press, 2014.
31. CBE – Life Sciences Education. Measuring student learning gains in biology education // *ASCB*.
32. Creswell J. W. Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research. Pearson, 2018.
33. Hattie J. Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement. Routledge, 2009.
34. Hmelo-Silver C. E., Duncan R. G., Chinn C. A. Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark // *Educational Psychologist*. 2007. Vol. 42(2). P. 99–107.
35. Kuhlert S., Austic G., Zegarac R., Osei-Bonsu I., Hoh D., Chilvers M. I., Roth M. G., Bi K., TerAvest D., Weebadde P., Kramer D. M. MultispeQ Beta: a tool for large-scale plant phenotyping connected to the open PhotosynQ network // *Royal Society Open Science*. 2016. 3(10). DOI: 10.1098/rsos.160592.

36. National Research Council. A Framework for K–12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. Washington: National Academies Press, 2012.
37. OECD. The Definition and Selection of Key Competencies (DeSeCo). Paris: OECD Publishing, 2005.
38. PhotosynQ. PhotosynQ Platform – Open Science for Photosynthesis [Electronic resource]. URL: <https://photosynq.org>
39. PhotosynQ Documentation. What is PhotosynQ? URL: <https://help.photosynq.org>
40. PhotosynQ Help Center. Getting started with PhotosynQ projects [Electronic resource]. URL: <https://help.photosynq.org>
41. Suherman S. et al. The Role of STEM Teaching in Education: An Empirical Analysis // Journal of Intelligence, 2025.

ДОДАТКИ

Додаток А

Зразки тестових завдань для констатувального та підсумкового етапів педагогічного експерименту

Частина І. Тестові завдання з вибором однієї правильної відповіді

1. Який показник фотосинтетичної активності найчастіше використовується у системі PhotosynQ для оцінки ефективності роботи фотосистеми II?
А. F_0
Б. F_s
В. ФПСII
Г. F_0/F_m
2. Який чинник *найбільше* впливає на зниження значення ФПСII у денний час?
А. Зростання вологості повітря
Б. Надмірна інтенсивність світла
В. Підвищення температури ґрунту
Г. Активність кореневих волосків
3. Що означає зростання показника F_m' (максимальної флуоресценції у світлі)?
А. Рослина перебуває у стані водного стресу
Б. Зростає пропускну здатність електронного транспорту
С. Рослина переходить у стан фотоінгібіції
Д. Листок має низький вміст хлорофілу
4. Який параметр використовується для визначення рівня передпочаткової флуоресценції?
А. F_m
Б. F_0
В. F_v/F_m
Г. NPQ
5. Зниження значення NPQ (неквазіпоглинального гасіння) свідчить про те, що:

- А. Рослина пришвидшує відновлення фотосистеми І
- Б. Росте частка енергії, яка переходить у тепло
- В. Рослина погано захищена від надлишку світла
- Г. Змінюється рН строми хлоропластів

Частина II. Завдання на встановлення відповідності

6. Установіть відповідність між фотосинтетичним показником та його характеристикою.

Показник	Характеристика
1. F0	А. Максимальна флуоресценція на світлі
2. Fm'	Б. Мінімальна флуоресценція у темряві
3. ФPSII	В. Ефективність первинної фотохімічної реакції
4. Fs	Г. Стаціонарний рівень флуоресценції у світлі

III. Аналіз реальних даних флуоресценції (PhotosynQ)

7. На основі наведеної таблиці результатів вимірювань визначте, у якій пробі спостерігається найбільший рівень світлового стресу.

Проба	PSII	NPQ
1	0,62	1,1
2	0,48	1,9
3	0,35	2,5
4	0,55	0,9

- Визначте пробу з максимальним та мінімальним рівнем стресу.

Частина IV. Відкрите запитання високого рівня (оцінювання дослідницьких умінь)

8. Поясніть, чому при оцінці стану рослини важливо поєднувати дані флуоресценції з екологічними параметрами (температурою, вологістю повітря та ґрунту).

9. Які переваги дає використання платформи PhotosynQ для шкільних досліджень? Наведіть три аргументи.