



UDC 378.091.2:001.891:57

DOI 10.35433/pedagogy.1(120).2025.22

THE ROLE OF STEM EDUCATION IN THE DEVELOPMENT OF RESEARCH SKILLS OF FUTURE BIOLOGY TEACHERS

L. A. Nikitchenko*

The article is devoted to the actual problem of introducing STEM education in the training of future biology teachers. The article analyzes the role of STEM technologies in the development of research skills of future teachers. It is emphasized that traditional methods of training often do not provide a sufficient level of development of research competencies necessary for work in the modern educational system.

The article discusses the basic concepts of STEM education and STEM technologies, as well as provides an overview of scientific research on this issue. The necessity of integrating STEM components into the curriculum for future biology teachers is substantiated and specific methods and techniques for implementing this approach are proposed.

The main conclusion of the article is that STEM education is an effective tool for developing the research skills of future biology teachers. The introduction of STEM technologies contributes to the development of such competencies as critical thinking, creativity, ability to work with data, use modern technologies and organize students' research activities.

Specific examples of the use of modern STEM technologies, such as biological simulators, 3D printers, online collaboration platforms, virtual and augmented reality, simulation modeling of biological processes, for the development of research skills in future biology teachers are presented. It is emphasized that the use of STEM technologies in the process of training future biology teachers contributes to the development of critical thinking, the formation of research skills, the development of creativity and the training of teachers who are able to use modern technologies in the educational process.

For the effective development of future biology teachers' research skills, it is necessary to provide access to modern technologies and individualize the learning process. The use of specialized equipment and software allows students to acquire the practical skills necessary to conduct research. An individual approach helps to develop the creative abilities of each student and encourages them to work independently. Creating an atmosphere that supports curiosity and the desire to explore is a key factor in developing the research skills of future biology teachers.

Keywords: future biology teachers, higher education institutions, STEM education, research, teacher training, educational process.

* Candidate of Pedagogical Sciences (PhD in Pedagogy), Associate Professor
(Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University)
Lileekk1504@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4647-9454

РОЛЬ STEM-ОСВІТИ У РОЗВИТКУ ДОСЛІДНИЦЬКИХ НАВИЧОК МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ БІОЛОГІЇ

А. О. Нікітченко

Стаття присвячена актуальній проблемі впровадження STEM-освіти в підготовку майбутніх учителів біології. У статті проаналізовано роль STEM-технологій у розвитку дослідницьких навичок у майбутніх педагогів. Підкреслюється, що традиційні методи підготовки часто не забезпечують достатнього рівня розвитку дослідницьких компетентностей, необхідних для роботи в сучасній освітній системі.

У статті розглядаються основні поняття STEM-освіти та STEM-технологій, а також наводиться огляд наукових досліджень, присвячених цій проблематиці. Обґрунтована необхідність інтеграції STEM-компонентів у навчальні програми для майбутніх учителів біології та запропоновано конкретні методи та прийоми для реалізації такого підходу.

Основний висновок статті полягає в тому, що STEM-освіта є ефективним інструментом для розвитку дослідницьких навичок майбутніх учителів біології. Впровадження STEM-технологій сприяє формуванню в майбутніх педагогів таких компетентностей, як критичне мислення, креативність, вміння працювати з даними, використовувати сучасні технології та організовувати дослідницьку діяльність учнів.

Наведено конкретні приклади використання сучасних STEM-технологій, таких як біологічні симулятори, 3D-принтери, онлайн-платформи для співпраці, віртуальна та доповнена реальність, симуляційне моделювання біологічних процесів, для розвитку дослідницьких навичок у майбутніх вчителів біології. Підкреслюється, що використання STEM-технологій в процесі підготовки майбутніх учителів біології сприяє розвитку критичного мислення, формуванню дослідницьких навичок, розвитку творчих здібностей та підготовці вчителів, здатних використовувати сучасні технології в освітньому процесі.

Для ефективного розвитку дослідницьких навичок майбутніх учителів біології необхідно забезпечити доступ до сучасних технологій та індивідуалізувати навчальний процес. Використання спеціалізованого обладнання та програмного забезпечення дозволяє здобувачам освіти набути практичних навичок, необхідних для проведення наукових досліджень. Індивідуальний підхід сприяє розвитку творчих здібностей кожного здобувача освіти та стимулює його до самостійної роботи. Створення атмосфери, що підтримує допитливість і бажання досліджувати, є ключовим фактором розвитку дослідницьких умінь майбутніх учителів біології.

Ключові слова: майбутні вчителі біології, заклади вищої освіти, STEM-освіта, дослідницька діяльність, підготовка вчителів, освітній процес.

Introduction of the issue. Modern education is undergoing dramatic changes, requiring future teachers not only to have in-depth knowledge of their subject area, but also to be able to apply this knowledge in practice, stimulate students' curiosity and develop their research skills. This is where STEM education, which combines science, technology, engineering, and mathematics, comes to the fore [9; 10; 11]. Biology, as one of the basic sciences, is an ideal environment for implementing the STEM approach. However, in order to effectively implement STEM education in biology classes, teachers need to have not only knowledge of biology, but also developed research skills and modern teaching and research methods.

Постановка проблеми. Сучасна освіта зазнає кардинальних змін, вимагаючи від майбутніх учителів не лише глибоких знань у своїй предметній галузі, а й умінь застосовувати ці знання на практиці, стимулювати допитливість учнів та розвивати їхні дослідницькі навички. Саме тут на перший план виходить STEM-освіта, яка об'єднують науку, технології, інженерію та математику [9; 10; 11]. Біологія, як одна з фундаментальних наук, є ідеальним середовищем для впровадження STEM-підходу. Однак, щоб ефективно впроваджувати STEM-освіту на уроках біології, вчителі повинні володіти не лише знаннями з біології, а й мати розвинені дослідницькі навички, володіти сучасними методами навчання та дослідження.

According to the results of observation and analysis of literature, traditional methods of training future biology teachers often do not provide a sufficient level of research skills development [1; 4; 8]. Future teachers often have insufficient experience in conducting experiments, analyzing data, and using modern information technologies in the educational process. Therefore, an urgent task arises: how STEM education can effectively develop the research skills of future biology teachers so that they can prepare students for life in the modern world, where science and technology play an increasingly important role.

Current state of the issue. The introduction of STEM education into biology teacher education is a necessary step to modernize the educational system and improve the quality of education. This approach will allow us to prepare teachers who will not only be transmitters of knowledge, but also facilitators of learning, capable of creating an educational environment that stimulates curiosity and critical thinking.

The terms "STEM education" and "STEM technologies" are often used interchangeably, especially in the context of modern education. However, they represent different, though closely related, concepts.

STEM education is a pedagogical approach that integrates science, technology, engineering, and mathematics into a single educational process. This approach is aimed at developing students' knowledge not only in individual disciplines, but also in critical thinking, creativity, problem solving and collaboration skills necessary for successful functioning in the modern world [2; 4; 6; 8].

STEM technologies are a set of tools and means used to implement STEM education. These can be: computers and software: for modeling, simulation, data analysis, creating presentations; laboratory equipment: for conducting experiments and research; 3D printers: for creating prototypes and models; online platforms: for collaboration,

Як показують результати спостереження, та аналіз літературних джерел традиційні методи підготовки майбутніх учителів біології часто не забезпечують достатнього рівня розвитку дослідницьких навичок [1; 4; 8]. Майбутні педагоги часто мають недостатній досвід проведення експериментів, аналізу даних, використання сучасних інформаційних технологій у навчальному процесі. Тому постає актуальне завдання: як за допомогою STEM-освіти можна ефективно розвивати дослідницькі навички майбутніх учителів біології, щоб вони могли готувати учнів до життя в сучасному світі, де наука і технології відіграють все більшу роль.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Впровадження STEM-освіти в процес підготовки вчителів біології є необхідним кроком для модернізації освітньої системи та підвищення якості навчання. Такий підхід дозволить підготувати вчителів, які будуть не лише передавачами знань, а й фасилітаторами навчання, здатними створювати освітнє середовище, що стимулює допитливість та критичне мислення.

Терміни "STEM-освіта" та "STEM-технології" часто використовуються взаємозаміно, особливо в контексті сучасної освіти. Однак, вони представляють різні, хоча й тісно пов'язані, концепції.

STEM-освіта (від англ. Science, Technology, Engineering, Mathematics) – це педагогічний підхід, який інтегрує природничі науки, технології, інженерію та математику в єдиний навчальний процес. Цей підхід спрямований на розвиток у студентів не лише знань з окремих дисциплін, але й навичок критичного мислення, творчості, вирішення проблем та співпраці, необхідних для успішного функціонування в сучасному світі [2; 4; 6; 8].

STEM-технології – це сукупність інструментів та засобів, які використовуються для реалізації STEM-освіти. Це можуть бути: комп'ютери та програмне забезпечення: для моделювання, симуляції, аналізу даних, створення презентацій; лабораторне обладнання: для проведення експериментів та досліджень; 3D-

knowledge sharing and access to educational materials [2; 4; 6; 8].

According to D. Frolov, STEM education provides future teachers with the necessary tools to organize effective group work of students, stimulate their curiosity and develop their skills of independent information search. This approach also helps teachers to constantly update their methodological knowledge, develop new approaches to teaching biology, and prepare for lessons more actively [8]. M. Sydorovych identifies interdisciplinarity and "obtaining objectively new" in the learning process that has direct practical relevance to life as two of the leading features of STEM education. According to the author, STEM education is not just the sum of individual disciplines, but a synthesis of knowledge that allows future teachers not only to acquire theoretical knowledge but also to develop skills in solving real problems [5].

Ukrainian researchers, such as S. Bilyavsky and N. Posternak, focus on how STEM methods can be integrated into the training of future biology teachers. They suggest using interactive STEM elements in laboratory classes on biology teaching methods. The goal of this approach is to develop critical thinking in future teachers. The authors of the study argue that the use of the quest format during the classroom is particularly effective [1].

Scientists argue that conducting classes using STEM elements allows future biology teachers not only to get acquainted with the principles of STEM education in theory, but also to experience how these principles work in practice. This allows them to better understand how to implement STEM elements in their future teaching activities [1; 4; 7].

O. Mekhed, N. Tyupina note that in the context of the New Ukrainian School reform, the training of science teachers is undergoing significant changes. Emphasis is placed on developing their ability to apply an integrated approach to teaching, use digital technologies and develop students' critical thinking skills. Particular attention is paid to the development of practical skills through

принтери: для створення прототипів та моделей; онлайн-платформи: для співпраці, обміну знаннями та доступу до навчальних матеріалів [2; 4; 6; 8].

На думку Д. Фролова завдяки STEM-освіті майбутні вчителі отримують необхідні інструменти для організації ефективної групової роботи школярів, стимулювання їхньої допитливості та розвитку навичок самостійного пошуку інформації. Цей підхід також сприяє тому, що вчителі постійно оновлюють свої методичні знання, розробляють нові підходи до викладання біології та більш активно готуються до уроків [8]. М. Сидорович виокремлює двома провідними рисами STEM – освіти міждисциплінарність і "одержання об'єктивно нового" у процесі навчання, що має безпосередню практичну значущість для життя. На думку авторки STEM – освіта це не просто сума окремих дисциплін, а синтез знань, який дозволяє майбутнім учителям не тільки здобувати теоретичні знання, але й розвивати навички розв'язання реальних проблем [5].

Українські дослідники, зокрема С. Білявський та Н. Постернак, зосереджують свою увагу на тому, як методичні прийоми STEM можна інтегрувати в підготовку майбутніх учителів біології. Вони пропонують використовувати інтерактивні елементи STEM, на лабораторних заняттях з методики викладання біології. Мета такого підходу – розвинути критичне мислення у майбутніх педагогів. Автори дослідження стверджують, що особливо ефективним є використання квест-формату під час навчального заняття [1].

Науковці стверджують, що проведення навчальних занять з використанням елементів STEM дає можливість майбутнім учителям біології не лише теоретично ознайомитися з принципами STEM-освіти, але й на власному досвіді відчувати, як ці принципи працюють на практиці. Це дозволяє їм краще зрозуміти, як впроваджувати STEM-елементи у свою майбутню педагогічну діяльність [1; 4; 7].

О. Мехед, Н. Тюпіна зазначають, що у контексті реформи Нової української школи, підготовка вчителів природничих наук зазнає суттєвих змін. Акцент робиться на розвитку в них здатності застосовувати

laboratory classes and field research. STEM education has become an integral part of the training of future science teachers. It involves the development of not only subject knowledge but also the ability to integrate different disciplines, use modern technologies, and develop students' research skills [3].

The New Ukrainian School reform sets ambitious goals for education, including the development of students as researchers and creators. In order to achieve these goals, it is crucial that future biology teachers are ready to implement the STEM approach in their teaching [2]. However, a number of problems arise on this way: insufficient integration of STEM components into the curriculum: often STEM education is considered as an additional element, not as the basis of the educational process. This leads to fragmentation of knowledge and makes it difficult for future teachers to form a holistic view of the STEM approach; Lack of clear methodological recommendations: there are no uniform standards and recommendations for implementing STEM education in biology teacher training; Limited research opportunities: many future teachers do not have sufficient research experience, which makes it difficult for them to further stimulate students' research activities; Insufficient attention to the development of project-based learning skills: Although project-based activities are a key component of STEM education, there are often no clear methodologies and tools for organizing them in teacher education; Insufficient integration of research into the educational process: the training of future teachers is limited to mastering theoretical material, while practical research remains in the background.

In this regard, a key task of professional education is to identify the main strategies for training future biology teachers, which involves creating an innovative educational environment that promotes critical thinking, creativity, research skills, and teamwork. This involves the integration of STEM components into the curriculum, the use of modern technologies, the

інтегрований підхід до навчання, використовувати цифрові технології та формувати у учнів навички критичного мислення. Особлива увага приділяється розвитку практичних навичок через проведення лабораторних занять та польових досліджень. STEM-освіта стала невід'ємною частиною підготовки майбутніх вчителів природничих дисциплін. Вона передбачає розвиток у них не лише предметних знань, а й здатності інтегрувати різні дисципліни, використовувати сучасні технології та формувати у учнів навички дослідження [3].

Реформа Нової української школи ставить перед освітою амбітні завдання, зокрема, розвиток учнів як дослідників та творців. Для досягнення цих цілей вкрай важливо, щоб майбутні вчителі біології були готові до впровадження STEM-підходу в свою педагогічну діяльність [2]. Проте, на цьому шляху виникає ряд проблем: недостатня інтеграція STEM-компонентів у навчальні програми: часто STEM-освіта розглядається як додатковий елемент, а не як основа навчального процесу. Це призводить до фрагментарності знань і ускладнює формування у майбутніх учителів цілісного уявлення про STEM-підхід; Відсутність чітких методичних рекомендацій: немає єдиних стандартів та рекомендацій щодо впровадження STEM-освіти в підготовку вчителів біології; Обмежені можливості для проведення досліджень: багато майбутніх вчителів не мають достатнього досвіду проведення досліджень, що ускладнює їх подальшу роботу зі стимулювання дослідницької діяльності учнів; Недостатня увага до розвитку навичок проєктної діяльності: Хоча проєктна діяльність є однією з ключових складових STEM-освіти, часто відсутні чіткі методики та інструменти для її організації в процесі підготовки вчителів; недостатня інтеграція дослідницької діяльності в навчальний процес: підготовка майбутніх вчителів зводиться до засвоєння теоретичного матеріалу, а практичні дослідження залишаються на задньому плані.

У зв'язку з цим ключовим завданням професійної освіти стає визначення основних стратегій підготовки майбутніх вчителів біології, що передбачає створення інноваційного освітнього середовища, яке

development of interdisciplinary connections, and the creation of conditions for research.

Aim of the research. To analyze the role of STEM education in the process of training future biology teachers and developing their research skills.

Results and discussion. Future biology teachers should have a set of research competencies that allow them not only to transfer knowledge but also to develop sustainable research skills in students. This implies the ability to initiate and conduct their own research, as well as to transform the results of this research into their future professional activities. This complex includes:

1. Ability to research and teach: future biology teachers should have the skills to conduct independent research and transform its results into effective curricula for students.

2. Deep understanding of experimental research methodology and the ability to apply it in the educational process to develop students' critical thinking and research skills.

3. Professional competence in designing and conducting educational experiments, analyzing data and interpreting results, which contributes to the development of students' scientific literacy.

4. Formation of sustainable research competencies in students: future teachers should have a set of tools and techniques that allow them to develop students' ability to learn independently, to pose problems and find answers.

5. Creating an educational environment that stimulates students' innovation and creativity, as well as develops their skills of cooperation and communication in the process of collaborative research.

6. The ability to adapt modern technologies and teaching methods to develop students' research skills that meet the requirements of the 21st century.

Accordingly, the main directions of STEM education implementation in the process of training future biology teachers in the field of research skills development are:

сприяє розвитку критичного мислення, творчості, дослідницьких навичок та вміння працювати в команді. Це передбачає інтеграцію STEM-компонентів у навчальні програми, використання сучасних технологій, розвиток міждисциплінарних зв'язків та створення умов для проведення наукових досліджень.

Мета статті. Проаналізувати, роль STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів біології та розвитку їх дослідницьких навичок.

Виклад основного матеріалу. Майбутній учитель біології повинен володіти комплексом дослідницьких компетентностей, що дозволяють йому не лише передавати знання, а й формувати в учнів стійкі дослідницькі навички. Це передбачає здатність ініціювати та проводити власні наукові дослідження, а також трансформувати результати цих досліджень у свою майбутню професійну діяльність. Такий комплекс включає в себе:

1. Здатність до науково-педагогічної діяльності: майбутні вчителі біології мають володіти навичками проведення самостійних наукових досліджень та трансформування їх результатів у ефективні навчальні програми для учнів.

2. Глибоке розуміння методології експериментального дослідження та вміння застосовувати її в освітньому процесі для формування у школярів критичного мислення та дослідницьких навичок.

3. Професійна компетентність у розробці та проведенні навчальних експериментів, аналізу даних та інтерпретації результатів, що сприяє розвитку у учнів наукової грамотності.

4. Формування в учнів стійких дослідницьких компетентностей: майбутні вчителі мають володіти набором інструментів та методик, які дозволяють розвивати в учнів здатність до самостійного пізнання, постановки проблем та пошуку відповідей.

5. Створення освітнього середовища, яке стимулює інноваційність та креативність учнів, а також розвиває їхні навички співпраці та комунікації в процесі спільних досліджень.

Integration of disciplines. This includes: combining biology with physics, chemistry, mathematics and technology in one course or project; using biological problems to demonstrate the application of mathematical models, physical laws and chemical reactions; using technology to collect, analyze and visualize data.

Integration of disciplines in the process of teaching biology is a powerful tool for developing complex thinking and research skills in future teachers [5]. The combination of biology with physics, chemistry, mathematics and technology allows for a more holistic picture of natural phenomena and processes.

During the integration of disciplines, future biology teachers develop the following research skills 1. Systems thinking. The ability to see the interconnections between different natural phenomena and processes. For example, when studying photosynthesis, one can consider the physical processes of light absorption, chemical reactions that occur in chloroplasts, and mathematical models that describe the rate of photosynthesis.

Comprehensive data analysis. The ability to collect, process and analyze data from various sources (biological, physical, chemical) to obtain reliable results.

Modeling. Ability to create mathematical and computer models of biological processes, which allows to predict the results of experiments and test hypotheses.

Design of experiments. The ability to design experiments that combine knowledge from different disciplines. For example, during a botany class, students used sensors to measure temperature, humidity, and light to investigate the effect of various factors on plant growth, and then processed the data using statistical methods.

Interdisciplinary communication. An interdisciplinary approach in the training of future biology teachers is extremely important for the development of their professional competence. The combination of botany, zoology, physiology, anatomy and biology teaching methods allows one to

6. Здатність адаптувати сучасні технології та методи навчання для розвитку у учнів дослідницьких навичок, що відповідають вимогам ХХІ століття.

Відповідно основними напрямками реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх вчителів біології в царині формування дослідницьких навичок є:

Інтеграція дисциплін. Включає в себе: поєднання біології з фізикою, хімією, математикою та технологіями в рамках одного навчального курсу або проекту; використання біологічних задач для демонстрації застосування математичних моделей, фізичних законів та хімічних реакцій; залучення технологій для збору, аналізу та візуалізації даних.

Інтеграція дисциплін в процесі навчання біології є потужним інструментом для розвитку комплексного мислення та дослідницьких навичок у майбутніх учителів [5]. Поєднання біології з фізикою, хімією, математикою та технологіями дозволяє створити більш цілісну картину природних явищ і процесів.

Під час інтеграції дисциплін у майбутніх вчителів біології формуються такі дослідницькі навички як: 1. Системне мислення. Здатність бачити взаємозв'язки між різними природними явищами та процесами. Наприклад, при вивченні фотосинтезу можна розглянути фізичні процеси поглинання світла, хімічні реакції, що відбуваються в хлоропластах, та математичні моделі, що описують швидкість фотосинтезу.

Комплексний аналіз даних. Вміння збирати, обробляти та аналізувати дані з різних джерел (біологічні, фізичні, хімічні) для отримання достовірних результатів.

Моделювання. Здатність створювати математичні та комп'ютерні моделі біологічних процесів, що дозволяє прогнозувати результати експериментів та перевіряти гіпотези.

Проектування експериментів. Вміння розробляти експерименти, в яких поєднуються знання з різних дисциплін. Наприклад, під час пари з ботаніки здобувачі освіти для дослідження впливу різних факторів на ріст рослин використовували датчики для вимірювання температури, вологості та освітленості, а потім обробити отримані дані за допомогою статистичних методів.

create a holistic view of living organisms and the processes that occur in them.

An example of the integration of disciplines in the process of training future biology teachers is *tama*: Studying the structure and functions of a cell. Combining biology with physics (studying diffusion, osmosis), chemistry (studying biological molecules) and mathematics (calculating the surface and volume of a cell).

Integration of disciplines in the process of teaching biology is a key factor in developing research skills in future teachers. This approach allows one to create a more holistic picture of the natural world, promotes the development of critical thinking, creativity and readiness to solve complex problems.

- Project activities. Developing skills in planning, research, analysis of results, and presentation; creating projects that have practical relevance and solve real problems; using various technologies to create prototypes and models.

Project-based learning is one of the most effective teaching methods that allows students not only to acquire knowledge but also to develop the key competencies necessary for successful professional activity [6]. The role of project activities in the training of future biology teachers is especially important, as it helps them develop the research skills necessary to organize effective research activities for students.

Project-based activities are a powerful tool that allows future biology teachers to develop a range of research skills necessary for effective teaching. Here is an example of some of them:

- Developing the ability to ask questions and formulate a problem: Students learn to identify current problems in the field of biology and formulate research questions that can be addressed within the project.

- Development of information retrieval skills. Students learn to find the necessary information from various sources and analyze it.

Міждисциплінарна комунікація. Міждисциплінарний підхід у підготовці майбутніх учителів біології є надзвичайно важливим для розвитку їхньої професійної компетентності. Поєднання ботаніки, зоології, фізіології, анатомії та методики навчання біології дозволяє створити цілісне уявлення про живі організми та процеси, що в них відбуваються.

Прикладом інтеграції дисциплін у процесі підготовки майбутніх учителів біології може слугувати *tama*: Вивчення будови та функцій клітини. Поєднання біології з фізикою (вивчення дифузії, осмосу), хімією (вивчення біологічних молекул) та математикою (розрахунки поверхні та об'єму клітини).

Інтеграція дисциплін в процесі навчання біології є ключовим фактором для розвитку дослідницьких навичок у майбутніх учителів. Цей підхід дозволяє створити більш цілісну картину природного світу, сприяє розвитку критичного мислення, творчих здібностей та готовності до вирішення складних проблем.

- Проектна діяльність. Розвиток навичок планування, проведення досліджень, аналізу результатів та презентації; створення проєктів, які мають практичну значущість і вирішують реальні проблеми; використання різних технологій для створення прототипів та моделей.

Проектна діяльність є одним з найбільш ефективних методів навчання, який дозволяє здобувачам освіти не тільки здобувати знання, але й розвивати ключові компетентності, необхідні для успішної професійної діяльності [6]. Особливо важлива роль проєктної діяльності у підготовці майбутніх учителів біології, оскільки вона сприяє формуванню в них дослідницьких навичок, необхідних для організації ефективної дослідницької діяльності учнів.

Проектна діяльність є потужним інструментом, який дозволяє майбутнім учителям біології розвинути цілий комплекс дослідницьких умінь, необхідних для ефективної педагогічної діяльності. Наведемо приклад деяких з них:

- Формування вміння ставити запитання та формулювати проблему: Здобувачі освіти навчаються визначати актуальні проблеми в галузі біології та

- Research planning: Future teachers develop a detailed research plan, determine methods of data collection and analysis.

- Conducting experiments: Teacher candidates learn how to conduct experiments using a variety of equipment and materials.

- Data analysis and interpretation of results: Students learn how to process data, create graphs and tables, and draw conclusions.

- Presentation of results: Future biology teachers learn to present the results of their work using various forms of information presentation (oral reports, presentations, posters).

- Development of critical thinking: Students learn to analyze the results of their research, identify errors and suggest ways to eliminate them.

- Teamwork: Working on joint projects develops communication, interaction, and responsibility sharing skills.

Thus, project activities are an effective tool for developing the research skills of future biology teachers. It allows students not only to acquire theoretical knowledge but also to apply it in practice, while developing such important qualities as creativity, critical thinking, teamwork, and independent decision-making.

- Conducting laboratory, practical work, and experiments that require the use of modern equipment and software, analyzing the data obtained and drawing conclusions. Conducting laboratory, practical work and experiments is an integral part of the training of future biology teachers. These activities have a significant impact on the development of research skills. The main aspects that contribute to this development are: the formation of practical skills in working with equipment, the development of research thinking, the acquisition of planning and organization skills, the formation of cooperation skills, and preparation for professional activities.

- Use of computer technologies. Application of computer programs for modeling biological processes, data processing and creating presentations; use

формулювати дослідницькі питання, які можна вирішити в рамках проекту.

- Розвиток навичок пошуку інформації. Здобувачі освіти вчаться знаходити необхідну інформацію з різних джерел, аналізувати її.

- Планування дослідження: Майбутні учителі розробляють детальний план проведення дослідження, визначають методи збору та аналізу даних.

- Проведення експериментів: Здобувачі освіти навчаються проводити експерименти, використовуючи різноманітне обладнання та матеріали.

- Аналіз даних та інтерпретація результатів: Здобувачі освіти вчаться обробляти отримані дані, будувати графіки, таблиці та робити висновки.

- Презентація результатів: Майбутні вчителі біології навчаються презентувати результати своєї роботи, використовуючи різні форми представлення інформації (усні доповіді, презентації, постери).

- Розвиток критичного мислення: Здобувачі освіти навчаються аналізувати результати своїх досліджень, виявляти помилки та пропонувати шляхи їх усунення.

- Співпраця в команді: Робота над спільними проєктами розвиває навички комунікації, взаємодії та розподілу відповідальності.

Таким чином, проєктна діяльність є ефективним інструментом для розвитку дослідницьких умінь майбутніх учителів біології. Вона дозволяє студентам не тільки здобути теоретичні знання, але й застосувати їх на практиці, розвиваючи при цьому такі важливі якості, як креативність, критичне мислення, вміння працювати в команді та самостійно приймати рішення.

- Проведення лабораторних, практичних робіт, експериментів, що вимагають використання сучасного обладнання та програмного забезпечення, аналіз отриманих даних та формулювання висновків. Проведення лабораторних, практичних робіт та експериментів є невід'ємною частиною підготовки майбутніх учителів біології. Ці вид діяльності мають значний вплив на формування дослідницьких умінь. Основні аспекти, які сприяють цьому

of online resources for information search and collaboration with other researchers, development of digital literacy.

- Curriculum integration. Development of effective curricula using the STEM approach, development of the ability to create interesting and interactive learning materials for students; use of STEM technologies in teaching, familiarization with modern STEM technologies that can be used in biology lessons.

Modern STEM technologies provide unprecedented opportunities for the development of research skills in future biology teachers. They allow: simulating real research processes; collecting and analyzing large amounts of data; collaborating in an online environment; creating interactive materials.

We used the following STEM technologies in the training of future biology teachers:

1. Biological simulators that allow you to model various biological processes, conduct virtual experiments, and analyze the results. (For example, the PhET project, which includes a number of simulators. Cell division simulators: allow you to visualize mitosis and meiosis. Ecosystem simulators: allow you to model the interaction of different species of organisms and the impact of environmental factors on them. Evolution simulators: allow you to observe the process of evolution of populations under the influence of various selection factors.) Virtual Cell. Allows to study the structure and functions of a cell.

2. 3D printers (3D pens): Allows you to create models of organs, tissues, molecules, which contributes to a better understanding of their structure and functions. The students created and printed 3D models of cells, organs, and plants, which contributed to a better understanding of their structure and function.

3. Online collaboration platforms: Facilitate the exchange of ideas, joint work on projects, and the development of communication skills.

розвитку це: формування практичних навичок роботи з обладнанням, розвиток дослідницького мислення, набуття навичок планування та організації роботи, формування навичок співпраці, підготовка до професійної діяльності.

- Використання комп'ютерних технологій. Застосування комп'ютерних програм для моделювання біологічних процесів, обробки даних та створення презентацій; використання онлайн-ресурсів для пошуку інформації та співпраці з іншими дослідниками, розвиток цифрової грамотності.

- Інтеграція навчальних програм. Розробка ефективних навчальних програм з використанням STEM-підходу, розвиток умінь створювати цікаві та інтерактивні навчальні матеріали для учнів; використання STEM технологій у навчанні, ознайомлення з сучасними STEM технологіями, які можна використовувати на уроках біології.

Сучасні STEM-технології надають безпрецедентні можливості для розвитку дослідницьких навичок у майбутніх учителів біології. Вони дозволяють: симулювати реальні дослідницькі процеси; збирати та аналізувати великі обсяги даних; співпрацювати в онлайн-середовищі; створювати інтерактивні матеріали.

Під час підготовки майбутніх учителів біології ми використовували такі STEM-технології:

1. Біологічні симулятори, що дозволяють моделювати різноманітні біологічні процеси, проводити віртуальні експерименти та аналізувати результати. (Наприклад проєкт-PhET, що вміщує в собі ряд симуляторів. Симулятори клітинного поділу: дозволяють візуалізувати мітоз та мейоз. Симулятори екосистем: дозволяють моделювати взаємодію різних видів організмів та вплив на них факторів довкілля. Симулятори еволюції: дозволяють спостерігати за процесом еволюції популяцій під дією різних факторів відбору). Virtual Cell. Дозволяє досліджувати будову і функції клітини.

2. 3D-принтери (3D-ручки): Дають змогу створювати моделі органів, тканин, молекул, що сприяє кращому розумінню їхньої будови та функцій. Здобувачі освіти створювали та друкували 3D-моделі клітин, органів, рослин, що

4. Virtual and augmented reality. Students could conduct experiments in a safe virtual environment without access to real equipment. Using smartphones or tablets, future teachers could explore the structure of organs and systems of the human or animal body in a three-dimensional format. (Virtual biology lab, Augmented reality for anatomy)

5. Simulation modeling of biological processes. Students created and ran simulations that simulate various biological processes, such as photosynthesis, mitosis, and evolution.

Thus, the use of STEM technologies in the process of training future biology teachers allows to develop critical thinking, form research skills, promote creativity, and prepare teachers capable of using modern technologies in the educational process. STEM technologies as tools that embody the ideas of STEM education play a key role in the development of research skills of future biology teachers, contributing to their professional training and ensuring high competitiveness.

It is important to note that for the effective development of research skills, it is necessary to use modern equipment and software that will allow students to familiarize themselves with the tools they will use in their future professional activities. Ensure an individual approach to each student. Each student has their own characteristics, so it is important to create conditions for the development of their individual abilities. To create an atmosphere that stimulates curiosity and a desire to explore.

Conclusions and research perspectives. The development of future biology teachers' research skills through STEM education is a key factor in modernizing the educational process and training specialists capable of forming students as creative, critical thinkers ready for the challenges of the modern world. The study confirms that STEM education plays a key role in developing the research skills of future biology teachers.

The integration of disciplines promotes the development of systemic thinking,

сприяло кращому розумінню їхньої будови та функцій.

3. Онлайн-платформи для співпраці: Сприяють обміну ідеями, спільній роботі над проєктами та розвитку комунікативних навичок. (Zoom, Google Meet).

4. Віртуальна та доповнена реальність. Здобувачі освіти могли проводити експерименти в безпечному віртуальному середовищі, не маючи доступу до реального обладнання. За допомогою смартфонів або планшетів майбутні учителі могли досліджувати будову органів та систем організму людини або тварин у тривимірному форматі. (Virtual biology lab, Augmented reality for anatomy).

5. Симуляційне моделювання біологічних процесів. Здобувачі освіти створювали та запускали симуляції, які імітують різноманітні біологічні процеси, такі як фотосинтез, мітоз, еволюція. (frontiersin.org).

Отже, використання STEM-технологій в процесі підготовки майбутніх учителів біології дозволяє розвивати критичне мислення, формувати дослідницькі навички, сприяти розвитку творчих здібностей, підготувати вчителів, здатних використовувати сучасні технології в освітньому процесі. STEM-технології як інструменти, що втілюють ідеї STEM-освіти, відіграють ключову роль у розвитку дослідницьких навичок майбутніх учителів біології, сприяючи їхній професійній підготовці та забезпечуючи високу конкурентоспроможність.

Важливо зазначити, що для ефективного розвитку дослідницьких умінь необхідно використовувати сучасне обладнання та програмне забезпечення, що дозволить здобувачам освіти ознайомитися з інструментами, які вони будуть використовувати у своїй майбутній професійній діяльності. Забезпечити індивідуальний підхід до кожного здобувача освіти. Кожен здобувач має свої особливості, тому важливо створити умови для розвитку його індивідуальних здібностей. Створити атмосферу, яка стимулює допитливість і бажання досліджувати.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок. Розвиток дослідницьких умінь майбутніх учителів біології за допомогою STEM-освіти є ключовим фактором для модернізації освітнього процесу та

comprehensive data analysis, and the ability to communicate interdisciplinarily. Project activities stimulate the development of planning, research, analysis and presentation skills, as well as the ability to work in a team. Laboratory, practical work and experiments contribute to the acquisition of practical skills in working with equipment, the development of research thinking and preparation for professional activities. The use of computer technology allows you to model biological processes, process data, create presentations and develop digital literacy. The integration of curricula contributes to the creation of effective curricula using the STEM approach and the development of the ability to create interesting and interactive learning materials.

We see prospects for further research in the development of effective models for integrating STEM components into curricula. It is necessary to develop detailed methodological recommendations for the implementation of STEM education in the training of biology teachers, which will take into account the specifics of different educational institutions and the level of training of students.

підготовки фахівців, здатних формувати учнів як творчих, критично мислячих особистостей, готових до викликів сучасного світу. Проведене дослідження підтверджує, що STEM-освіта відіграє ключову роль у формуванні дослідницьких навичок майбутніх учителів біології.

Інтеграція дисциплін сприяє розвитку системного мислення, комплексного аналізу даних та здатності до міждисциплінарної комунікації. Проєктна діяльність стимулює розвиток навичок планування, проведення досліджень, аналізу результатів та презентації, а також формує вміння працювати в команді. Лабораторні, практичні роботи та експерименти сприяють набуттю практичних навичок роботи з обладнанням, розвитку дослідницького мислення та підготовці до професійної діяльності. Використання комп'ютерних технологій дозволяє моделювати біологічні процеси, обробляти дані, створювати презентації та розвивати цифрову грамотність. Інтеграція навчальних програм сприяє створенню ефективних навчальних програм з використанням STEM-підходу та розвитку вміння створювати цікаві та інтерактивні навчальні матеріали.

Перспективи подальших досліджень вбачаємо в розробці ефективних моделей інтеграції STEM-компонентів у навчальні програми. Необхідно розробити детальні методичні рекомендації щодо впровадження STEM-освіти в підготовку вчителів біології, які враховуватимуть специфіку різних навчальних закладів та рівень підготовки здобувачів освіти.

REFERENCES (TRANSLATED & TRANSLITERATED)

1. Biliavskiy, S.M., & Posternak, N.O. (2019). STEM u pidhotovtsi studentiv pryrodnychikh dystsyplin [STEM in the education of students of natural sciences]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia: dosvid, tendentsii, perspektivy – Modern information technologies and innovative teaching methods: experience, trends, perspectives: materialy IV Mizh. nauk.-prakt. Internet-konferentsii. Ternopil, 27-29* [in Ukrainian].
2. Kontseptsiiia rozvytku pryrodnycho-matematychnoi osvity (STEM-osvity): rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 05.08.2020 r. № 960-r [Concept of development of natural science and mathematics education (STEM education): Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 05.08.2020 No. 960-r]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
3. Mekhed, O.B., & Tiupina, N.V. (2024). Metodychna pidhotovka maibutnikh uchyteliv predmetiv pryrodnychoho tsyklu [Methodical preparation of future teachers of natural science subjects]. *Scientific Notes of Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State*

Pedagogical University Section Theory and Methods of Teaching Natural Sciences, 7, 61-66 [in Ukrainian].

4. Sydorovych, M. (2018). STEM-osvita v pidhotovtsi maibutnikh biolohiv i ekolohiv [STEM-education in the field of future biologists and ecologists]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk – Current issues in the humanities*, vyp. 21, t. 2, 162-166 [in Ukrainian].

5. Sydorovych, M. (2022). Uprovadzhennia STEM-osvity yak mizhdystsyplinarnoho pidkhodu zasobamy naukovo-doslidnytskoi diialnosti zdobuvachiv u pidhotovku maibutnikh vchyteliv biolohii [Implementation of STEM education as an interdisciplinary approach to the scientific and research activities of future biology teachers]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk – Current issues in the humanities*, vyp. 51, 681-687 [in Ukrainian].

6. Stepaniuk, A., Mironets, L., Olendr, T., & Zhyhadlo, M. (2024). STEM, STEAM chy STREAM-OSVITA: vybir za vamy! [STEM, STEAM and STREAM-OSVITA: the choice is yours!]. *Scientific Notes of Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University. Section: Theory and Methods of Teaching Natural Sciences*, 7, 86-96 [in Ukrainian].

7. Fitsula, M.M. (2017). *Pedahohika. Tekhnolohiia navchannia yak doslidzhennia* [Pedagogy. Technology teaching and research]. Retrieved from: <https://westudents.com.ua/glavy/50066-tehnologya-navchannya-yak-dosldjennya-.html> [in Ukrainian].

8. Frolov, D. (2022). Rol STEM-osvity v pidhotovtsi ta perepidhotovtsi vchyteliv-biolohiv [The role of STEM-education in the development and redevelopment of the brain-biological system]. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho – Visnyk KrNU named after Mykhaila Ostrohradskoho*, vyp. 5 (136), 75-78 [in Ukrainian].

9. Rossato, M., Matos, J.F., & Paula, R.M. (2018). A subjetividade do professor e sua expressão nas ações e relações pedagógicas. *Educação em Revista*, 34, e169376. Retrieved from: <https://doi.org/10.1590/0102-4698169376> [in Brasília].

10. Orhani, S. (2024). Robô mbot como parte da aprendizagem baseada em projetos em stem. *Cadernos De Educação Tecnologia E Sociedade*, 16(4), 862-872. Retrieved from: <https://doi.org/10.14571/brajets.v16.n4.862-872> [in Prishtina].

11. Assunção, R., & Rossat, M. (2024). The process of professional teacher training as a space for subjective productions. *Cadernos De Educação Tecnologia E Sociedade*, 17(4), 1430-1443. Retrieved from: <https://doi.org/10.14571/brajets.v17.n4.1430-1443> [in Brasília].

Received: February 17, 2025

Accepted: March 10, 2025