

УДК 37.013.3:57.02

DOI <https://doi.org/10.32782/academ-ped.psyh-2025-2.28>**Сергій СКРИПНИК**

кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри екології та біологічної освіти,
Хмельницький національний університет
skrypnyks2@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9296-9745

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ У ВИКЛАДАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ДИСЦИПЛІН (ЗАГАЛЬНА БІОЛОГІЯ, ГЕНЕТИКА, ЦИТОЛОГІЯ, ГІСТОЛОГІЯ, ЕМБРІОЛОГІЯ, БІОЛОГІЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РОЗВИТКУ)

Анотація. Метою статті є дослідження особливостей впровадження методу моделювання у викладання біологічних дисциплін (загальної біології, генетики, цитології, гістології, ембріології, біології індивідуального розвитку), а також окреслення прикладів його практичного застосування та визначення педагогічних умов, які забезпечують ефективність цього методу в освітньому процесі. **Методологія дослідження.** Для досягнення поставленої мети застосовано методи теоретичного аналізу наукової літератури в галузі біологічної освіти, порівняльний аналіз різних видів моделей та їх застосування в освітньому середовищі, узагальнення педагогічного досвіду вчителів і викладачів біологічних дисциплін, а також систематизація прикладів впровадження моделювання в шкільну та вищу біологічну освіту. Особливу увагу приділено аналізу зарубіжних та вітчизняних джерел, які висвітлюють потенціал моделювання як дидактичного інструмента. **Наукова новизна.** У статті комплексно розглянуто специфіку впровадження моделювання в різних біологічних дисциплінах, запропоновано чіткі приклади моделей, адаптованих до змісту кожного предмета. У роботі вперше систематизовано педагогічні умови, що визначають ефективність застосування моделювання залежно від особливостей предмета та рівня підготовки здобувачів освіти. Обґрунтовано інтеграцію матеріальних і віртуальних моделей як чинник підвищення якості біологічної освіти. **Висновки.** Метод моделювання є потужним інструментом у викладанні біологічних дисциплін, адже дозволяє візуалізувати складні процеси, полегшити сприйняття абстрактних понять, розвивати критичне та просторове мислення здобувачів освіти. Найбільш ефективним виявляється поєднання матеріальних і цифрових моделей, залучення здобувачів освіти до створення власних моделей та інтеграція моделювання з іншими методами активного навчання. Подальші дослідження варто зосередити на розробленні інтерактивних ресурсів та вивченні впливу моделювання на формування ключових компетентностей у галузі біології.

Ключові слова: моделювання, біологічна освіта, дидактичні методи, візуалізація, інтерактивні технології, компетентнісний підхід.

Sergii SKRYPNYK

Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor at the Department of Ecology and Biological Education,
Khmelnytskyi National University
skrypnyks2@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9296-9745

FEATURES OF IMPLEMENTING THE MODELLING METHOD IN TEACHING BIOLOGICAL DISCIPLINES (GENERAL BIOLOGY, GENETICS, CYTOLOGY, HISTOLOGY, EMBRYOLOGY, BIOLOGY OF INDIVIDUAL DEVELOPMENT)

Abstract. Purpose. The purpose of the article is to explore the peculiarities of implementing the modelling method in teaching biological disciplines (general biology, genetics, cytology, histology, embryology, biology of individual development), as well as to outline examples of its practical application and to define the pedagogical conditions ensuring the effectiveness of this method in the educational process. **Research methodology.** To achieve the stated goal, methods

© С. Скрипник, 2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

of theoretical analysis of scientific literature in the field of biological education were used, alongside a comparative analysis of various types of models and their application in the educational environment, generalisation of pedagogical experience of teachers and lecturers of biological disciplines, and systematisation of examples of modelling implementation in secondary and higher biological education. Particular attention was paid to the analysis of foreign and domestic sources that highlight the potential of modelling as a didactic tool. **Scientific Novelty.** The article provides a comprehensive examination of the specifics of implementing modelling in different biological disciplines, offering clear examples of models adapted to the content of each subject. For the first time, pedagogical conditions determining the effectiveness of modelling depending on the subject's specifics and students' preparedness levels are systematised. The integration of physical and virtual models is substantiated as a factor in improving the quality of biological education. **Conclusions.** The modelling method is a powerful tool in teaching biological disciplines, as it makes it possible to visualise complex processes, facilitate the comprehension of abstract concepts, and develop critical and spatial thinking among learners. The most effective approaches include combining physical and digital models, engaging students in creating their own models, and integrating modelling with other active learning methods. Future research should focus on developing interactive resources and studying the impact of modelling on the formation of key competencies in biology.

Key words: modelling, biological education, didactic methods, visualisation, interactive technologies, competency-based approach.

Постановка проблеми. Розвиток сучасної освіти висуває перед викладачем біології завдання не лише передавати знання, а й формувати у здобувачів освіти вміння аналізувати, узагальнювати, робити висновки та бачити взаємозв'язки між явищами. Це особливо актуально в біологічних дисциплінах, де об'єкти вивчення часто мають складну будову, функціональну організацію та динаміку. Метод моделювання виявляється ефективним інструментом для розв'язання цих завдань, адже дозволяє створювати спрощені образи складних біологічних систем, процесів або структур. Його впровадження є не лише науковою, а й практичною необхідністю для підвищення якості навчання, розвитку просторового мислення, формування наукової картини світу та підготовки майбутніх фахівців до роботи в біології, медицині, аграрній чи екологічній сферах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема застосування методу моделювання в біологічній освіті активно досліджується як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями. У вітчизняній педагогіці значний внесок у розроблення теоретичних засад моделювання зробила О.М. Пехота [4], яка у своїй праці розглядає моделювання як складову частину сучасних дидактичних технологій і підкреслює його значення для систематизації знань та формування цілісного наукового світогляду здобувачів освіти.

В.І. Загвоздкін [1] наголошує на тому, що моделювання в курсі біології не лише підвищує наочність навчання, а й формує в здобувачів освіти вміння абстрагуватися та узагальнювати біологічні явища, що особливо актуально

під час вивчення мікроскопічних структур чи складних біологічних процесів. Своєю чергою Л.В. Столяренко [5] вказує на моделювання як засіб розвитку пізнавальної активності здобувачів освіти, підкреслюючи, що створення власних моделей стимулює творче мислення та допомагає засвоювати складний матеріал більш глибоко.

У роботах Т.В. Крамарової [2] та О.П. Лещенка [3] розглядається моделювання як засіб розвитку просторового мислення, що особливо важливо у викладанні таких дисциплін, як цитологія, гістологія та ембріологія, де необхідно уявляти об'ємні структури та просторові процеси.

Зарубіжні дослідники також приділяють значну увагу проблемі моделювання в освіті. Зокрема, Дж. К. Гілберт [6] стверджує, що моделі є основним інструментом наукової діяльності та засадами вивчення природничих дисциплін через дослідження. Науковець підкреслює їх роль у поясненні явищ, недоступних безпосередньому спостереженню.

Д.Ф. Трегаст, Г. Чітлборо та Т.Л. Маміяла [10] наголошують на тому, що моделювання не лише допомагає здобувачам освіти уявляти абстрактні біологічні об'єкти та процеси, а й розвиває вміння будувати власні наукові пояснення. Ставлення вчителів до використання моделей у навчанні природничих наук дослідили Р. Джасті та Дж. Гілберт [9] і дійшли висновку, що успішність моделювання значною мірою залежить від підготовки педагогів та їх умінь інтегрувати цей метод в освітній процес. Д. Хестенс [8] розробив методологію моделювання для викладання природничих дисциплін, підкреслюючи, що

моделювання має стати не лише дидактичним прийомом, а і способом наукового мислення, що необхідно формувати в здобувачів освіти.

Особливу увагу привертають роботи Дж. Гоберта і Б.К. Баклі [7], які аналізують концепцію модельно-орієнтованого навчання та його вплив на розвиток критичного мислення й розуміння складних наукових концепцій. Вони вважають, що моделі є своєрідним «містком» між абстрактною науковою теорією та розумінням здобувачів освіти.

Попри значний обсяг наукових напрацювань, залишається не досить висвітленою проблема інтегрованого впровадження моделювання в різні біологічні дисципліни та врахування специфіки кожної з них під час розроблення навчальних моделей. Саме це й зумовлює актуальність подальшого дослідження в цьому напрямку.

Мета статті – проаналізувати особливості впровадження методу моделювання у викладання різних біологічних дисциплін (загальної біології, генетики, цитології, гістології, ембріології, біології індивідуального розвитку), а також окреслити приклади його практичного застосування та педагогічні умови, що забезпечують його ефективність.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сутність методу моделювання під час викладання біологічних дисциплін полягає у створенні та використанні спрощених, умовних або штучних образів біологічних об'єктів, процесів чи явищ з метою глибшого розуміння їх будови, функцій, взаємозв'язків і динаміки.

Метод моделювання дає змогу: візуалізувати невидимі або абстрактні біологічні структури (наприклад, будову клітини, молекулярні механізми спадковості); спростити складні процеси (наприклад, ембріональний розвиток, колообіги речовин у природі); виявляти та пояснювати закономірності й взаємозв'язки в біологічних системах; розвивати критичне, логічне й просторове мислення у здобувачів освіти; створювати умови для активного навчання через власне конструювання моделей, аналіз та інтерпретацію отриманих результатів.

У біологічних дисциплінах моделювання є надзвичайно важливим, адже значна частина об'єктів і процесів або недоступна безпосередньому спостереженню (наприклад, моле-

кулярні рівні організації життя), або надто складна для одночасного охоплення й осмислення без використання спрощених образів.

Таким чином, метод моделювання виступає ключовим інструментом для формування цілісної наукової картини світу та розвитку пізнавальної активності здобувачів освіти в процесі вивчення біології.

Використання методу моделювання у викладанні біологічних дисциплін (загальної біології, генетики, цитології, гістології, ембріології, біології індивідуального розвитку) вимагає дотримання певних педагогічних умов, що забезпечують його ефективність. До таких умов належать: опора на принцип наочності та доступності (моделі мають бути простими для сприйняття, відповідати віковим та інтелектуальним особливостям здобувачів освіти. Наприклад, у загальній біології – це прості моделі екосистем; у цитології – спрощені моделі органел клітини); поєднання матеріальних (просторових) і віртуальних моделей (важливо комбінувати реальні (макети, муляжі, схеми) та цифрові (3D-анімації, віртуальні лабораторії) моделі. Наприклад, під час вивчення ембріології спершу варто показати макет стадій розвитку зародка, а потім – анімацію морфогенезу); поступове ускладнення моделей (моделі слід вводити від простих до складних, формуючи в здобувачів освіти цілісну картину явищ чи процесів, наприклад, у генетиці: спершу – моделі однофакторного схрещування, потім – багатофакторні схеми спадковості); залучення здобувачів освіти до створення власних моделей (самостійне конструювання моделей стимулює творче та дослідницьке мислення, дозволяє краще засвоїти навчальний матеріал. У гістології здобувачі освіти можуть власноруч створювати моделі різних типів тканин із паперу чи пластиліну); інтеграція моделювання з іншими методами навчання (моделювання доцільно поєднувати з методом проблемного навчання, дослідницькими проектами, експериментами. Наприклад, у біології індивідуального розвитку – здобувачі освіти моделюють вплив зовнішніх факторів на онтогенез у вигляді проекту); організація рефлексії та обговорення результатів моделювання (важливо обговорювати моделі, аналізувати їх точність, відповідність біологічним реаліям, формувати критичне мислення).

Після моделювання родоходу в генетиці здобувачі освіти мають обґрунтувати свій висновок про тип успадкування); адаптація моделювання до конкретної біологічної дисципліни (у кожній дисципліні моделі мають урахувати специфіку об'єктів і процесів: загальна біологія – моделі екосистем, біогеохімічних циклів; генетика – родовідні схеми, решітка Пеннета; цитологія – 3D-моделі клітинних органел; гістологія – макети тканин, мікропрепарати; ембріологія – моделі стадій розвитку зародка; біологія індивідуального розвитку – моделі органогенезу, регенерації); урахування технічних і матеріальних можливостей закладу освіти (обладнання кабінету, наявність мультимедійних засобів, програмного забезпечення значно впливають на якість реалізації методу. Якщо немає комп'ютерної техніки, можна використовувати прості паперові чи пластикові моделі); стимулювання інтересу та мотивації здобувачів освіти (використання моделювання має бути емоційно захопливим, створювати ситуації відкриття нового знання. Наприклад, у цитології створення «живої» моделі транспорту через мембрану стає справжньою грою й експериментом).

Таким чином, дотримання педагогічних умов під час упровадження методу моделювання у викладанні біологічних дисциплін забезпечує не лише ефективне засвоєння знань, а й формує дослідницькі навички, розвиває критичне та просторове мислення здобувачів освіти.

Метод моделювання передбачає створення аналогів реальних об'єктів чи процесів – від спрощених схем до складних комп'ютерних симуляцій. Особливості його застосування відрізняються залежно від конкретної біологічної дисципліни. Розглянемо це детальніше.

Загальна біологія. У загальній біології метод моделювання слугує потужним засобом ілюстрації складних біосистемних взаємозв'язків. Наприклад: моделі екосистем – учитель створює настільну або комп'ютерну модель лісової чи водної екосистеми, де показує взаємозв'язки між організмами (хижак – жертва, паразит – хазяїн, конкуренція) та колообіг речовин; моделі ланцюгів живлення – моделюються трофічні рівні, де здобувачі освіти розподіляють організмів на продуцентів, консументів і редуцентів; моделі біогео-

хімічних циклів – використання кольорових стрілок і блоків для демонстрації колообігу води, вуглецю, азоту.

Такі моделі допомагають здобувачам освіти зрозуміти цілісність і динамічність біосфери.

Генетика. Генетика належить до дисциплін із високим рівнем абстракції. Тут моделювання стає незамінним, зокрема: родовідні схеми – створення схем успадкування ознак у сім'ях. Здобувачі освіти тренуються визначати тип спадкування (аутосомно-домінантне, аутосомно-рецесивне тощо); генетична решітка Пеннета – моделювання схрещувань організмів із різними генотипами. Здобувачі освіти заповнюють клітини таблиці й прогнозують розщеплення ознак; моделі хромосомних мутацій – виготовлення паперових чи комп'ютерних моделей, які показують делеції, інверсії, дуплікації чи транслокації в хромосомах; віртуальні лабораторії – програми типу «Dragon Genetics», де здобувачі освіти «схрещують» віртуальних тварин і аналізують результати.

Такі моделі значно полегшують розуміння молекулярної основи спадковості та механізмів генетичної мінливості.

Цитологія. Цитологія вивчає будову і функції клітини, що часто вимагає тривимірного уявлення: 3D-моделі клітини – виготовлення макетів із пластиліну або використання програм на кшталт CellCraft чи BioDigital Human; моделювання мембранного транспорту – створення рухомих моделей, які показують механізми дифузії, осмосу, активного транспорту; моделі органел – здобувачі освіти виготовляють моделі мітохондрій, апарату Гольджі, ендоплазматичної сітки тощо, що дозволяє детальніше зрозуміти їх будову та функції. Наприклад, виготовлена модель рибосоми з пластику і дроту дозволяє показати місця приєднання м-РНК і т-РНК під час синтезу білка.

Гістологія. У гістології моделювання застосовується для вивчення будови тканин, де особливо важлива візуалізація дрібних структур: об'ємні моделі тканин – макети епітелію, м'язової чи нервової тканини. Наприклад, модель війчастого епітелію з позначенням базальної мембрани та війок; віртуальні мікроскопи – програми, які дозволяють збільшувати гістологічні препарати та вивчати деталі тканин; схеми гістологічних структур – створення

схем, де кольорами виділяють різні клітини або шари тканин.

У результаті здобувачі освіти легше розрізняють гістологічні типи тканин та їх особливості завдяки моделюванню.

Ембріологія. В ембріології моделювання є критично важливим через складність динамічних процесів розвитку: моделі стадій ембріонального розвитку – виготовлення макетів гастрული, бластули, нейрули тощо. Наприклад, модель бластули у вигляді кулі з порожниною бластоцелю; схеми морфогенезу – послідовні малюнки, які показують розвиток органів або систем; анімації розвитку зародка – демонстрація динаміки процесів поділу клітин, гастрულляції, органогенезу; віртуальні ембріологічні лабораторії – цифрові симуляції розвитку ембріонів різних тварин. Завдяки такому моделюванню здобувачі освіти краще розуміють послідовність і взаємозв'язок ембріональних подій.

Біологія індивідуального розвитку охоплює вивчення онтогенезу, росту й регенерації організму: моделі органогенезу – здобувачі освіти створюють моделі розвитку органів людини, наприклад, серця або мозку; схеми гормональної регуляції – моделювання складних ланцюгів між ендокринними залозами й органами-мішенями; моделі процесів регенерації – демонстрація відновлення тканин у планарій чи саламандр; інтерактивні програми – симуляції росту організмів залежно від впливу факторів середовища (температури, світла, гормонів). Моделювання допомагає здобувачам освіти пов'язати морфологічні зміни з фізіологічними процесами та умовами навколишнього середовища.

Пропонуємо методичні рекомендації щодо впровадження методу моделювання у викладання біологічних дисциплін: дотримуйтеся принципу наочності та доступності (вибирайте моделі, зрозумілі здобувачам освіти конкретного віку й рівня підготовки, уникайте надто складних моделей на початкових етапах навчання); поєднуйте різні види моделювання (використовуйте матеріальні моделі (макети, муляжі, плакати) та цифрові (3D-анімації, інтерактивні програми)). Приклади: у гістології: спершу показати макет тканини, потім – збільшення зрізу на віртуальному мікроскопі. В ембріології: макети стадій розвитку зародка

+ відеоанімація гаструлляції); використовуйте моделювання як засіб активного навчання (залучайте здобувачів освіти до створення власних моделей, адже це активізує мислення та сприяє кращому запам'ятовуванню матеріалу. Приклади: створення моделі ланцюга живлення в екосистемі (загальна біологія); виготовлення моделі будови хромосоми з підручних матеріалів (генетика); поєднуйте моделювання з іншими методами навчання (використовуйте моделі в контексті проблемного навчання, дослідницьких завдань, експериментів. Приклади: поставити проблему: «Яким чином дефекти будови мембрани можуть впливати на функції клітини?» (цитологія). Здобувачі освіти моделюють мембрану з підручних матеріалів, пояснюючи наслідки пошкоджень. В ембріології слід запропонувати здобувачам освіти змодельовати розвиток органа й обґрунтувати, які фактори впливають на цей процес); дозуйте кількість і складність моделей (не перевантажуйте заняття великою кількістю моделей. Краще кілька ретельно підібраних прикладів, які чітко ілюструють основну ідею. Рекомендовано: 2–4 моделі на лекції чи практичному занятті в закладі вищої освіти); пояснюйте зміст моделі та її межі (пояснюйте здобувачам освіти, що модель – це спрощене відображення реальності, яке має обмеження. Обговорюйте, які елементи реального об'єкта чи процесу в моделі опущені або спрощені); організовуйте рефлексію та аналіз моделей (обов'язково аналізуйте моделі разом зі здобувачами освіти. Запитуйте: що відображає модель? Які процеси чи структури залишилися поза моделлю? Як модель допомогла зрозуміти матеріал?); враховуйте специфіку кожної біологічної дисципліни (у загальній біології моделюйте: екосистеми та біогеохімічні цикли (настільні або мультимедійні моделі); ланцюги живлення (малюнки, аплікації); популяційні процеси (моделі із використанням графіків); у генетиці використовуйте: решітку Пеннета для моделювання схрещувань; родовідні схеми для аналізу спадкових ознак; моделі хромосом для вивчення мутацій; у цитології: виготовлення об'ємних моделей клітини; віртуальні моделі мембранного транспорту; моделювання органел клітини (наприклад, мітохондрії, апарату Гольджі); у гістології використовуйте: макети тканин (епітеліальна, м'язова, нервова); циф-

рові мікроскопи для перегляду мікропрепаратів; схеми, які показують шарувату будову тканин; в ембріології застосовуйте: моделі стадій ембріонального розвитку; анімації, що показують розвиток органів; створення послідовних схем морфогенезу; у біології індивідуального розвитку моделюйте: розвиток органів і систем організму, регенераційні процеси в різних тварин, вплив факторів середовища на онтогенез); підбирайте засоби моделювання з урахуванням технічних можливостей (якщо є мультимедійне обладнання – використовуйте цифрові моделі, віртуальні лабораторії. Якщо немає технічної бази – настільні макети, схеми, малюнки); використовуйте моделювання для розвитку компетентностей (моделі сприяють: розвитку критичного мислення, формуванню вміння працювати з інформацією, розвитку дослідницьких умінь, навчанню аргументовано пояснювати біологічні явища).

Таким чином, метод моделювання є універсальним інструментом для біологічної освіти. Його успішне впровадження залежить від ретельної підготовки викладача, грамотного

підбору моделей та активної взаємодії зі здобувачами освіти.

Висновки. Метод моделювання має значний потенціал у викладанні біологічних дисциплін. Він перетворює навчання на активний і дослідницький процес, сприяє розвитку просторового, абстрактного та системного мислення. Найбільш ефективним виявляється поєднання матеріальних та цифрових моделей, залучення здобувачів освіти до створення власних моделей і використання моделювання як методу дослідження.

Подальші розвідки в цьому напрямі варто спрямувати на: створення інтерактивних цифрових ресурсів для моделювання біологічних процесів; дослідження впливу моделювання на формування ключових компетентностей; розроблення методичних рекомендацій для різних освітніх рівнів щодо інтегрованого застосування моделювання в біологічній освіті.

Таким чином, метод моделювання є дієвим інструментом формування сучасної біологічної грамотності, без якої неможлива підготовка конкурентоспроможного фахівця в галузі біології, медицини чи суміжних наук.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Загвоздкін В.І. Метод моделювання у шкільному курсі біології. *Біологія і хімія в школі*. 2012. № 5. С. 14–19.
2. Крамарова Т.В. Використання методів моделювання у навчанні біології. *Біологія і хімія в сучасній школі*. 2016. № 11. С. 2–7.
3. Лещенко О.П. Роль моделей у формуванні просторового мислення учнів. *Біологія і хімія в школі*. 2017. № 4. С. 10–15.
4. Пехота О.М. Сучасні дидактичні технології: теорія та практика навчання. Київ : А.С.К., 2011. 256 с.
5. Столяренко Л.В. Моделювання як засіб розвитку пізнавальної активності учнів. *Педагогічний процес: теорія і практика*. 2014. № 2. С. 58–62.
6. Gilbert J. K. Models and modelling in science education: a critical review of research. *Studies in Science Education*. 2004. Vol. 40. P. 49–97.
7. Gobert J. D., Buckley B.C. Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*. 2000. Vol. 22(9). P. 891–894.
8. Hestenes D. Modeling methodology for physics teachers. *The Physics Teacher*. 1987. Vol. 25(5). P. 305–312.
9. Justi R., Gilbert J. Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*. 2002. Vol. 24(12). P. 1273–1292.
10. Treagust D. F., Chittleborough G., Mamiala T.L. The role of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*. 2002. Vol. 24(4). P. 357–368

REFERENCES:

11. Kramarova, T. V. (2016). Vykorystannia metodiv modeliuvannia u navchanni biolohii [The use of modelling methods in biology teaching]. *Biolohiia i khimiia v suchasni shkoli – Biology and Chemistry in Modern School*, 11, 2–7. [in Ukrainian].
12. Leshchenko, O. P. (2017). Rol modelei u formuvanni prostorovoho myslennia uchniv [The role of models in developing students' spatial thinking]. *Biolohiia i khimiia v shkoli – Biology and Chemistry at School*, 4, 10–15. [in Ukrainian].

13. Piekhota, O. M. (2011). *Suchasni dydaktychni tekhnologii: teoriia ta praktyka navchannia* [Modern didactic technologies: theory and practice of teaching]. Kyiv: A.S.K. [in Ukrainian].
14. Stoliarenko, L. V. (2014). Modeliuvannia yak zasib rozvytku piznavalnoi aktyvnosti uchniv [Modelling as a means of developing students' cognitive activity]. *Pedahohichnyi protses: teoriia i praktyka – Pedagogical Process: Theory and Practice*, 2, 58–62. [in Ukrainian].
15. Zahvozdkin, V. I. (2012). Metod modeliuvannia u shkilnomu kursi biolohii [The modelling method in the school biology course]. *Biolohiia i khimiia v shkoli – Biology and Chemistry at School*, 5, 14–19. [in Ukrainian].
16. Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling in science education: A critical review of research. *Studies in Science Education*, 40, 49–97. [in English].
17. Gobert, J. D., & Buckley, B.C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891–894. [in English].
18. Hestenes, D. (1987). Modeling methodology for physics teachers. *The Physics Teacher*, 25(5), 305–312. [in English].
19. Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273–1292. [in English].
20. Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). The role of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368. [in English].

Дата надходження статті: 07.07.2025

Дата прийняття статті: 09.08.2025

Опубліковано: 27.10.2025