

УДК 373.5:57:004.9

DOI <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-4.04>

## ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ДИДАКТИЦІ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН

**Дороніна Тетяна Олексіївна**

доктор педагогічних наук, професор,  
професор кафедри педагогіки  
Криворізького державного педагогічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-3990-7959  
Researcher ID: E-1736-2019

**Ахматова Наталія Олександрівна**

аспірантка кафедри педагогіки  
Криворізького державного педагогічного університету  
ORCID ID: 0009-0004-6923-3416

*Статтю присвячено проблемі інтеграції інноваційних підходів до моделювання біологічних процесів у дидактику природничих дисциплін в умовах цифрової трансформації освіти. Розглянуто ключові аспекти впровадження комп'ютерних симуляцій і моделей у навчальний процес, які значно підвищують ефективність засвоєння складних біологічних явищ і стимулюють активну участь учнів у дослідницькій діяльності. Висвітлено важливість біологічної освіти в умовах глобальних екологічних, соціальних і технологічних викликів, зокрема в контексті війни та післявоєнної відбудови, коли питання екологічної відповідальності та збереження здоров'я людини стають критичними. Зроблено огляд сучасних методик моделювання, що включають використання математичних моделей для прогнозування розвитку популяцій, а також моделі взаємодії популяцій. Вказано на роль статистичних методів у вивченні варіаційних параметрів, кореляційних і регресійних залежностей у біології, що значно розширює можливість аналітичної діяльності учнів. Відзначено також інші інноваційні інструменти, як-от використання віртуальних лабораторій, електронних підручників, мультимедійних засобів навчання, які підвищують інтерактивність і доступність освітнього процесу. Висвітлено переваги таких технологій, проте вказано на їхні недоліки, зокрема зменшення рівня комунікації між суб'єктами навчання, залежність від технічних ресурсів і ризик зниження точності під час віртуальних експериментів. Акцентовано на важливості поєднання традиційних експериментів із комп'ютерним моделюванням для досягнення комплексного підходу у вивченні біологічних процесів, що дає можливість більш глибокого розуміння предмета. Відзначено потребу в належній методичній підтримці та підготовці педагогів для ефективного впровадження інноваційних технологій у процес навчання. Вказано на значення розвитку міжпредметних зв'язків, зокрема між біологією та математикою, через використання електронних таблиць і автоматизованих розрахунків у навчанні.*

*Зроблено висновок, що подальші дослідження мають зосереджуватися на вивченні впливу інноваційних технологій на когнітивний розвиток учнів, формування критичного мислення й екологічної свідомості, а також на вдосконаленні методик для забезпечення доступності комп'ютерного моделювання в різних навчальних умовах, включаючи дистанційне та гібридне навчання.*

**Ключові слова:** природнича освіта, природничі науки, інноваційні підходи, моделювання біологічних процесів, дидактика природничих дисциплін.

**Doronina T. O., Akhmatova N. O. Innovative approaches to modelling biological processes and their application in the didactics of natural sciences**

*The article is devoted to the integration of innovative approaches to the modeling of biological processes into the didactics of natural sciences in the context of digital transformation in education. Key aspects of implementing computer simulations and models into the learning process are considered, which significantly enhance the effectiveness of mastering complex biological phenomena and encourage active student participation in research activities. The importance of biological education under global ecological, social, and technological challenges is highlighted, particularly in the context of war and post-war recovery, where issues of environmental responsibility and human health preservation become critical. A review of modern modeling methods is presented, including the use of mathematical models for population development forecasting and population interaction models. The role of statistical methods in studying variation parameters, correlation, and regression dependencies in biology is emphasized, significantly expanding students'*

*analytical capabilities. Other innovative tools are also noted, such as virtual laboratories, electronic textbooks, and multimedia learning tools that increase the interactivity and accessibility of the educational process. The advantages of these technologies are outlined, yet their drawbacks are also indicated, such as reduced communication levels between participants, dependence on technical resources, and the risk of decreased accuracy in virtual experiments. The article emphasizes the importance of combining traditional experiments with computer modeling to achieve a comprehensive approach to studying biological processes, allowing for a deeper understanding of the subject. The need for adequate methodological support and teacher training for the effective implementation of innovative technologies in the educational process is highlighted. The significance of developing interdisciplinary connections, particularly between biology and mathematics, through the use of electronic spreadsheets and automated calculations in teaching, is emphasized.*

*It is concluded that future research should focus on studying the impact of innovative technologies on students' cognitive development, critical thinking formation, and ecological awareness, as well as improving methods to ensure the accessibility of computer modeling in various learning environments, including distance and hybrid learning.*

**Key words:** *natural education, natural sciences, innovative approaches, modelling of biological processes, didactics of natural disciplines.*

**Постановка проблеми.** Інтеграція України у світовий освітній простір потребує від системи освіти високих стандартів якості, здатності адаптуватися до нових інформаційних і комунікаційних технологій, а також розвивати творчі здібності та критичне мислення учнів. Науковці вказують, що одним із важливих аспектів трансформації є зміна парадигми навчання з передання знань на розвиток компетентностей, що вимагає сучасний ринок праці та глобальні виклики, як-от екологічні, соціальні та технологічні зміни. Однак, незважаючи на активні спроби реформування, воєнні дії й економічна нестабільність значно ускладнюють цей процес. Як підкреслюють дослідники, ці виклики створюють бар'єри для впровадження реформ, знижують їхню ефективність і здатність до системного впливу на якість освіти. Зважаючи на те, що проблеми екологічної кризи, здоров'я людини та гармонійного розвитку суспільства стають першочерговими як у період бойових дій, так і після їх завершення, природничі дисципліни, зокрема біологія, мають стати основним компонентом загальної середньої освіти. Вони відіграють важливу роль у формуванні екологічної та соціальної відповідальності нових поколінь, здатних відповідати на глобальні виклики сучасності.

У сучасній педагогічній практиці природничих наук дедалі більше уваги приділяється впровадженню інноваційних методів навчання, спрямованих на підвищення ефективності засвоєння знань учнями. Одним із ключових підходів, який привертає увагу науковців і педагогів, є використання моделей біологічних процесів як інструменту для пояснення складних природних явищ. Моделювання дозволяє візуалізувати, аналізувати та прогнозувати різноманітні біологічні процеси, що надає можливість учням не лише теоретично засвоювати матеріал, а й отримувати практичний досвід взаємодії із природними системами. Отже,

посилення уваги науковців до вивчення проблеми інноваційних підходів у моделюванні біологічних процесів зумовлено суспільними запитами на вдосконалення освітнього процесу, а також пошуком нових дієвих теоретичних і практичних розробок у дидактиці природничої освіти.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Моделювання як метод науково-практичного пізнання світу має глибоке історичне коріння. Початок систематизації моделей пов'язують з роботами таких науковців, як К. Пірсон, У. Госсет, Г. Фішер, К. Шеннон і Дж. Сімпсон. Вони заклали основи сучасних уявлень про моделі як інструмент для вивчення складних біологічних процесів. За допомогою статистичних методів і математичних розрахунків дослідники вивчали особливості біологічних систем і заклали підґрунтя для розвитку комп'ютерного моделювання, що стало одним із важливих інструментів для дослідження природничих наук.

Комп'ютерне моделювання нині розглядається як інноваційний метод навчання природничих дисциплін. М. Постумент та І. Грод [7] підкреслюють значущість використання таких підходів у підготовці майбутніх педагогів і зазначають, що комп'ютерне моделювання забезпечує ефективний відбір, систематизацію та передачу знань, що відповідає вимогам сучасної освіти. Загалом метод сприяє розвитку ключових компетентностей у студентів, зокрема аналітичного мислення та практичних навичок. Подальші дослідження, зокрема праці Ю. Прилуцького та С. Костеріна [9], зосереджені на вивченні біологічних моделей як у базовому, так і в оригінальному контексті. Вони проводять глибокий аналіз моделей популяційної біології за допомогою методів математичного моделювання та статистики. Науковці також висвітлюють принципи побудови та класифікацію моделей, що є фундаментальним аспектом вивчення складних біологічних процесів. На

значення сучасних тенденцій цифровізації освіти звертають увагу О. Ковтунович і С. Бабич [4], які відзначають, що успіх цифрової трансформації освітнього процесу в Україні залежить від інтеграції науково-технічних досягнень, підкреслюють важливість створення сприятливих умов для розвитку цифрових компетентностей майбутніх педагогів, що стає одним із ключових аспектів підготовки висококваліфікованих спеціалістів. На думку В. Бикова [1], освітня система має адаптуватися до сучасних соціальних змін через упровадження нових педагогічних моделей, що можливе за умов «відкритої освіти», що сприяє рівному доступу до знань та інтегрує сучасні педагогічні технології. Оновлення освітніх систем стає невід'ємною частиною загальної тенденції глобалізації, що потребує нових підходів до організації навчального процесу, зокрема дистанційного навчання. У світлі воєнних подій і цифрової трансформації освітнього процесу Т. Гедзур, В. Белчгазі, П. Вайда [2] аналізують специфіку навчання біології в онлайн-форматі, виявляють переваги та недоліки дистанційного навчання, а також характеризують найпоширеніші цифрові інструменти, що використовуються для навчання біології. І. Упатова, О. Дехтярьова й І. Каденко [10] досліджують вплив комп'ютерних симуляцій на навчання природничих дисциплін, зазначають, що симуляції сприяють глибшому розумінню складних біологічних процесів і допомагають студентам краще засвоювати матеріал.

Отже, аналіз згаданих вище робіт науковців демонструє зацікавленість наукової спільноти проблемами моделювання саме у природничій (біологічній) галузі, дає підстави стверджувати, що моделювання є потужним інструментом для вивчення природничих дисциплін, а комп'ютерне моделювання є важливим елементом підготовки висококваліфікованих фахівців. І попри багатогранні та масштабні праці науковців, можемо констатувати, що тема комп'ютерного моделювання біологічних процесів та її застосування в дидактиці природничих дисциплін залишається актуальною для сучасної педагогічної науки і практики, оскільки інтегрує сучасні технології моделювання та методи навчання для покращення освітнього процесу.

**Мета статті** – окреслити інноваційні підходи до моделювання біологічних процесів і їх упровадження в дидактику природничих дисциплін для підвищення якості навчання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Біологія як навчальна дисципліна традиційно вважається однією з найбільш складних для засвоєння через високий рівень абстракції, пов'язаний із візуалізацією біологічних процесів, які часто є складними для розуміння, а також через значну термінологічну базу та наявність міждис-

циплінарних зв'язків, що вимагають глибокого засвоєння. Означені аспекти суттєво впливають на організацію освітнього процесу, створюють виклики для вчителів біології у виборі найбільш ефективних методів навчання, які будуть однаково результативними як в очному, так і в дистанційному форматах. Дидактика природничих дисциплін традиційно використовує усталені методи навчання, проте вони постійно зазнають змін у відповідь на сучасні освітні реалії, відображаючи потреби нового часу. Тому надзвичайно важливим є постійне впровадження інноваційних підходів до вивчення та моделювання біологічних процесів.

В умовах сучасної освіти електронні технології стають невід'ємною складовою частиною, а онлайн-навчання – найпоширенішим і найефективнішим підходом. Електронні підручники, відеоуроки, мультимедійні засоби навчання та віртуальні лабораторії – це лише окремі приклади інтерактивних цифрових технологій, які здатні забезпечити ефективну інформаційну взаємодію між усіма суб'єктами освітнього процесу. Проте для успішного переходу на дистанційне навчання необхідно не лише відповідне технічне оснащення, але й навчально-методична підтримка й адаптовані дидактичні матеріали, які відповідають сучасним вимогам освіти.

Можемо впевнено стверджувати, що цифрові технології й інноваційні підходи у викладанні є неодмінною складовою частиною сучасної освітньої діяльності, яка вимагає новітніх педагогічних ідей і вдосконалення наявних методик, для розвитку інтелектуальних і творчих здібностей здобувачів освіти. Серед розмаїття ефективних методів навчання біології, на нашу думку, важливе місце посідає використання методів комп'ютерного моделювання біологічних явищ і об'єктів і комп'ютерні симуляції.

Передусім зазначимо, що сучасна педагогічна наука й освітня практика [5] пропонують різні підходи до класифікації моделей: предметні, знакові, ігрові, науково-технічні, життєві, художні, статичні та динамічні. Моделі застосовуються для експериментальних, дослідницьких і навчальних цілей, коли робота з оригіналом неможлива або недоцільна. У біології моделювання часто використовується для вивчення складних або недосяжних явищ, як-от еволюційні або екологічні процеси. Моделювання біологічних систем є активним навчальним методом, що передбачає створення моделей біогеоценозів, клітин і органів. Предметні моделі охоплюють матеріальні об'єкти, як-от муляжі або гербарії, а знакові – схеми, графіки та комп'ютерні симуляції, що полегшують розуміння складних процесів.

Біологія як частина природничих наук вимагає комплексного підходу до вивчення, що передба-

чає використання як традиційних, так і інноваційних методів, зокрема моделювання біологічних процесів. Традиційне моделювання базувалося на використанні фізичних макетів, які дозволяли учням безпосередньо ознайомитися з будовою клітин, органів, систем організмів і екосистем. Макети виготовлялися з різноманітних матеріалів, як-от пластик, дерево або гіпс, і відтворювали анатомічні або морфологічні особливості біологічних об'єктів у збільшеному масштабі. Такі моделі, разом із таблицями, схемами та муляжами, сприяли кращому запам'ятовуванню матеріалу, забезпечували наочність і створювали в учнів конкретне уявлення про вивчені об'єкти. Наприклад, макети внутрішніх органів тварин чи людини давали можливість учням зрозуміти взаємозв'язки та функціонування різних систем організму. Традиційне моделювання також включало створення гербаріїв і муляжів рослин, що полегшувало вивчення їхніх морфологічних ознак. Однак, попри значні досягнення у використанні цих методів, їхня обмеженість полягала в тому, що вони не завжди могли відобразити динамічні процеси, як-от обмін речовин, циркуляція крові або взаємодія видів в екосистемах. Отже, традиційні моделі залишаються важливим компонентом навчання біології, оскільки вони забезпечують учням можливість візуалізувати об'єкти, які часто важко уявити в реальному масштабі. Але саме обмеження статичних моделей стимулювали розвиток і впровадження інноваційних комп'ютерних підходів, які дозволяють динамічно відтворювати й досліджувати складні біологічні процеси.

Нині значну увагу привертає використання комп'ютерних моделей біологічних процесів, явищ і об'єктів, що відображають сучасні підходи до навчання та їх інтеграції в дидактику природничої освіти. З кожним днем збільшується кількість мобільних додатків і програм, як-от PhET Interactive Simulations, Labster, PrepMagic, BioDigital Human, Zygote Body, Cell Collective, які дозволяють користувачам взаємодіяти з біологічними системами на новому рівні. Програми надають учням і студентам можливість вивчати складні біологічні процеси через віртуальні симуляції й інтерактивні моделі. Зручний і доступний інтерфейс дозволяє легко адаптувати їх до навчального процесу, забезпечує не лише наочність, але й активне залучення до експериментальної діяльності, що робить навчання більш динамічним і захопливим. Комп'ютерна симуляція чи модель зазвичай використовується тоді, коли проведення експерименту в реальних умовах неможливе або недоступне чи становить небезпеку або має високу вартість. Завдяки своїй здатності залучати здобувачів освіти до активної взаємодії та глибокого наукового осмислення ці

технології відкривають нові можливості для ефективного засвоєння навчального матеріалу та стимулюють розвиток пізнавальної діяльності.

Зазначимо, що сучасні технології, зокрема біоінформатика, значно розширили можливості аналізу та моделювання біологічних процесів. Розглянемо приклади моделювання деяких процесів у біології та його практичне застосування.

Володіння навичками роботи зі статистичними методами й електронними таблицями, як-от «Електронні таблиці» або спеціалізовані програми для біостатистики, дозволяє дослідникам проводити глибокі та точні розрахунки. Наприклад, моделювання варіаційних параметрів у біології за допомогою критерію Ст'юдента надає можливість оцінювати різницю між двома групами даних і використовувати ці знання для дослідження змін у популяціях або ефектів окремих чинників на біологічні системи.

Кореляційний аналіз із застосуванням критерію Фішера дозволяє вивчати взаємозв'язок між різними біологічними змінними, наприклад, під час проведення аналізу зв'язку між середовищем існування і фізіологічними характеристиками організмів. Регресійний аналіз, який широко застосовується для моделювання різних залежностей у біології, включаючи прогнози щодо зростання або зменшення популяцій, дозволяє оцінювати вплив різних змінних на об'єкти дослідження. Такий підхід є ключовим у розробленні математичних моделей розвитку популяцій.

Наприклад, модель Мальтуса використовується для прогнозування зростання популяцій за відсутності обмежень ресурсів, коли популяція зростає експоненційно. Однак у реальному світі ресурси завжди є обмеженими, і тому модель Ферхульста – Перла (логістична модель) допомагає дослідникам оцінювати, як популяція адаптується до ресурсних обмежень і досягає стабільності.

На окрему увагу заслуговують моделі взаємодії популяцій, як-от модель «Хижак – жертва», або модель Лотки – Вольтерра, які демонструють динаміку взаємозалежних популяцій в екосистемах. За допомогою цих моделей можна оцінити складні взаємодії між хижаками та їхніми жертвами, що є надзвичайно важливим для розуміння стійкості екосистем і біологічного розмаїття.

Отже, поєднання біоінформатики та статистичних методів моделювання відкриває нові можливості для вивчення та прогнозування біологічних процесів, що робить дослідження більш глибокими і точними, а результати – корисними для практичного застосування в біології, екології й інших суміжних науках.

Водночас додамо, що побудова таких біологічних моделей має враховувати математичний складник цих моделей, а тому важливо, щоб учитель біології був математично грамотним й обізна-

ним у математичних розрахунках. Застосування саме таких підходів до моделювання біологічних процесів дає можливість зміцнити міжпредметні зв'язки між біологією та математикою, а також вдосконалити вміння здобувачів користуватись електронними таблицями, здійснювати автоматизовані розрахунки, побудувати графіки за отриманими результатами. На нашу думку, саме такий підхід до моделювання біологічних процесів можна назвати інноваційним, бо це комплексний і різнобічний підхід до вивчення біологічних явищ.

Варто окреслити ще один інноваційний підхід до вивчення біологічних процесів і його практичне застосування в дидактиці природничих дисциплін – метод комп'ютерних симуляцій, який дедалі активніше впроваджується в освітню сферу. Комп'ютерні симуляції дозволяють учням моделювати складні біологічні системи та процеси у віртуальному середовищі, забезпечують глибше розуміння динаміки живих організмів і екосистем. Вони також сприяють формуванню навичок критичного мислення й експериментального підходу, що робить навчальний процес інтерактивнішим і захопливішим, особливо в умовах дистанційного навчання. Створення, опанування та використання таких технологій залежать від методичних навичок і підходів, якими користується вчитель під час проведення занять різного типу: вивчення нового матеріалу, проведення лабораторних чи практичних занять, здійснення контрольної діяльності.

На нашу думку, використання комп'ютерних моделей і симуляцій у процесі вивчення біології відкриває численні можливості для ефективнішого навчання. По-перше, їхня наочність дозволяє здобувачам освіти легше засвоювати складні концепції, що є особливо важливим для опанування абстрактних біологічних процесів, як-от механізми клітинного поділу, еволюційні адаптації чи функціонування екосистем. По-друге, комп'ютерні симуляції надають учням можливість не лише переглядати модель, але й активно втручатися в її розвиток, створювати власні моделі, маніпулювати параметрами експерименту та змінювати умови перебігу дослідів. Такий підхід дозволяє моделювати складні процеси, як-от природний добір, експресія генів, мембранний транспорт або хімічні реакції на рівні молекул, тим самим надає учням контроль над процесами, які неможливо безпосередньо спостерігати в реальних умовах.

Інтерактивні можливості не тільки підвищують зацікавленість учнів, але й стимулюють до глибшого розуміння науки через експерименти, що допомагає формувати навички дослідницької діяльності. Наприклад, учні можуть самостійно моделювати сценарії природного добору, змінювати екологічні чинники, створювати симуляції

молекулярних взаємодій у біохімічних процесах, що розширює їхнє бачення та розуміння біологічних закономірностей. Такі інструменти сприяють розвитку критичного мислення, креативності та мотивації до проведення власних досліджень і практичних експериментів.

Варто звернути увагу на те, що ігрові елементи, які легко інтегрувати в освітній процес, особливо в умовах дистанційного навчання, відіграють важливу роль у формуванні мотивації до вивчення природничих наук. Ігровий підхід створює динамічне та залучене середовище, що сприяє активізації пізнавальної діяльності учнів і студентів. Цей аспект наголошує Л. Поштарук, яка зазначає, що використання дидактичних ігор у процесі вивчення біології «підвищує рівень пізнавальної діяльності в усіх її аспектах: від пізнавальної активності та самостійності до ініціативності, повноти й мобільності знань» [8, с. 134]. Однак дидактичні ігри є лише одним із багатьох інструментів активізації пізнавальної діяльності. Ефективність навчання залежить від того, як учитель або викладач підбирає й комбінує різні методи та прийоми, урахувавши специфіку групи учнів або студентів і їхні освітні потреби. Правильний вибір інструментів, їхнє дозування та доцільність використання безпосередньо впливають на успішність засвоєння матеріалу, а також на зацікавленість і активність здобувачів освіти

Попри очевидні переваги комп'ютерних моделей і симуляцій, важливо зазначити, що вони не можуть цілком замінити реальні експерименти, які проводяться з використанням справжніх об'єктів і приладів. Віртуальні моделі можуть відігравати лише допоміжну роль у навчальному процесі, доповнювати, але не замінювати практичні дослідження. Найбільш ефективним підходом є поєднання комп'ютерного моделювання з реальними експериментами, що дозволяє здобувачам освіти отримати комплексне розуміння досліджуваних біологічних процесів.

Однак існують окремі недоліки цих технологій. По-перше, використання віртуальних симуляцій може знизити рівень комунікації між суб'єктами освітнього процесу, оскільки акцент переміщується на індивідуальну взаємодію з комп'ютером, що може призвести до ізоляції учнів і зменшення колективного обговорення результатів експериментів. По-друге, точність і уважність під час віртуальних експериментів можуть бути знижені через відсутність фізичної взаємодії з реальними об'єктами, що важливо для розвитку моторних навичок і розуміння деталей. По-третє, використання симуляцій може сприяти виникненню у здобувачів освіти хибного відчуття впевненості в розумінні процесів, оскільки віртуальні експерименти часто спрощують реальні явища або роблять їх надто передбачуваними, що може нега-

тивно вплинути на здатність учнів критично аналізувати результати та робити коректні висновки. По-четверте, для роботи із симуляціями потрібні сучасні комп'ютери та потужне програмне забезпечення, яке не завжди доступне всім учасникам освітнього процесу, що створює нерівність у доступі до таких технологій і може обмежувати їх використання в навчанні. Нарешті, варто відзначити, що комп'ютерні симуляції не завжди здатні цілком передати фізичні та сенсорні аспекти експериментів, як-от робота із живими організмами або лабораторним обладнанням. Відсутність таких навичок може негативно вплинути на підготовку студентів до майбутньої професійної діяльності. Отже, комп'ютерні симуляції мають бути лише частиною загального підходу до навчання, що поєднує в собі як віртуальні, так і реальні експериментальні методи для досягнення найкращих освітніх результатів.

**Висновки.** Цифрові технології й інноваційні методи викладання природничих дисциплін, зокрема біології, стали невід'ємною частиною сучасної освіти, особливо в умовах війни, коли онлайн-навчання набуло особливого значення. Упровадження цих технологій робить процес навчання інтерактивнішим і доступнішим для учнів різного віку, сприяє глибшому розумінню складних біологічних явищ. Інноваційні підходи до моделювання біологічних процесів відкривають нові можливості для вивчення живих систем, розвивають системне мислення та навички аналізу великих обсягів даних.

Використання комп'ютерних моделей і симуляцій під час вивчення біологічних процесів дозволяє не лише покращити засвоєння навчального матеріалу, але й стимулює здобувачів освіти до активного залучення в навчальний процес через експерименти та дослідження. Однак для ефективного впровадження цих технологій необхідні належне навчально-методичне забезпечення та підготовка вчителів. Незважаючи на виклики, як-от зменшення комунікації та потреба в техніч-

них ресурсах, комп'ютерне моделювання та симуляції є перспективним напрямом розвитку освіти, що сприяє підвищенню мотивації й інтеграції міжпредметних зв'язків, зокрема між біологією та математикою.

Перспективи подальших досліджень охоплюють кілька важливих напрямів. Важливо продовжити вивчення впливу інноваційних підходів на ефективність навчання та розвиток когнітивних навичок учнів, що може включати дослідження того, як комп'ютерні моделі та симуляції можуть сприяти більш глибокому розумінню складних біологічних концепцій через інтерактивне навчання. Окрім того, варто розробити нові методичні підходи до інтеграції цих технологій у традиційні освітні процеси, забезпечити водночас баланс між віртуальними та реальними експериментами.

Цікавою перспективою є вдосконалення дидактичних матеріалів, орієнтованих на використання симуляцій і моделей, з урахуванням індивідуальних потреб учнів різних рівнів підготовки. Важливим аспектом є також дослідження методів адаптації цих технологій до різних навчальних умов, як-от дистанційне або гібридне навчання, що дозволить зробити використання комп'ютерних моделей доступнішим для широкого кола учнів і забезпечить їх ефективне застосування незалежно від технічного забезпечення. Також варто звернути увагу на дослідження впливу технологій на розвиток критичного мислення, самостійності та дослідницьких навичок учнів. Особливо актуальним є вивчення ролі інноваційних підходів у формуванні екологічної свідомості та відповідального ставлення до навколишнього середовища. Подальші дослідження можуть зосередитися на розробленні програм підвищення кваліфікації вчителів з акцентом на використанні цифрових технологій у викладанні природничих наук. Важливою є також співпраця між науковими установами та школами для створення інноваційних освітніх платформ, які б підтримували інтеграцію комп'ютерних моделей і симуляцій в освітній процес.

### Література:

1. Биков В. Концептуальна модель організації підготовки висококваліфікованих робітників для високотехнологічних виробництв. *Розвиток педагогічних наук в Україні і Польщі на початку XXI ст.* 2011. С. 284–292. URL: [https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/1169/1/Концептуальна\\_модель\\_організації\\_підготовки.pdf](https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/1169/1/Концептуальна_модель_організації_підготовки.pdf).
2. Аналіз сучасних методів навчання у процесі викладання біології / Т. Гедзур та ін. *Академічні візії.* 2023. Вип. 14. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7774425>.
3. Даниленко Л. Інноваційні технології у профільному навчанні старшокласників : навчально-методичний посібник. Черкаси : Редакційно-видавничий відділ Черкаського ОІПОП. 2015. 92 с. URL: <http://library.ippro.com.ua/attachments/article/401/Інноваційні%20технології.pdf>.
4. Ковтунович О., Бабич С. Комп'ютерне моделювання біологічних процесів, функцій та структур у школі. *Інформаційні технології у професійній діяльності* : матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, 18 листопада 2020 р., м. Рівне. Рівне : РВВ РДГУ, 2020. С. 111–112. URL: <http://repository.rshu.edu.ua/id/eprint/8690/1/Ковтунович%20О.М.%20Бабич%20С.М..pdf>.
5. Майстер-клас «Використання методу моделювання на уроках біології». URL: <http://surl.li/vqispe>.

6. Перерва В. Віртуальна біологічна лабораторія як перспективний напрям фахової підготовки майбутнього вчителя. *Науковий вісник Льотної академії*. Серія «Педагогічні науки». 2019. № 5. С. 401–406.
7. Постумент М., Грод І. Комп'ютерне моделювання як інноваційний метод навчання на природничих факультетах ВНЗ. 2017. URL: <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/10186/1/53Postument.pdf>.
8. Поштарук Л. Інноваційні форми організації навчальної діяльності студентської молоді на заняттях з біології. *Проблеми підготовки сучасного вчителя*. 2014. № 10. Ч. 1. С. 132–137.
9. Прилуцький Ю., Костерін С. Комп'ютерне моделювання в біології : підручник. Київ : Наукова думка, 2024. 196 с.
10. Роль комп'ютерних симуляцій у вивченні біологічних процесів та явищ / І. Упатова та ін. *Перспективи та інновації науки*. 2023. Вип. 12. № 12 (30). С. 495–508.

### References:

1. Bykov, V.Yu. (2011). Kontseptualna model orhanizatsii pidhotovky vysokokvalifikovanykh robotnykiv dlia vysokotekhnologichnykh vyrobnytstv [A conceptual model for organizing the training of highly skilled workers for high-tech industries]. *Rozvytok pedahohichnykh nauk v Ukraini i Polshchi na pochatku KhKhI stolittia – The Development of Pedagogical Sciences in Ukraine and Poland at the Beginning of the Twenty-First Century*, s. 284–292. Retrieved from: [https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/1169/1/Концептуальна\\_модель\\_організації\\_підготовки.pdf](https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/1169/1/Концептуальна_модель_організації_підготовки.pdf) [in Ukrainian].
2. Hedzur, T.I., Belchahazi, V.Y., & Vaida, P.V. (2023). Analiz suchasnykh metodiv navchannia u protsesi vykladannia biolohii [Analysis of modern teaching methods in the process of teaching biology]. *Akademichni vizii – Akademichni vizii*, 14, 2–8. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7774425> [in Ukrainian].
3. Danylenko, L.I. (2015). Innovatsiini tekhnolohii u profilnomu navchanni starshoklasnykiv [Innovative technologies in specialized education of high school students]. Cherkasy: Redaktsiino-vydavnychiy viddil Cherkaskoho OIPOP. Retrieved from: <http://library.ippro.com.ua/attachments/article/401/Інноваційні%20технології.pdf> [in Ukrainian].
4. Kovtunovych, O.M., & Babych, S.M. (2020). Kompiuterne modeliuвання biolohichnykh protsesiv, funktsii ta struktur u shkoli [Computer modeling of biological processes, functions and structures at school]. *Informatsiini tekhnolohii v profesiinii diialnosti : materialy XIII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii 18 lystopada 2020 r. – Information technologies in professional activity: materials of the XIII All-Ukrainian scientific and practical conference 18 November 2020* (pp. 111–112). Rivne: RVV RDHU. Retrieved from: <http://repository.rshu.edu.ua/id/eprint/8690/1/Ковтунович%20О.М.%2С%20Бабич%20С.М..pdf> [in Ukrainian].
5. Maister-klas “Vykorystannia metodu modeliuвання na urokakh biolohii” [Master class “Using the modeling method in biology lessons”]. Retrieved from: <http://surl.li/vqispe> [in Ukrainian].
6. Pererva, V.V. (2019). Virtualna biolohichna laboratoriiia yak perspektyvnyi napriam fakhovoi pidhotovky maibutnoho vchytelia [Virtual biological laboratory as a promising area of professional training of future teachers]. *Naukovyi visnyk Lotnoi akademii*. Seriiia “Pedahohichni nauky” – *Scientific Bulletin of the Flight Academy*. Series “Pedagogical sciences”, 5, 401–406 [in Ukrainian].
7. Postument, M.V., & Hrod, I.M. (2017). Kompiuterne modeliuвання yak innovatsiinyi metod navchannia na pryrodnych fakultetakh [Computer modeling as an innovative teaching method at natural science faculties]. *Suchasni tekhnolohii navchannia u vyshchii ta serednii shkoli – Modern teaching technologies in higher and secondary schools*, 1, 2015–2017. Retrieved from: <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/10186/1/53Postument.pdf> [in Ukrainian].
8. Poshtaruk, L. (2014). Innovatsiini formy orhanizatsii navchalnoi diialnosti studentskoi molodi na zaniattiakh z biolohii [Innovative forms of organizing students' learning activities in biology classes]. *Problemy pidhotovky suchasnoho vchytelia – Problems of training a modern teacher*, 10 (Ch. 1), 132–137 [in Ukrainian].
9. Prylutskyi, Yu.I., & Kosterin, S.O. (2024). Kompiuterne modeliuвання v biolohii [Computer modeling in biology]. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
10. Upatova, I., Dekhtiarova, O., & Kadenko, I. (2023). Rol kompiuternykh symuliatsii u vuvchenni biolohichnykh protsesiv ta yavyshech [The role of computer simulations in the study of biological processes and phenomena]. *Perspektyvy ta innovatsii nauky – Prospects and innovations in science*, 12, 111–112 [in Ukrainian].