МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет фізико-математичної та природничої освіти
Кафедра біології та хімії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

освітній ступінь бакалавр

на тему: **СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ ГЕНЕТИКИ ТА ЇХ ІНТЕГРАЦІЯ У ШКІЛЬНИЙ КУРС БІОЛОГІЇ**

Виконала: студентка ІІІ курсу, зу-33 групи
Пензюр Алла Михайлівна

Освітня програма Середня освіта (Біологія та здоров'я людини. Хімія)

Спеціальності 014.05 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини. Хімія)

Керівник: к.с.-г.н., доц. Заболотна А.В.
Рецензент: к.геогр. н., доц. Безлатня Л.О.

Умань–2026

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ ГЕНЕТИКИ ЯК НАУКОВА ОСНОВА ОНОВЛЕННЯ ШКІЛЬНОГО КУРСУ БІОЛОГІЇ (ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ)	8
1.1. Редагування геному та технологія CRISPR/Cas9 у сучасній генетиці	8
1.2. Епігенетика, персоналізована медицина та фармакогенетика	11
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРАЦІЇ СУЧАСНОЇ ГЕНЕТИКИ У ШКІЛЬНИЙ КУРС БІОЛОГІЇ	13
2.1. Умови та організація дослідження	13
2.2. Методи дослідження й аналізу інформаційних джерел	18
РОЗДІЛ 3 ФОРМИ, МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИВЧЕННЯ СУЧАСНОЇ ГЕНЕТИКИ В ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ	21
3.1. Аналіз форм, методів та засобів вивчення генетики в школі	21
3.2. Шкала аналітичного оцінювання представленості сучасних генетичних тем у шкільних документах	26
3.3. Епігенетика	31
РОЗДІЛ 4. ШЛЯХИ ІНТЕГРАЦІЇ СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ ГЕНЕТИКИ У ШКІЛЬНИЙ КУРС БІОЛОГІЇ	35
4.1. Проблеми й перспективи оновлення змісту шкільної генетики	36
4.2. Етичні аспекти, складність термінології та адаптація сучасних генетичних знань для учнів	41
3.3. Методична розробка уроку з теми дослідження та її впровадження у шкільний курс біології	45
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54

ВСТУП

Стрімкий розвиток молекулярної біології, геноміки, біоінформатики та медичної генетики в останні десятиліття істотно змінив уявлення людства про спадковість, мінливість і механізми функціонування живих систем. Технології редагування геному, аналізу великих генетичних даних, епігенетичні дослідження, фармакогенетичні підходи та синтетична біологія вийшли за межі вузькоспеціалізованої науки й дедалі активніше впливають на медицину, сільське господарство, екологію, біотехнологічне виробництво та суспільну дискусію про межі втручання людини в живу природу. Саме тому сучасна генетика є не лише академічною галуззю знання, а й важливою складовою наукової грамотності громадянина XXI століття [1, 2].

Актуальність теми зумовлена суперечністю між швидкістю оновлення наукових знань у галузі генетики та відносною інерційністю шкільного змісту біології. У шкільній практиці питання спадковості часто подаються переважно через класичні закони Г. Менделя, хромосомну теорію спадковості та базові уявлення про мутації. Такі знання є фундаментальними, однак вони не забезпечують цілісного розуміння тих викликів, з якими сучасний учень стикається в інформаційному просторі: генетичні тести, ГМО, клітинні технології, персоналізована медицина, біоетика, вплив забруднення довкілля на генетичне здоров’я, можливості й ризики редагування геному. У зв’язку з цим оновлення змісту шкільної біології на засадах наукової сучасності, міждисциплінарності та етичної відповідальності набуває особливої ваги [3, 4].

Не менш важливим є і педагогічний аспект проблеми. Сучасні освітні стандарти орієнтують школу на формування не лише предметних знань, а й критичного мислення, уміння працювати з інформацією, оцінювати ризики, аргументовано дискутувати та приймати відповідальні рішення. Генетична

проблематика є надзвичайно продуктивною для реалізації цих завдань, оскільки поєднує природничо-науковий зміст, соціальні наслідки застосування технологій і морально-етичні дилеми. Отже, методично обґрунтована інтеграція сучасних генетичних знань у шкільний курс біології здатна підвищити мотивацію учнів до навчання та зробити біологію ближчою до реальних життєвих ситуацій [5, 6].

Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні сучасних досягнень генетики та розробленні методичних підходів до їх інтеграції у шкільний курс біології [7, 8].

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання дослідження: охарактеризувати провідні напрями сучасної генетики, що мають освітній потенціал для шкільного навчання; з’ясувати зміст і дидактичну цінність технології CRISPR/Cas9, епігенетики, персоналізованої медицини, фармакогенетики та синтетичної біології; проаналізувати чинні нормативні документи, програми та науково-методичні джерела щодо можливостей оновлення шкільного курсу біології; визначити педагогічні умови, форми, методи та засоби вивчення сучасної генетики у закладах загальної середньої освіти; окреслити проблеми й перспективи адаптації складних генетичних понять для школярів; розробити методичний фрагмент уроку з теми дослідження [9, 10].

Об’єкт дослідження – процес навчання біології у закладах загальної середньої освіти [10, 11].

Предмет дослідження – зміст, форми, методи й засоби інтеграції сучасних досягнень генетики у шкільний курс біології [6, 9].

Методи дослідження: теоретичний аналіз, синтез, систематизація та узагальнення наукової літератури; порівняльний аналіз нормативних документів і навчальних програм; педагогічне проєктування; метод структурно-логічного

моделювання навчального матеріалу; описовий метод при підготовці методичної розробки уроку [5, 11].

Поряд із теоретичними методами, у роботі було використано емпіричний підхід для верифікації отриманих даних. Практична апробація розробленої методики інтеграції сучасних досягнень генетики здійснювалася на базі Богданівського ліцею під час викладання біології у 8-х та 9-х класах (2025-2026 н.р.). Авторська методика базувалася на впровадженні інтерактивних технологій, зокрема: використання платформи Kahoot для контролю знань, QR-кодів для тестування, біологічних пазлів, філвордів та відеопрезентацій. Це дозволило оцінити ефективність застосованих методів у підвищенні мотивації учнів та якості засвоєння навчального матеріалу.

Наукова новизна роботи полягає в узагальненні сучасних досягнень генетики як змістового ресурсу для оновлення шкільної біологічної освіти, а також у визначенні методичних підходів до адаптації новітніх генетичних знань до вікових можливостей учнів [4, 7, 11].

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих підходів під час оновлення навчальних матеріалів з біології, розроблення уроків, навчальних проєктів, дискусійних занять, STEM-завдань та факультативних курсів. Матеріали роботи можуть бути корисними вчителям біології, методистам, студентам педагогічних спеціальностей і всім, хто цікавиться сучасною біологічною освітою [3, 11].

Структура роботи зумовлена логікою дослідження. Робота складається зі вступу, трьох розділів, дев’яти підрозділів, висновків, списку використаних джерел та додатків [1, 8].

Потреба в осучасненні шкільного курсу біології посилюється тим, що інформаційне середовище сучасного підлітка вже містить численні повідомлення про генетичне тестування, генну терапію, біобанки, штучно

сконструйовані мікроорганізми, молекулярну діагностику та ризики, пов’язані з мутагенними чинниками. Якщо школа не надає цілісної і науково виваженої картини цих явищ, учні формують фрагментарні або викривлені уявлення під впливом медіа. Тому завдання вчителя біології полягає не лише у передачі фактів, а й у формуванні здатності відрізняти науково обґрунтовані твердження від популяризаційних спрощень, рекламних обіцянок і відвертих міфів. Саме в цьому аспекті сучасна генетика виступає потужним ресурсом для розвитку критичного мислення, інформаційної гігієни та відповідальної громадянської позиції [5, 10].

Для української школи ця проблема має ще один вимір. Реформа Нової української школи орієнтує педагогів на компетентнісне навчання, міжпредметні зв’язки, дослідницьку діяльність і практичне застосування знань. Генетика як галузь, у якій природничі знання безпосередньо поєднуються з медичними, екологічними, соціальними та етичними питаннями, цілком відповідає цій логіці. Уведення сучасних генетичних тем у шкільний курс біології дає змогу розширити традиційний зміст спадковості і мінливості, пов’язати його з темами здоров’я людини, безпеки довкілля, біотехнологій та медицини майбутнього. Таким чином, оновлення змісту генетичної освіти є не додатковим, а системно необхідним кроком у розвитку шкільної природничої освіти [8, 11].

Дослідження, результати якого подано в роботі, має теоретико-аналітичний характер. Його емпіричною базою слугували чинні нормативні документи, модельні та навчальні програми, наукові праці з генетики, геноміки та методики навчання біології, а також авторське педагогічне проєктування уроку. Такий формат дослідження є виправданим, оскільки на етапі оновлення змісту шкільної біології першочерговим є не накопичення формальних статистичних показників, а глибоке змістове співставлення рівня сучасної науки

з можливостями і потребами шкільної освіти. Саме тому у роботі поєднано аналіз наукових досягнень, контент-аналіз освітніх документів, дидактичне моделювання та розроблення навчально-методичного продукту, орієнтованого на практичне використання [6, 11].

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ ГЕНЕТИКИ ЯК НАУКОВА ОСНОВА ОНОВЛЕННЯ ШКІЛЬНОГО КУРСУ БІОЛОГІЇ (ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ)

1.2. Редагування геному та технологія CRISPR/Cas9 у сучасній генетиці

Редагування геному належить до тих напрямів сучасної біології, які докорінно змінили уявлення про можливості впливу людини на спадковий апарат живих організмів. Якщо на початкових етапах розвитку генетики вчені могли лише описувати закономірності успадкування та прогнозувати наслідки мутацій, то нині наука отримала інструменти для цілеспрямованого внесення змін у генетичний матеріал. Цей перехід від «читання» геному до його керованого «редагування» став однією з найвизначніших подій сучасної науки, що знайшла відображення і в суспільному, і в освітньому просторі [12, 13].

До створення систем точного редагування геному дослідники використовували менш універсальні й дорожчі інструменти, зокрема цинкові пальці та TALEN-системи. Проте справжній прорив пов’язаний із технологією CRISPR/Cas9, яка є адаптованим до лабораторної практики природним механізмом захисту бактерій від вірусів. У бактерій послідовності CRISPR накопичують фрагменти чужорідної ДНК, а спеціальні білки Cas розпізнають і розрізають генетичний матеріал патогена. Використання цього принципу в біотехнології дало змогу створити відносно простий, ефективний і універсальний метод точкового втручання в геном різних організмів. Саме за відкриття та розвиток цього підходу Дженніфер Дудна та Емманюель Шарпентьє були відзначені Нобелівською премією з хімії 2020 року [14, 15].

Механізм дії CRISPR/Cas9 у спрощеному вигляді можна подати як роботу «молекулярних ножиць». Спеціально сконструйована guide-РНК спрямовує білок Cas9 до заданої ділянки ДНК. Після впізнавання цільової послідовності відбувається дволанцюговий розрив. Далі клітина запускає власні механізми репарації. Якщо розрив «зшивається» неточно, можуть виникнути вставки або делеції нуклеотидів, які «вимикають» ген. Якщо ж одночасно ввести шаблон для виправлення, можна забезпечити кероване внесення потрібної зміни. Така логіка робить технологію не лише технічно елегантною, а й дидактично зручною для пояснення учням: вона демонструє єдність будови, функції та регуляції спадкового матеріалу [14, 15].

Практичне значення CRISPR/Cas9 надзвичайно широке. У медицині ця система відкрила перспективи корекції спадкових захворювань, пов’язаних із мутаціями в окремих генах. Ідеться, зокрема, про серпоподібноклітинну анемію, деякі форми бета-таласемії, спадкові імунодефіцити, окремі офтальмологічні захворювання. У сільському господарстві редагування геному застосовують для створення рослин із підвищеною стійкістю до хвороб, посухи, засолення ґрунтів, а також для підвищення харчової цінності продукції. У фундаментальних дослідженнях CRISPR став незамінним інструментом аналізу функцій генів, моделювання хвороб і вивчення регуляторних послідовностей [16, 17].

Разом із тим технологія має низку наукових і етичних обмежень. По-перше, навіть точне наведення системи не гарантує повної відсутності побічних ефектів. Існує проблема off-target-мутацій, коли розрізи можуть відбуватися не лише в цільовій, а й у подібних за послідовністю ділянках. По-друге, клінічне застосування геномного редагування потребує суворої оцінки ризиків, адже будь-яке втручання в геном людини має бути безпечним, ефективним та етично виправданим. Особливо дискусійним є питання редагування зародкової лінії,

коли зміни передаватимуться наступним поколінням. ВООЗ та інші міжнародні інституції наголошують на необхідності жорсткого регулювання таких практик [14, 17].

Отже, технологія CRISPR/Cas9 є символом нового етапу розвитку генетики, у якому знання про спадковість поєднуються з практичними інструментами керованого впливу на геном. Для шкільної біології ця тема є не лише змістово актуальною, а й методично цінною, оскільки сприяє формуванню сучасної наукової картини світу та відповідального ставлення до біотехнологічних інновацій [12].

Історія розвитку засобів редагування геному переконливо демонструє, що CRISPR/Cas9 не виникла на порожньому місці, а стала логічним етапом еволюції молекулярних технологій. До її появи вчені використовували рестриктази, рекомбінантні ДНК-технології, системи цинкових пальців і TALEN-конструкції. Кожна з них була корисною, але потребувала складного конструювання білкових доменів для кожної нової мішені. Перевага CRISPR/Cas9 полягає в тому, що для переналаштування системи достатньо змінити послідовність guide-РНК, тоді як сам білок Cas9 залишається тим самим. Саме ця універсальність, відносна дешевизна та масштабованість зробили технологію масово доступною для дослідницьких лабораторій і біотехнологічних компаній, а згодом і для клінічних застосувань [18].

Сучасний розвиток геномного редагування вже не обмежується класичною моделлю дволанцюгового розриву. На її основі виникли нові покоління інструментів – base editing і prime editing, які дозволяють точково змінювати окремі нуклеотиди або невеликі ділянки геному без утворення грубих розривів ДНК. Крім того, активно використовуються системи Cas12 і Cas13, придатні для роботи не лише з ДНК, а й з РНК. Для вчителя ці факти важливі не тому, що їх потрібно деталізовано пояснювати школярам, а тому, що

вони свідчать про динамічний характер сучасної науки. Учні мають бачити: біологічні технології розвиваються поступово, проходячи шлях від фундаментального відкриття до практичного вдосконалення [4].

1.2. Епігенетика, персоналізована медицина та фармакогенетика

Одним із найважливіших зрушень у сучасній генетиці стало усвідомлення того, що спадковість не вичерпується лише послідовністю нуклеотидів у молекулі ДНК. Реалізація генетичної інформації залежить також від того, які гени є активними, які – тимчасово пригніченими, у яких клітинах і за яких умов відбувається експресія. Саме ці процеси становлять предмет епігенетики – напряму, що вивчає зміни активності генів без зміни первинної нуклеотидної послідовності. Епігенетика відкрила нові можливості для пояснення того, як фактори середовища, харчування, стрес, токсичні речовини або спосіб життя можуть впливати на функціонування геному [19, 20].

До основних епігенетичних механізмів належать метилювання ДНК, модифікації гістонів та участь некодуючих РНК у регуляції активності генів. Ці механізми визначають, наскільки доступною буде певна ділянка ДНК для зчитування. Наприклад, підвищене метилювання промоторних ділянок часто супроводжується пригніченням транскрипції, тоді як зміни в білках-гістонах можуть або посилювати, або послаблювати доступ до генетичної інформації. У шкільному контексті епігенетику доречно розглядати як міст між генетикою та середовищем: послідовність ДНК можна уявити як текст, а епігенетичні механізми – як систему закладок, маркерів і обмежень доступу до окремих його частин [20, 21].

Наукова та практична значущість епігенетики полягає в тому, що вона допомагає глибше зрозуміти розвиток багатьох захворювань. Порушення

епігенетичної регуляції пов’язані з онкологічними процесами, метаболічними розладами, нейродегенеративними захворюваннями, порушеннями ембріонального розвитку. Водночас епігенетика не зводить усе до жорсткого біологічного детермінізму: вона підкреслює, що зовнішні впливи можуть модифікувати роботу генів, а отже, певна частина ризиків залежить від умов життя, профілактики й соціального середовища [22].

Із розвитком геноміки та високопродуктивного секвенування сформувався ще один важливий напрям – персоналізована медицина. Її сутність полягає в тому, що профілактика, діагностика й лікування мають враховувати індивідуальні особливості пацієнта, у тому числі його генетичний профіль. Якщо традиційна медицина орієнтувалася на «середнього» пацієнта, то персоналізований підхід спрямований на максимальну точність. Йдеться не лише про оцінку спадкових ризиків, а й про добір оптимальної терапії, прогноз перебігу хвороби, ефективність лікарських засобів та ймовірність побічних реакцій [24].

У межах персоналізованої медицини особливе місце належить фармакогенетиці, яка вивчає вплив генетичних варіантів на дію лікарських препаратів. Відомо, що один і той самий медикамент може бути високоефективним для однієї людини, малоефективним для іншої й небезпечним для третьої. Причина полягає, зокрема, в особливостях генів, відповідальних за метаболізм, транспорт і рецепторну чутливість до лікарських засобів. Тому фармакогенетика допомагає лікарю підібрати дозу й тип препарату, мінімізувавши ризики та підвищивши ефективність лікування [25].

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРАЦІЇ СУЧАСНОЇ ГЕНЕТИКИ У ШКІЛЬНИЙ КУРС БІОЛОГІЇ

2.1. Умови та організація дослідження

Дослідження інтеграції сучасних досягнень генетики у шкільний курс біології потребує спеціально організованого методичного підходу, оскільки йдеться не про лабораторний експеримент, а про науково-педагогічне осмислення змісту освіти, його відповідності сучасному рівню науки та можливостей адаптації до шкільного навчання. Умови такого дослідження визначалися необхідністю поєднати аналіз біологічних і медико-генетичних джерел із вивченням нормативної бази, програм, методичних рекомендацій та практичних потреб шкільної біологічної освіти [3, 11].

Організація дослідження передбачала кілька взаємопов’язаних етапів. На першому етапі було здійснено добір та систематизацію джерел з проблем сучасної генетики. Увага зосереджувалася на працях, які висвітлюють механізми редагування геному, основи епігенетики, засади персоналізованої медицини, фармакогенетичні підходи, синтетичну біологію та зв’язок генетики з екологічною безпекою. Важливим критерієм добору стала не лише наукова достовірність, а й потенційна доступність змісту для подальшої педагогічної адаптації [11].

На другому етапі було проаналізовано нормативно-правову та програмну базу загальної середньої освіти. Йдеться про Державний стандарт базової середньої освіти, типові та модельні навчальні програми, а також матеріали, що визначають очікувані результати навчання у природничій освітній галузі. Такий аналіз був необхідний для з’ясування, наскільки чинний зміст шкільної біології

створює передумови для включення новітніх генетичних знань і які саме освітні компоненти вже сьогодні можна наповнити актуальнішим змістом [4].

Третій етап передбачав зіставлення сучасних наукових досягнень генетики з тематичними лініями шкільного курсу біології. Було визначено, що теми спадковості, мінливості, мутацій, молекулярних основ життя, здоров'я людини, екологічних ризиків, біотехнологій та етики науки створюють найбільш сприятливе поле для інтеграції досліджуваного матеріалу. Саме тут виникає можливість для оновлення пояснювального контексту, розширення прикладових ситуацій та переходу від репродуктивного засвоєння до проблемно-пошукової діяльності учнів [7].

Четвертий етап мав проєктувальний характер. На ньому здійснювалося моделювання способів включення сучасної генетики у навчальний процес: через окремі фрагменти уроків, уроки узагальнення, дискусійні заняття, STEM-проєкти, кейс-завдання, інтегровані уроки та факультативні заняття. Особлива увага приділялася питанням вікової доступності змісту, добору термінів, використанню аналогій та візуалізацій, а також педагогічній доцільності кожного запропонованого рішення [10].

Методичні умови дослідження базувалися на кількох принципах. По-перше, науковість: будь-який матеріал, запропонований для шкільного вивчення, повинен спиратися на перевірені джерела й не спотворювати суть явищ. По-друге, доступність: складні поняття мають бути адаптовані до вікових можливостей учнів без втрати змістової точності. По-третє, проблемність: сучасна генетика найбільш ефективно засвоюється тоді, коли подається не як перелік фактів, а як поле реальних наукових, медичних та етичних проблем. По-четверте, практична спрямованість: учні повинні бачити зв'язок вивченого з питаннями здоров'я, довкілля, безпеки, суспільного вибору та майбутніх професій [3].

Умови виконання дослідження також передбачали опору на інтегрований характер природничої освіти. Аналіз сучасних методичних підходів засвідчив, що ізольоване подання генетики в межах лише одного розділу біології є недостатнім. Натомість ефективною є модель, за якої генетичні знання пов’язуються з хімією, інформатикою, екологією, основами здоров’я та громадянською освітою. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям шкільної біологічної освіти, орієнтованої на розвиток компетентностей, а не лише засвоєння термінів [6].

Отже, організація дослідження мала комплексний характер і включала науково-теоретичний, нормативно-аналітичний та педагогічно-проєктувальний компоненти. Це дозволило не лише описати сучасні досягнення генетики, а й визначити реальні механізми їх методично обґрунтованої інтеграції у шкільний курс біології [7].

Організація дослідження визначалася його теоретико-аналітичним характером і педагогічною спрямованістю. На відміну від експериментальних біологічних робіт, де об’єктом спостереження є природні або лабораторні системи, у цій роботі головним предметом аналізу стали смислові та дидактичні можливості інтеграції новітньої генетики у зміст шкільної біології. Тому в якості дослідницького поля було обрано сукупність офіційних освітніх документів, модельних програм, наукових праць з генетики й методики навчання, а також авторське педагогічне проєктування уроку. Такий підхід дав змогу одночасно врахувати рівень сучасної науки, вимоги освітньої політики та реальні можливості шкільної практики [7, 8].

Робота виконувалася у кілька послідовних етапів. На першому етапі було визначено коло наукових напрямів сучасної генетики, що мають найбільший суспільний і дидактичний потенціал: редагування геному, епігенетика, персоналізована медицина, фармакогенетика, синтетична біологія та екологічна

генетика. На другому етапі здійснювався відбір джерел за критеріями наукової надійності, актуальності, освітньої значущості та доступності для шкільного рівня адаптації. На третьому етапі проводився контент-аналіз освітніх документів та програм щодо наявності або відсутності сучасних генетичних тем. На четвертому етапі результати узагальнювалися у вигляді таблиць, аналітичних висновків та методичних рекомендацій. П’ятий етап передбачав розроблення авторського уроку й навчально-методичних додатків [6].

Особливу увагу було приділено добору джерел. До основної групи увійшли: Державний стандарт базової середньої освіти, типова освітня програма для 5-9 класів, чинні навчальні програми з біології і екології для 10-11 класів, модельні програми з біології для 7-9 класів, праці українських методистів біології, а також міжнародні й національні джерела, що висвітлюють сучасні геномні технології, питання етики та прецизійної медицини. Такий корпус джерел дозволив не лише описати стан науки, а й оцінити, наскільки повно шкільна освіта реагує на її розвиток [9].

Слід зазначити, що наявний розрив між стрімким розвитком світових генетичних технологій та змістом шкільних програм формує психологічний бар'єр для мотивації учнів, адже вони не бачать зв’язку між «сухою» теорією та сучасним життям (табл 2.1). Виходом із цієї ситуації є перехід від концепції трансляції готових знань до позиції вчителя як навігатора, що інтегрує результати актуальних досліджень (відкриття в галузі епігенетики, біотехнологій тощо) у навчальний процес, перетворюючи уроки на платформу для аналізу реальних ситуацій (табл.2.2).

Для аналітичного оцінювання змістових акцентів було застосовано шкалу від 0 до 2 або 0 до 3 балів залежно від завдання.

Таблиця 2.1

Методи дослідження та їх функції у роботі

Метод	Сутність використання	Результат застосування
Теоретичний аналіз	Опрацювання праць із генетики та методики навчання	Уточнення понятійного апарату й сучасних тенденцій
Порівняльний аналіз	Зіставлення наукових джерел і шкільних програм	Виявлення прогалин між наукою та освітою
Контент-аналіз	Аналіз змістових акцентів у текстах документів	Визначення рівня представленості сучасних тем
Педагогічне проєктування	Розроблення форм і методів інтеграції	Створення методичної моделі уроку
Аналітичне оцінювання	Ранжування тем за дидактичним потенціалом	Обґрунтування пріоритетів інтеграції

Таблиця 2.2

Етапи виконання дослідження

Етап	Зміст роботи	Проміжний результат
I	Добір і систематизація джерел	Визначено теоретичну базу
II	Аналіз освітніх документів і програм	Виявлено змістові лакуни
III	Контент-аналіз сучасних тем	Узагальнено рівень їх представленості
IV	Педагогічне моделювання	Розроблено методичну систему інтеграції
V	Створення уроку та додатків	Підготовлено практичний результат дослідження

Нуль означав повну відсутність теми у документі, один бал – непряме або фрагментарне відображення, два бали – часткову, але змістово помітну присутність, три бали – пряму й розгорнуту інтеграцію. Важливо підкреслити,

що це оцінювання не претендує на абсолютну математичну точність, а виконує евристичну функцію: воно допомагає виявити змістові лакуни, порівняти документи між собою та обґрунтувати доцільні напрями оновлення навчального матеріалу [5].

2.2. Методи дослідження й аналізу інформаційних джерел

Відповідно до мети та завдань роботи було використано сукупність взаємодоповнювальних методів дослідження, які забезпечили системний аналіз проблеми. Базовим став теоретичний аналіз наукової літератури. За допомогою цього методу виявлялися основні змістові лінії сучасної генетики, тенденції їх розвитку, дидактичний потенціал для шкільної освіти та найбільш актуальні питання, що підлягають педагогічній адаптації. Теоретичний аналіз дав змогу зіставити різні підходи до визначення понятійного апарату, окреслити місце нових генетичних технологій у загальній системі біологічних знань і встановити, які з них найбільш доцільно вводити на рівні шкільного навчання [10].

Порівняльний аналіз застосовувався для зіставлення наукових джерел із нормативними документами та освітніми програмами. За його допомогою було виявлено розрив між сучасним станом генетичних досліджень та шкільною практикою, а також визначено ті тематичні блоки курсу біології, у межах яких можливе органічне оновлення змісту. Порівняльний підхід виявився продуктивним і для встановлення співвідношення між фундаментальними генетичними знаннями та новітніми прикладними технологіями [5].

Метод систематизації та узагальнення використовувався для впорядкування отриманої інформації за тематичними блоками: редагування геному, епігенетика, персоналізована медицина, фармакогенетика, синтетична

біологія, генетичне здоров’я та екологічні ризики. Така систематизація дала змогу не лише впорядкувати матеріал, а й встановити логічні зв’язки між темами, що особливо важливо в контексті шкільного курсу, де матеріал має подаватися послідовно й методично виважено [6].

Важливу роль відіграв метод педагогічного проєктування. Саме він дозволив перейти від теоретичного аналізу до конструювання конкретних навчальних рішень. На його основі були визначені форми, методи та засоби інтеграції сучасних генетичних знань у навчальний процес, окреслені підходи до добору матеріалу, розроблено структуру уроку та систему завдань для учнів. Педагогічне проєктування забезпечило практичну спрямованість дослідження, адже результатом стала не лише аналітична характеристика проблеми, а й авторська методична пропозиція [11].

Для опрацювання інформаційних джерел застосовувався також метод контент-аналізу. Він полягав у виявленні ключових понять, тематичних акцентів, повторюваних аргументів та освітньо значущих смислів у текстах статей, програм, офіційних документів та методичних матеріалів. Контент-аналіз допоміг з’ясувати, наскільки часто і в якому контексті в українському освітньому просторі порушуються питання новітньої генетики, які аспекти залишаються недостатньо висвітленими, а які вже мають певне методичне підґрунтя [5].

Під час аналізу джерел враховувалися такі критерії: наукова достовірність, актуальність, відповідність темі, потенціал педагогічної адаптації та цінність для формування компетентностей учнів. Окрему групу склали нормативні джерела, що визначають вимоги до природничої освіти. Іншу групу утворили наукові й науково-методичні праці, присвячені сучасним досягненням генетики та методиці викладання біології. Третю групу становили популярно-

наукові та інформаційні матеріали, які аналізувалися передусім як приклади медіатекстів, з якими потенційно стикаються учні [11].

Суттєвого значення набув і метод моделювання, оскільки саме він дає можливість створити освітню модель інтеграції нового змісту без прямого втручання в чинну програму. За допомогою моделювання були визначені ключові поняття, які доцільно включати до шкільного курсу, а також рівні їх подання: понятійний, прикладний, етичний та діяльнісний. Це дозволило вибудувати методичну логіку, за якої складний науковий матеріал стає доступним, але не спрощеним до спотворення [10].

Отже, поєднання теоретичного аналізу, порівняльного аналізу, систематизації, контент-аналізу, педагогічного проєктування та моделювання забезпечило цілісний характер дослідження. Саме сукупність цих методів дала можливість перейти від загальної характеристики сучасної генетики до конкретних висновків щодо шляхів її включення у шкільний курс біології [6].

Теоретичний аналіз у роботі використовувався для систематизації сучасних уявлень про геномне редагування, епігенетичну регуляцію, прецизійну медицину, фармакогенетику та синтетичну біологію. Цей метод дозволив виявити ключові поняття, які можуть бути адаптовані до шкільного курсу без втрати наукової коректності. У результаті було сформовано ядро змісту, до якого ввійшли: поняття цільового редагування, регуляції активності генів, індивідуальних генетичних відмінностей у відповіді на лікування, конструювання біологічних систем і дії мутагенних факторів довкілля. Теоретичний аналіз водночас дав змогу відокремити фундаментальні положення від вузькоспеціальних деталей, що важко інтегруються у школу [27].

РОЗДІЛ 3
ФОРМИ, МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИВЧЕННЯ СУЧАСНОЇ ГЕНЕТИКИ В ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

3.1. **Аналіз форм, методів та засобів вивчення генетики в школі**

Сучасна генетика є змістово складним, але надзвичайно продуктивним матеріалом для шкільного навчання, якщо її вивчення організоване на основі продуманого поєднання форм, методів і засобів навчання. Особливість цієї тематики полягає в тому, що вона потребує не лише передачі фактичних знань, а й формування здатності учнів аналізувати інформацію, оцінювати наукові аргументи, розуміти імовірнісний характер біологічних прогнозів і брати участь в етичній дискусії. Саме тому методична система вивчення сучасної генетики має бути варіативною й компетентнісно орієнтованою [27, 28].

Серед форм організації навчання найбільш доцільними є комбінований урок, урок вивчення нового матеріалу, урок-дискусія, інтегрований урок, урок-практикум, STEM-заняття, навчальний проєкт та факультативні модулі. Комбінований урок ефективний для введення окремих понять у межах чинної програми, тоді як урок-дискусія доречний у разі розгляду етичних дилем – наприклад, проблеми редагування геному людини або використання ГМО. Інтегровані уроки дають змогу поєднати генетику з хімією, екологією та основами здоров’я, а STEM-заняття активізують дослідницький і практичний потенціал учнів [5].

Серед методів навчання особливо важливими є проблемний виклад, евристична бесіда, робота з кейсами, аналіз інформаційних повідомлень, навчальна дискусія, метод проєктів, моделювання та візуалізація. Проблемний виклад дозволяє подати тему через суперечність або наукову задачу. Наприклад,

учням можна запропонувати питання: «Чи можна вважати редагування геному безумовним благом?», «Чому однакові ліки по-різному діють на людей?», «Чи впливає спосіб життя на роботу генів?». Такі запитання не лише мотивують, а й допомагають побачити логіку наукового пошуку [29].

Кейс-метод є одним із найефективніших для вивчення сучасної генетики. Його перевага полягає в перенесенні абстрактного знання в конкретну життєву ситуацію. Кейс може стосуватися родини зі спадковим захворюванням, новини про генетичне тестування, прикладу забруднення водойми мутагенними речовинами або медичного рішення щодо добору ліків на підставі генетичних даних. Учні аналізують проблему, працюють із фактами, формулюють власну позицію, аргументують її й роблять висновки. Така діяльність значною мірою сприяє розвитку критичного мислення [30].

Не менш важливими є засоби навчання. До традиційних засобів належать підручник, схеми, таблиці, презентації, біологічні моделі, дидактичні картки. Однак сучасна генетика потребує активнішого використання цифрових ресурсів: анімацій будови ДНК, симуляторів редагування генів, віртуальних лабораторій, інтерактивних схем, навчальних відео, електронних карток і сервісів для створення інфографіки. Візуалізація особливо важлива, оскільки значна частина генетичних процесів відбувається на мікро- або молекулярному рівні й залишається недоступною для безпосереднього спостереження [31].

У роботі з термінологічно складним матеріалом доцільно застосовувати метод аналогій. Наприклад, геном можна порівнювати з бібліотекою інструкцій, ген – з окремим рецептом, епігенетичні механізми – з позначками доступу, а CRISPR/Cas9 – з інструментом точного редагування тексту. Водночас учитель має чітко пояснювати межі кожної аналогії, щоб запобігти неправильним висновкам. Такі образні опори полегшують засвоєння матеріалу, особливо в основній школі [32].

Для формування ціннісного ставлення до проблем сучасної генетики важливу роль відіграють дискусійні методи. Обговорення тем «за» і «проти» генетичного модифікування, «межі допустимого» у втручанні в геном людини, права пацієнта на генетичну інформацію, екологічні наслідки біотехнологій сприяє розвитку аргументації, толерантності до іншої позиції та усвідомленню соціальної відповідальності науки [32].

Методична ефективність вивчення сучасної генетики зростає за умови поєднання репродуктивних і продуктивних видів діяльності. Учні мають не лише запам’ятати нові поняття, а й виконувати аналітичні завдання, працювати з візуальною інформацією, створювати мініпроєкти, готувати постери, порівнювати різні інформаційні джерела, розпізнавати маніпуляції у медіатекстах. Саме така діяльність забезпечує реальне оновлення змісту навчання, а не його формальне ускладнення [28].

Отже, форми, методи та засоби вивчення сучасної генетики мають будуватися на принципах науковості, доступності, інтерактивності й практичної спрямованості. Лише за таких умов інтеграція новітніх генетичних знань у шкільний курс біології сприятиме не перевантаженню учнів, а підвищенню якості природничої освіти [30].

Серед форм організації навчання, найбільш придатних для інтеграції сучасної генетики, провідне місце посідає проблемно-орієнтований урок. Його перевага полягає в тому, що новітня генетика майже завжди постає у формі питання, суперечності або вибору: чи можна змінювати геном людини, чому один і той самий препарат діє по-різному, як середовище впливає на реалізацію спадкової інформації. Проблемне запитання активізує попередні знання, мотивує учнів до пошуку пояснень і допомагає відразу перевести абстрактний зміст у площину реальної життєвої проблеми. Такий підхід цілком узгоджується з компетентнісною парадигмою НУШ [6].

Кейс-технології є особливо продуктивними тоді, коли необхідно поєднати науковий, медичний, екологічний та етичний зміст. Кейс може стосуватися сім'ї, яка обирає пройти генетичне тестування; пацієнтів із різною реакцією на той самий лікарський засіб; ситуації забруднення джерела питної води; дискусії навколо редагування ембріонального геному. Аналізуючи кейс, учні вчаться відокремлювати факти від оцінок, визначати зацікавлені сторони, аргументувати позицію і бачити багатовимірність біологічної проблеми. Саме кейс робить сучасну генетику навчально доступною, бо дозволяє подавати складні молекулярні явища через конкретну історію [4].

Проєктний і STEM-підхід доцільні тоді, коли йдеться про довший цикл навчальної діяльності. Учні можуть створювати інфографіки про мутагени довкілля, моделі родоводу з аналізом успадкування ознак, мініпроєкти про генетичні аспекти здорового способу життя, порівняльні таблиці методів редагування геному або інформаційні буклети про відповідальне використання генетичних тестів. Поєднання біології з математикою, інформатикою, хімією, громадянською освітою та медіаграмотністю робить сучасну генетику природним майданчиком для міжпредметної взаємодії [8].

Цифрові засоби мають особливе значення для вивчення генетики, оскільки багато процесів відбуваються на молекулярному рівні й є безпосередньо неспостережуваними. Анімації, інтерактивні схеми, віртуальні лабораторії та моделі дозволяють візуалізувати розпізнавання цільової послідовності CRISPR/Cas9, метилювання ДНК, взаємодію генетичного варіанта з лікарським препаратом або дію екологічного фактора на клітину. Водночас вчитель має не підмінювати зміст ефектною картинкою, а організовувати навчальну роботу так, щоб візуалізація ставала інструментом пояснення, порівняння та узагальнення [29].

Дискусія як метод є незамінною в темах, де біологічне знання безпосередньо межує з етичним вибором. Обговорення питань «за» і «проти» генетичного модифікування, допустимості редагування зародкових клітин, збереження генетичних даних, ризиків біотехнологічного нерівного доступу формує в учнів уміння слухати іншого, будувати аргументацію на фактах, коректно вести полеміку і змінювати позицію під впливом переконливих доказів. При цьому педагог має модерувати процес так, щоб дискусія не перетворилася на обмін стереотипами або емоційними оцінками [3].

Окремої уваги потребують засоби формувального оцінювання. Для сучасної генетики важливо перевіряти не лише відтворення термінів, а й глибину розуміння та здатність застосовувати поняття в нових ситуаціях (рис.3.1). Доцільними є рубрики для оцінювання кейс-аналізу, чек-листи для роботи з науковою інформацією, короткі відкриті запитання, завдання на розпізнавання коректних і некоректних тверджень, самооцінювання та взаємооцінювання. Такий підхід дозволяє враховувати різний рівень підготовки учнів і підтримує навчання як процес поступового просування, а не лише як контроль кінцевого результату [11].



Рис. 3.1. Модель інтеграції сучасних досягнень генетики у шкільний курс біології

При цьому слід підкреслити, що зміна методичного інструментарію неминуче трансформує і роль педагога: від "транслятора знань" він перетворюється на фасилітатора, організатора освітнього середовища та коуча, який супроводжує учня в процесі наукового пошуку. Такий підхід стимулює перехід від пасивного сприйняття відомостей до активної суб'єктної позиції учня, що є фундаментальною вимогою Нової української школи.

3.2. Шкала аналітичного оцінювання представленості сучасних генетичних тем у шкільних документах

Порівняльний аналіз застосовувався для співставлення змісту сучасної науки зі шкільними документами та програмами. Він дозволив виявити, що класична генетика в освітніх документах представлена достатньо стабільно, тоді як новітні напрями здебільшого подані опосередковано або взагалі не названі. Саме порівняння наукового й освітнього дискурсів дало підстави стверджувати, що проблема полягає не у відсутності місця для сучасної генетики в навчальному плані як такому, а у браку актуалізованих прикладів, кейсів, візуальних моделей і міжпредметних зв’язків. Порівняльний аналіз також допоміг окреслити теми, у які доцільно інтегрувати новітній зміст без перевантаження програми [3].

Контент-аналіз використовувався як інструмент більш формалізованого вивчення документів. Об’єктами контент-аналізу стали формулювання очікуваних результатів навчання, змістові лінії, тематичні блоки і перелік понять. Для кожної обраної сучасної теми фіксувалося, чи є в документі пряме позначення, чи тема представлена через ширше поняття, чи зовсім відсутня. Одержані дані були зведені в таблицю та графічно інтерпретовані. Це дало змогу наочно показати, що екологічні та здоров’язбережувальні аспекти

генетики мають вищий потенціал для включення у шкільний курс уже зараз, тоді як синтетична біологія і фармакогенетика потребують ретельнішої дидактичної адаптації [6].

Окремим дослідницьким прийомом стало авторське дидактичне оцінювання освітнього потенціалу сучасних генетичних тем за п’ятьма критеріями: наукова актуальність, суспільна значущість, доступність для вікової адаптації, можливість візуалізації та міжпредметний потенціал (табл 3.1). Кожен критерій оцінювався у балах від 1 до 5. Така матриця не є статистичним тестом, однак вона корисна як інструмент педагогічного прийняття рішень: на її основі можна визначати пріоритетні теми для включення в урок, факультатив, мініпроєкт чи інтегроване заняття. Саме ця процедура стала підґрунтям для розроблення навчально-методичних рекомендацій у третьому розділі [10].

Таблиця 3.1

Шкала аналітичного оцінювання представленості сучасних генетичних тем у шкільних документах

Бал	Інтерпретація
0	Тема відсутня
1	Тема представлена опосередковано або фрагментарно
2	Тема частково висвітлена або легко інтегрується у вже наявний зміст
3	Тема прямо названа та змістово розгорнута

Надійність висновків забезпечувалася тріангуляцією джерел і методів: науковий зміст зіставлявся з нормативними документами, результати контент-аналізу – з методичними підходами, а теоретичні узагальнення – з авторським педагогічним проєктуванням. Водночас робота має певні обмеження. Вона не включала масового опитування вчителів чи учнів і не передбачала

довготривалої педагогічної апробації розробленого уроку. Тому висновки стосуються насамперед змістово-методичного потенціалу інтеграції, а не статистично виміряної ефективності. Проте саме такий формат є достатнім і виправданим для кваліфікаційної роботи аналітико-методичного характеру [10].

Зазначу, що сукупність обраних методів дозволила мені, як автору дослідження, не лише констатувати наявні прогалини в методичному забезпеченні, а й подати авторське бачення шляхів їх подолання. Власна дослідницька позиція полягала в переконанні, що проблема криється не у відсутності місця для сучасної генетики в програмі, а в потребі модернізації інструментарію вчителя, який має перетворитися на активного фасилітатора у світі наукових відкриттів.

Методичні основи інтеграції сучасної генетики у шкільний курс біології ґрунтуються на поєднанні теоретичного аналізу, порівняльного аналізу освітніх документів, контент-аналізу та педагогічного проєктування. Найбільш доцільними формами роботи визнано проблемні уроки, кейс-заняття, STEM-проєкти, дискусії та цифрові моделі, а головним принципом – поєднання наукової точності з віковою доступністю та етичною виваженістю [8].

Окрім теоретичного підґрунтя, практична апробація розробленої методики, проведена на базі Богданівського ліцею, підтвердила ефективність інтегрованого підходу. Спостереження за реакцією учнів 9-х класів засвідчили, що використання інтерактивних інструментів (зокрема, платформи Kahoot, QR-кодування та відеопрезентацій) не лише підвищує рівень засвоєння складних генетичних понять, а й суттєво зміцнює пізнавальну мотивацію, трансформуючи ставлення учнів до предмета.

Отже, інтеграція сучасних генетичних знань через дієві методики та засоби є оптимальним шляхом оновлення біологічної освіти, що дозволяє не лише покращити якість знань, а й сформувати в учнів навички відповідального

ставлення до наукових досягнень у повсякденному житті. Отримані результати є базою для подальшої систематизації ефективності запропонованого підходу.

Освітній потенціал теми CRISPR/Cas9 є надзвичайно високим. По-перше, вона дозволяє актуалізувати знання учнів про будову ДНК, ген, генетичний код, мутації та механізми репарації. По-друге, вона органічно інтегрує знання з біології, хімії, інформатики, медицини та етики. По-третє, тема є мотиваційною, оскільки пов’язана з реальними прикладами лікування, харчової безпеки, біотехнологій і суспільних дискусій. Для вчителя важливо подати цю інформацію не як сенсацію, а як приклад відповідального застосування наукового знання [26, 27].

У шкільному курсі біології матеріал про CRISPR/Cas9 доцільно вводити не у вигляді надмірно деталізованої молекулярної схеми, а через поняття «точне редагування спадкової інформації». Учням можна запропонувати аналогію з редагуванням тексту, де помилковий фрагмент знаходять, вирізають і замінюють на правильний. Поряд із такою аналогією обов’язково слід підкреслювати, що реальні біологічні системи значно складніші, а тому втручання в них вимагає не лише технічної майстерності, а й етичної зрілості. [33].

Важливою віхою стало перетворення CRISPR-технології з лабораторного інструмента на терапевтичну платформу. Офіційне схвалення першої CRISPR/Cas9-терапії Casgevy (табл 3.2) регуляторами США та Європейського Союзу стало доказом того, що редагування геному може застосовуватися не лише в експерименті, а й у лікуванні тяжких спадкових хвороб (табл 3.3). Утім, цей приклад одночасно демонструє складність переходу від наукової ідеї до клінічної практики: потрібні довготривалі дослідження безпеки, моніторинг можливих off-target-ефектів, оцінка ризику злоякісних трансформацій та багатоетапні регуляторні процедури. З погляду шкільної освіти такий приклад є

надзвичайно цінним, бо він показує учням, що інновації в медицині завжди пов’язані з доказовістю, перевіркою та суспільною відповідальністю [33].

Таблиця 3.2

Порівняльна характеристика можливостей і ризиків технології CRISPR/Cas9

Аспект	Можливості	Ризики / обмеження
Медицина	Корекція спадкових мутацій, нові підходи до терапії	Off-target-ефекти, висока вартість, довготривалий моніторинг
Сільське господарство	Створення стійких до стресів і хвороб форм	Потреба в регуляторній оцінці та суспільному діалозі
Фундаментальна наука	Точне моделювання функцій генів	Необхідність високої кваліфікації та контролю якості
Біоетика	Розвиток персоналізованої терапії	Дискусії щодо зародкових змін і справедливого доступу

Таблиця 3.3

Еволюція засобів геномного редагування

Технологія	Принцип дії	Переваги	Освітня інтерпретація
ZFN	Білкове розпізнавання та розрізання ДНК	Відносно висока специфічність	Показує складність ранніх інструментів
TALEN	Зв’язування білків з обраною ділянкою ДНК	Гнучкість у виборі мішені	Дає уявлення про розвиток біоінженерії
CRISPR/Cas9	Guide-РНК спрямовує Cas9 до цілі	Простота налаштування, універсальність, доступність	Найзручніша модель для пояснення учням
Base / prime editing	Точкове виправлення без грубого розриву	Підвищення точності	Демонструє еволюцію науки

Методично тема CRISPR/Cas9 може бути подана через кілька смислових ліній. Перша – науково-пізнавальна: як влаштований механізм редагування і

чому він точніший за випадковий мутагенез. Друга – практична: які проблеми люди намагаються вирішувати за допомогою технології. Третя – етична: чи є межі допустимого втручання у спадковий апарат. Четверта – світоглядна: як змінюється образ науки, коли дослідник уже не лише спостерігає, а й керовано модифікує генетичний матеріал. Поєднання цих ліній дозволяє перетворити тему з вузько молекулярної на широку освітню проблему, що розвиває в учнів здатність мислити комплексно [31].

3.3. Епігенетика

Для шкільної біології теми епігенетики, персоналізованої медицини та фармакогенетики є цінними тим, що вони демонструють живий зв’язок між молекулярними механізмами і повсякденним життям людини. Учні часто сприймають генетику як суто теоретичний розділ, пов’язаний із задачами на схрещування. Натомість розгляд реальних прикладів – чому люди по-різному реагують на ліки, чому спосіб життя впливає на реалізацію спадкових ризиків, як генетичні тести використовують у медицині – переводить навчання в практичну площину й сприяє зростанню мотивації [34].

Педагогічно важливо також запобігти спрощеному або фаталістичному тлумаченню цих понять. Персоналізована медицина не означає, що доля людини повністю визначається генами, а епігенетика не повинна подаватися як абсолютне пояснення будь-яких змін у поведінці чи здоров’ї. Вчитель має підкреслювати імовірнісний характер багатьох генетичних прогнозів, роль середовища, профілактики та відповідального ставлення до власного здоров’я. Такий підхід формує в учнів науково коректне розуміння біологічної індивідуальності людини [20, 21].

Крім того, розгляд цих напрямів відкриває можливості для розвитку медіаграмотності. У сучасному інформаційному просторі учні регулярно стикаються з рекламою генетичних тестів, популярними матеріалами про «ген ожиріння», «ген таланту» чи «ген щастя». Аналіз таких тверджень на уроці біології допомагає сформувати критичне мислення, уміння відокремлювати науково виважену інформацію від сенсаційних спрощень та комерційних маніпуляцій [19, 21].

Отже, епігенетика, персоналізована медицина та фармакогенетика розширюють класичне розуміння спадковості й демонструють сучасний рівень розвитку біологічної науки. Їх включення до шкільного змісту біології сприяє міждисциплінарності, практичній спрямованості навчання та формуванню відповідального ставлення учнів до здоров'я, інформації та власних рішень. [34].

Епігенетика особливо важлива для шкільної біології тому, що вона руйнує спрощене уявлення про ген як про жорстку й незмінну інструкцію, яка автоматично реалізується однаково за будь-яких умов. Насправді клітини різних тканин одного організму мають однаковий набір генів, але відрізняються саме профілями їх активності. Метилювання ДНК, модифікації гістонів та регуляція з боку некодуючих РНК утворюють складну систему «вмикання» і «вимикання» генів. Це пояснює, як у процесі індивідуального розвитку з однієї запліднені клітини виникають нервова, м'язова, епітеліальна та інші тканини. Для учнів це дає змогу зрозуміти, що спадковість є не лише передачею інформації, а й керованою системою її реалізації [23].

Окремий вимір епігенетики пов'язаний із впливом середовища і способу життя. Харчування, фізична активність, хронічний стрес, тютюнопаління, токсичні домішки у воді та повітрі, деякі лікарські впливи здатні змінювати епігенетичний стан клітин і, відповідно, модифікувати ризики розвитку певних

порушень. Водночас у науковій комунікації слід уникати перебільшень: не кожний середовищний вплив автоматично зумовлює тривале або спадкове епігенетичне перепрограмування. Тому для шкільної практики особливо важливо подавати епігенетику як галузь, що поєднує генетичну зумовленість із біологічною пластичністю, але не підтримує псевдонаукових тверджень про «повне переписування долі» людини за бажанням [35].

Персоналізована медицина та фармакогенетика є прикладом того, як генетичні знання безпосередньо впливають на клінічні рішення. Сутність цих підходів полягає у використанні генетичної інформації пацієнта для прогнозування ризиків, уточнення діагнозу, добору дози та виду лікарського препарату. Відомо, що варіанти генів, пов’язаних із ферментами детоксикації й метаболізму ліків, транспортерами або рецепторами, можуть зумовлювати різну ефективність і безпечність лікування в різних людей(табл. 3.4). Саме тому фармакогеноміка дедалі активніше використовується в онкології, кардіології, психіатрії та лікуванні рідкісних хвороб (табл. 3.5). Для учнів це дуже переконливий приклад того, як абстрактне поняття генотипу набуває практичного медичного значення [36].

Таблиця 3.4

Основні механізми епігенетичної регуляції та можливості їх пояснення в школі

Механізм	Наукова сутність	Дидактична аналогія
Метилювання ДНК	Приєднання метильних груп, що часто пригнічує експресію генів	«Позначка», яка робить ділянку менш доступною для зчитування
Модифікації гістонів	Зміни білків-упаковщиків ДНК, що впливають на щільність хроматину	«Ступінь відкритості книги» для читання
Некодуючі РНК	Регулюють синтез білка й стабільність транскриптів	«Повідомлення-контролери», які

		змінюють інтенсивність роботи
Епігеном	Сукупність регуляторних міток у клітині	«Налаштування», що визначають режим роботи генів

Таблиця 3.5

Взаємодія чинників довкілля з генетичним та епігенетичним здоров'ям

Чинник	Можливий механізм дії	Освітній акцент
Тютюновий дим	ДНК-аддукти, мутації, епігенетичні порушення	Шкідливі звички як фактор молекулярного ризику
Ультрафіолетове випромінювання	Пошкодження ДНК, підвищення мутагенезу	Зв'язок між поведінкою та профілактикою
Важкі метали	Оксидативний стрес, генотоксичність	Роль екологічної безпеки
Забруднена вода	Контакт із мутагенними або канцерогенними домішками	Вода як фактор громадського здоров'я
Хронічний стрес і недосипання	Порушення епігенетичної регуляції	Біологічні наслідки способу життя

Педагогічна цінність цієї теми полягає також у можливості показати межі й умови застосування персоналізованого підходу. Генетичний тест сам по собі не є чарівною відповіддю на всі клінічні питання: його результати повинні інтерпретуватися фахівцями, поєднуватися з анамнезом, лабораторними даними, віком, статтю, супутніми захворюваннями та способом життя пацієнта. У шкільному курсі біології це можна подати як приклад взаємодії між наукою, медициною і статистичною ймовірністю. Так учні навчаються розуміти цінність доказів, ймовірнісний характер медичних прогнозів і важливість конфіденційного поводження з генетичною інформацією [37].

РОЗДІЛ 4. ШЛЯХИ ІНТЕГРАЦІЇ СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ ГЕНЕТИКИ У ШКІЛЬНИЙ КУРС БІОЛОГІЇ

Практична апробація методики інтеграції сучасних досягнень генетики в освітній процес Богданівського ліцею.

Практичний етап дослідження було здійснено під час навчальних занять із біології у 8-9 класах Богданівського ліцею протягом 2025-2026 навчального року. Особливу увагу в ході апробації було сфокусовано на учнях 9-х класів, оскільки складність генетичного матеріалу в цьому віці потребує не лише теоретичного викладу, а й високого рівня залученості.

Під час опанування тем, пов’язаних із генетикою та епігенетикою, нами було запроваджено низку інтерактивних інструментів, відгук на які був показовим:

Платформа Kahoot як інструмент «живого» контролю: Застосування Kahoot для закріплення матеріалу викликало в учнів 9-х класів значний емоційний відгук. Змагальний дух, притаманний цій платформі, дозволив перетворити стандартну перевірку знань на захоплююче інтелектуальне змагання. Ми відзначили, що навіть ті учні, які зазвичай байдуже ставляться до письмових опитувань, у формі Kahoot демонстрували значну зосередженість та прагнення вдосконалити свій результат. Це суттєво знизило «страх помилки», що є типовим для підлітків при вивченні складних біологічних тем.

Інтеграція QR-кодів: Впровадження QR-кодів дало можливість учням самостійно регулювати темп засвоєння інформації. Можливість прямо на занятті миттєво відкрити схему успадкування чи відеоролик із візуалізацією поділу клітини зі свого гаджета змінила формат взаємодії «вчитель-учень». Учні 9-х класів сприйняли це як аспект «дорослого» дослідження, що підсилило їхню відповідальність за підсумки уроку.

Візуалізація через мультимедіа: Використання відеопрезентацій для пояснення механізмів молекулярної генетики стало вирішальним чинником у розумінні абстрактних процесів. Спостереження за реакцією класу підтвердили, що візуалізація складних понять (наприклад, принципів редагування геному) зменшує психологічний бар'єр сприйняття навчального матеріалу, який раніше вважався надто «сухим» або важким.

Одержані під час апробації висновки свідчать про те, що зміна формату викладання з «трансляційного» на «інтерактивний» прямо впливає на мотивацію учнів. Ми зафіксували позитивну тенденцію: учні почали ставити більше запитань, які виходять за межі підручника, що є найкращою ознакою ефективності застосованих технік в умовах нашого ліцею.

4.1. Проблеми й перспективи оновлення змісту шкільної генетики

Аналіз сучасної шкільної біологічної освіти засвідчує, що генетичний компонент посідає в ній важливе, але все ще недостатньо оновлене місце. Чинні навчальні програми закладають фундаментальні знання про ген, хромосому, спадковість, мінливість, закони Менделя, мутації, селекцію й окремі біотехнологічні аспекти. Однак стрімкий розвиток геноміки, біоінформатики, редагування геному, персоналізованої медицини та синтетичної біології вимагає розширення пояснювального контексту. Ідеться не стільки про механічне додавання нових термінів, скільки про переосмислення того, як саме шкільна біологія представляє сучасне життя науки [38].

Першою проблемою є змістова інерційність. У шкільній практиці генетика часто залишається розділом, який асоціюється з розв'язуванням задач на моногібридне і дигібридне схрещування. Такі задачі, безумовно, важливі для формування логіки спадковості, проте вони не можуть вичерпно репрезентувати

сучасну генетику. Учні нерідко сприймають ген як «одиницю, що відповідає за ознаку», не усвідомлюючи складності регуляції експресії, багатофакторності ознак, ролі середовища, епігенетичних механізмів і сучасних технологій аналізу геному [8, 38].

Другою проблемою є обмеженість зв'язку між шкільним змістом і реальним інформаційним полем, у якому перебувають учні. У новинах, соціальних мережах і популярно-наукових матеріалах регулярно з'являються повідомлення про генетичні тести, редагування ембріонів, лікування спадкових хвороб, біотехнологічні прориви. Якщо школа не формує вміння критично аналізувати такі повідомлення, учень опиняється в ситуації, коли стикається з актуальною інформацією поза освітнім контекстом і змушений самостійно інтерпретувати її без достатньої наукової основи [3, 8].

Третьою проблемою є недостатня методична готовність до включення складних генетичних тем. Вчитель може розуміти актуальність новітньої генетики, однак не завжди має достатньо навчально-методичних матеріалів, моделей пояснення, адаптованих прикладів і цифрових ресурсів. Крім того, оновлення змісту часто стримується побоюванням перевантаження учнів термінами або виходом за межі програми. Саме тому перспективи оновлення шкільної генетики безпосередньо пов'язані з розробленням методичних рішень, які поєднують наукову сучасність із педагогічною доцільністю [38].

Перспективним напрямом є не стільки створення окремого великого блоку «новітня генетика», скільки змістове насичення вже наявних тем. Так, під час вивчення спадковості й мінливості можна пояснювати роль геномних технологій у діагностиці хвороб; під час розгляду мутацій – аналізувати мутагени довкілля і приклади ДНК-репарації; у темі людина та її здоров'я – вводити поняття персоналізованої медицини; у темах екології – обговорювати

генетичне здоров’я й екологічні ризики. Такий шлях є реалістичним, оскільки не руйнує логіку чинної програми, а оновлює її змістовне наповнення.

Ще однією перспективою є розвиток компетентнісного підходу в межах шкільної генетики. Учням важливо не лише знати означення, а й уміти оцінювати наукові аргументи, розуміти межі застосування технологій, прогнозувати ризики, дискутувати про етичні наслідки, працювати з джерелами інформації. Генетика для цього підходить особливо добре, оскільки є одночасно і фундаментальною, і суспільно чутливою галуззю [38].

Суттєві перспективи відкриває й використання цифрових ресурсів. Анімації, інтерактивні моделі, віртуальні лабораторії, онлайн-сервіси для побудови родоводів чи моделювання мутацій здатні зробити складні процеси візуально доступними. Це особливо важливо в умовах, коли шкільна лабораторна база не завжди дає можливість демонструвати сучасні молекулярно-генетичні методи безпосередньо.

Отже, проблеми оновлення змісту шкільної генетики пов’язані з інерційністю, інформаційним розривом і методичними труднощами. Водночас перспективи є цілком реальними за умови поетапного оновлення змісту, інтеграції з іншими освітніми галузями, розвитку компетентнісного підходу та створення доступних дидактичних матеріалів.

Результати проведеного контент-аналізу засвідчили, що у чинних освітніх документах України наявний значний потенціал для оновлення шкільної генетики, але пряме представлення новітніх тем є нерівномірним. Найкраще у програмному полі представлені питання взаємодії організмів із середовищем, здоров’я людини, мутацій і спадковості. Натомість поняття редагування геному, фармакогенетики, синтетичної біології та епігенетики у більшості документів або зовсім не названі, або приховано містяться в ширших формулюваннях про сучасні напрями біологічних досліджень. Це означає, що змістове оновлення

можливе без радикального переписування курсу, але потребує цілеспрямованого методичного наповнення вже наявних тем [3, 8].

Ще однією проблемою є лінійна послідовність подачі матеріалу. У підручниках і традиційних уроках учні спочатку засвоюють класичні закони успадкування, далі – хромосомну теорію, мутації, молекулярну біологію, а сучасні приклади або з'являються наприкінці, або не пов'язуються з уже вивченим. У результаті знання залишаються фрагментарними: школяр знає, що існує ген, ДНК і мутації, але не бачить, як ці поняття працюють у сучасній медицині, біотехнології чи екології. Тому перспективним є не просто додавання нових фактів, а побудова наскрізних смислових ліній, де класичний і сучасний матеріал взаємно підсилюють одне одного [39,40].

Проведене авторське оцінювання освітнього потенціалу тем показало, що найвищу придатність для шкільної інтеграції мають питання екологічного генетичного здоров'я, редагування геному та персоналізованої медицини. Вони поєднують високу суспільну значущість із доступністю прикладів і можливістю міжпредметних зв'язків (табл. 3.6). Дещо складнішими для безпосереднього включення є епігенетика та синтетична біологія, однак і вони можуть успішно вивчатися за умови добору аналогій, візуалізацій і правильного рівня узагальнення (табл. 3.7). Отже, перспективою оновлення є поетапна модель: від найбільш близьких учневі життєвих і здоров'язбережувальних сюжетів – до більш абстрактних інженерних і регуляторних аспектів сучасної біології [5, 6].

У практичному вимірі оновлення змісту шкільної генетики доцільно реалізовувати на трьох рівнях. Перший – мікрорівень уроку, коли вчитель вводить сучасний приклад або кейс у вже наявну тему. Другий – рівень тематичного блоку, де кілька уроків об'єднуються навколо ідеї «генетика і здоров'я», «генетика і довкілля» або «біотехнології майбутнього». Третій – рівень факультативу, STEM-проєкту чи інтегрованого курсу, де новітня

генетика може бути представлена ширше. Така багаторівнева стратегія виглядає найбільш реалістичною для сучасної школи, оскільки не вимагає одномоментного перевантаження базового курсу [41].

Таблиця 3.6

Результати авторського контент-аналізу шкільних документів щодо представленості сучасних генетичних тем

Тема	Держстандарт 2020	Модельні програми 7–9	Програма 10–11 кл.	Сума
CRISPR / редагування геному	0	0	1	1
Епігенетика	0	1	1	2
Персоналізована медицина і фармакогенетика	0	0	1	1
Синтетична біологія	0	0	0	0
Екологія і генетичне здоров’я	1	2	2	5

Отже, оновлення змісту шкільної генетики не вимагає радикальної зміни програми, а базується на «точковому» інтегруванні сучасних досягнень у вже існуючі теми через нові методичні підходи, які були детально проаналізовані нами у попередньому розділі.

Таблиця 3.7.

Типові труднощі інтеграції сучасної генетики та шляхи їх подолання

Проблема	Прояв у шкільній практиці	Можливий шлях подолання
Застарілість змісту	Перевага класичних схем без сучасних прикладів	Оновлення пояснювального контексту, включення кейсів
Складна термінологія	Учні механічно запам’ятовують терміни	Використання аналогій, візуалізацій, поетапного введення понять
Етичні дилеми	Побоювання вчителя щодо дискусійних тем	Структуроване обговорення з опорою на наукові факти
Нестача ресурсів	Обмежений набір цифрових і друкованих матеріалів	Розроблення карток, презентацій, модельних кейсів
Перевантаження програми	Брак часу на новий матеріал	Інтеграція в уже наявні теми, а не механічне додавання окремого блоку

4.2. Етичні аспекти, складність термінології та адаптація сучасних генетичних знань для учнів

Одним із найскладніших завдань під час інтеграції сучасної генетики у шкільний курс біології є поєднання наукової точності з віковою доступністю. Це стосується не лише змісту як такого, а й етичного контексту та мови, якою

цей зміст подається. Новітня генетика працює з категоріями, що мають не тільки наукове, а й моральне, правове та світоглядне значення. Саме тому методична адаптація не може обмежуватися спрощенням термінів; вона має передбачати відповідальний добір прикладів, формулювань і педагогічних акцентів. [41, 42].

Етична проблематика супроводжує практично всі сучасні генетичні технології. Редагування геному людини, генетичне тестування, використання ембріонального матеріалу, зберігання та конфіденційність генетичних даних, створення трансгенних організмів, патентування біотехнологічних рішень – усе це питання, які неможливо звести лише до технічних характеристик. У шкільному навчанні важливо підкреслювати, що наука не існує поза суспільством, а отже, будь-яке біотехнологічне рішення має оцінюватися не лише за ефективністю, а й за критеріями безпеки, справедливості, гуманності та відповідальності [41, 42].

Однак дискусія про етичні аспекти не повинна перетворюватися на моральне повчання чи псевдонаукову полеміку. Учням слід пропонувати такі завдання, у яких вони вчаться розрізняти факти, оцінки та припущення. Наприклад, під час обговорення редагування геному можна поставити питання: чи однаково слід оцінювати терапевтичне виправлення тяжкої спадкової мутації та спробу «поліпшити» певні якості майбутньої дитини? Такий підхід розвиває етичну рефлексію без нав’язування єдино «правильної» позиції.

Не менш серйозною проблемою є складність термінології. Такі поняття, як «епігенетична модифікація», «геномне редагування», «фармакогенетичний профіль», «некодуючі РНК», «синтетична генетична конструкція», можуть виявитися надмірно абстрактними для школярів, якщо вводити їх без попередньої змістової підготовки. Саме тому адаптація передбачає поетапність: від уже відомих учням понять про ген, білок, клітину й ознаку – до складніших

уявлень про регуляцію, індивідуальну генетичну варіативність і біотехнологічні втручання.

Важливим методичним прийомом є контекстуалізація терміна. Учень краще засвоює нове слово тоді, коли воно входить до зрозумілої йому ситуації. Наприклад, фармакогенетику доцільно пояснювати через запитання, чому різні люди по-різному реагують на однакові ліки; епігенетику – через приклади впливу стресу, харчування та забруднення середовища на роботу генів; синтетичну біологію – через створення корисних мікроорганізмів для медицини або очищення довкілля. Таким чином термін перестає бути ізольованим словом і стає носієм конкретного змісту.

Ще одним шляхом адаптації є використання візуально-образних опор. Схеми, інфографіка, порівняльні таблиці, короткі анімації та продумані аналогії допомагають учням побачити логіку процесу. Водночас учитель має підкреслювати, що будь-яка аналогія є лише моделлю, а не повним відтворенням біологічної реальності. Таке пояснення не лише зберігає наукову коректність, а й формує в учнів розуміння самої природи наукового моделювання [41].

Особливої уваги потребує питання психологічної безпеки під час вивчення тем, пов’язаних зі спадковими хворобами або генетичними ризиками. У класі можуть бути діти, які мають власний чутливий досвід, пов’язаний зі станом здоров’я родичів. Тому вчитель має уникати персоналізації, категоричних суджень і сенсаційного стилю подачі. Генетичні теми повинні сприяти розвитку емпатії, толерантності й поваги до людської гідності.

Отже, етичні аспекти, термінологічна складність і проблема вікової доступності не є перешкодами для інтеграції сучасної генетики у шкільний курс біології, якщо враховуються принципи поступовості, контекстуальності, науковості та педагогічної чутливості. Саме така адаптація дає змогу зробити

новітні генетичні знання зрозумілими, корисними й безпечними для шкільного навчання.

Етичні аспекти сучасної генетики не є додатком до «справжньої науки», а становлять її невід'ємну частину. Редагування геному людини, використання генетичних тестів, зберігання біологічних зразків, обіг геномних даних, нерівний доступ до високотехнологічного лікування – усе це потребує не лише наукової, а й правової та моральної оцінки. Для шкільної освіти важливо, щоб обговорення таких тем не звелося до моралізаторства або страхів. Завдання вчителя полягає в організації аргументованого діалогу, де кожне твердження спирається на факти, а учні вчаться бачити різні сторони однієї проблеми [43].

Не менш складною є проблема термінології. Сучасна генетика оперує поняттями, що мають високу когнітивну щільність: геном, епігеном, guide-РНК, off-target-ефекти, генетичний варіант, біомаркер, таргетна терапія, синтетичний генетичний контур. Якщо подавати їх без попереднього смислового мосту, учень запам'ятовує лише звук слова, а не його місце в системі понять. Тому дидактично виправданою є поетапна стратегія: спершу вводиться простий смисл, потім аналогія, далі – наукове уточнення, після чого поняття використовується в новій ситуації. Саме так формується не механічне, а функціональне розуміння терміна [43].

Адаптація сучасних генетичних знань має враховувати і вікову психологію підлітків. Учні старшого підліткового віку зазвичай готові до обговорення питань ризику, справедливості, відповідальності, особистого вибору, однак вони болісно реагують на персоніфікацію тем, пов'язаних зі здоров'ям, спадковими хворобами або репродукцією (табл. 3.8). Тому під час вивчення генетики важливо підтримувати психологічно безпечну атмосферу, уникати стигматизувальних формулювань і наголошувати на тому, що

генетичні особливості не визначають цінність людини. Такий підхід поєднує наукову грамотність із гуманістичною педагогікою.

Таблиця 3.8

Авторське оцінювання дидактичного потенціалу окремих тем сучасної генетики

Тема	Наук. актуальність	Соц. значущість	Вікова доступність	Візуалізація	Міжпредметність	Сума
CRISPR/Cas9	5	5	3	5	5	23
Епігенетика	5	5	3	4	5	22
Персоналізована медицина	5	5	4	4	4	22
Синтетична біологія	4	4	3	4	5	20
Екологія і генетичне здоров’я	5	5	5	4	5	24

З погляду розвитку критичного мислення, складна термінологія та етичні дилеми можуть бути не перешкодою, а ресурсом навчання. Коли учень порівнює різні аргументи, виявляє логічні помилки, відрізняє наукові дані від оцінних суджень, формулює обережний висновок – він фактично здійснює ту саму інтелектуальну роботу, яка лежить в основі сучасного наукового мислення. Отже, адаптація новітніх генетичних знань повинна здійснюватися не шляхом їх спрощеного усічення, а шляхом педагогічно грамотного розгортання змісту, яке зберігає наукову точність і водночас робить її доступною для школяра [44].

3.3. Методична розробка уроку з теми дослідження та її впровадження у шкільний курс біології

Практичним результатом проведеного дослідження є розробка уроку, спрямованого на ознайомлення учнів зі сучасними досягненнями генетики та формування в них уміння застосовувати здобуті знання для аналізу актуальних

біологічних і суспільних проблем. Пропонований урок може бути використаний у 9–11 класах залежно від логіки навчальної програми, рівня підготовки учнів та цілей учителя. Він доцільний як під час вивчення тем спадковості та мінливості, так і в межах узагальнюючих занять, факультативів, STEM-тижнів або інтегрованих курсів [44].

Тема уроку: «Сучасні досягнення генетики та їх значення для людини, медицини й довкілля».

Мета уроку: сформувати в учнів уявлення про редагування геному, епігенетику, персоналізовану медицину та зв'язок генетики з екологічним здоров'ям; розвивати вміння аналізувати інформацію, порівнювати наукові підходи, висловлювати аргументовану думку; виховувати відповідальне ставлення до здоров'я, науки й довкілля.

Очікувані результати: після уроку учні мають пояснювати в загальних рисах сутність CRISPR/Cas9, наводити приклади впливу середовища на роботу генів, пояснювати ідею персоналізованої медицини, характеризувати зв'язок мутагенних чинників довкілля з генетичним здоров'ям людини, висловлювати аргументовану позицію щодо етичних аспектів біотехнологій.

Тип уроку: комбінований урок з елементами дискусії та кейс-аналізу. [

Обладнання: мультимедійна презентація, коротка анімація про CRISPR/Cas9, картки із кейсами, схема «ген – середовище – здоров'я», таблиця для порівняння біотехнологій, аркуші для рефлексії.

Структура уроку передбачає послідовне поєднання мотиваційного, пояснювального, аналітичного та рефлексивного компонентів. На етапі мотивації вчитель може запропонувати учням проблемне запитання: «Чи може людина не лише успадковувати ознаки, а й свідомо змінювати генетичну інформацію?» або коротку новину про сучасні біотехнології. Це створює пізнавальну інтригу та активізує попередні знання.

Під час актуалізації опорних знань доцільно коротко пригадати будову ДНК, поняття гена, мутацій та спадковості. Далі вчитель переходить до пояснення нового матеріалу, використовуючи доступні схеми й аналогії. Пояснення може бути структуроване у чотири мініблоки: редагування геному; епігенетика; персоналізована медицина; екологічне генетичне здоров'я. Кожен мініблок завершується коротким запитанням для осмислення.

Після пояснення нового матеріалу проводиться робота з кейсами. Клас можна поділити на чотири групи, кожна з яких отримує завдання проаналізувати конкретну ситуацію. Наприклад, перша група працює з кейсом про спадкове захворювання, для лікування якого перспективним є геномне редагування; друга – з прикладом різної реакції пацієнтів на однаковий лікарський препарат; третя – з інформацією про вплив забруднення води на генетичне здоров'я населення; четверта – з дискусійною ситуацією щодо допустимих меж генетичного втручання.

Після групової роботи відбувається коротке обговорення результатів. Учні презентують висновки, а вчитель уточнює наукові формулювання, підкреслює причинно-наслідкові зв'язки та звертає увагу на етичний контекст. На етапі закріплення знань можна використати вправу «Правда / дискусійне твердження/помилка», де учні визначають коректність низки тверджень про сучасну генетику.

Рефлексивний етап доцільно організувати у формі завершення фраз: «Сьогодні я зрозумів(ла), що…», «Найбільше мене здивувало…», «Я замислився(лася) над тим, що…». Домашнє завдання може мати варіативний характер: підготувати мініесе на тему «Наука і відповідальність у добу генетичних технологій», створити інфографіку про мутагени довкілля або дібрати приклади застосування персоналізованої медицини.

Запропонований урок може бути впроваджений у шкільний курс біології як окремий навчальний модуль або як частина ширшого тематичного блоку. Його методична цінність полягає в тому, що він поєднує сучасний науковий зміст із практичною, етичною та світоглядною складовими. Саме така інтеграція сприяє осучасненню шкільної біології та підвищує її значущість для учня.

Розроблений урок займає проміжне місце між узагальнювальним заняттям і вступом до сучасної біологічної проблематики. Його можна реалізувати як у межах теми про спадковість і мінливість, так і в контексті вивчення людини та її здоров'я, екологічних проблем або біотехнологій. Така гнучкість є принципово важливою: інтеграція сучасної генетики не повинна жорстко прив'язуватися до одного-єдиного уроку, а має працювати як модуль, що легко вбудовується в різні навчальні ситуації. Саме тому у структурі уроку поєднано короткі мініблоки змісту з інтерактивною роботою, а акцент зроблено на зв'язку між науковими поняттями та реальними життєвими сюжетами [7, 8].

У процесі підготовки уроку особливу увагу було приділено диференціації. Для учнів із базовим рівнем підготовки передбачено опору на візуальні схеми, прості аналогії та чіткі алгоритми роботи з кейсом. Для більш підготовлених учнів можуть пропонуватися додаткові завдання: зіставити різні види редагування геному, проаналізувати аргументи щодо етичної допустимості певного біотехнологічного втручання, оцінити потенційні ризики генетичного тестування або підготувати коротке повідомлення про сучасний медичний випадок. Така диференціація дозволяє не знижувати науковий рівень матеріалу, але робить його освоєння посильним для різних учнів.

Для оцінювання результатів уроку доцільно використовувати не лише традиційне опитування, а й рубрику для групового кейс-аналізу. У ній можуть враховуватися такі показники: коректність використання понять, логіка аргументації, здатність бачити етичний і практичний вимір проблеми, якість

співпраці в групі та ясність підсумкової презентації. Це узгоджується з компетентнісним підходом, адже предметним результатом тут є не тільки знання терміна, а й уміння працювати з біологічною інформацією в соціально значущому контексті [44].

Оскільки робота має аналітико-методичний характер, урок не був предметом тривалої експериментальної апробації з кількісним вимірюванням результативності (табл. 3.9). Проте його дидактична валідність забезпечується відповідністю сучасним освітнім стандартам, узгодженістю з чинними програмами, опорою на перевірені інтерактивні методи та внутрішньою логікою побудови. У разі подальшої апробації в шкільній практиці урок може бути доповнений електронною презентацією, інтерактивними картками, відеофрагментами та варіантами домашніх мініпроєктів.

Практична цінність розробки полягає також у її відкритості до масштабування. На основі поданого уроку можна створювати факультативний модуль з сучасної генетики, серію STEM-занять, урок-дискусію, позакласний науковий клуб, заняття для профільних біологічних груп або матеріал для підготовки учнів до конкурсних дослідницьких робіт. Таким чином, розробка виконує не лише локальну функцію одного уроку, а й роль дидактичного прототипу осучаснення шкільної біологічної освіти.

Оцінка підсумків практичної частини дослідження показав, що оновлення змісту учнівської генетики є педагогічно обгрунтованим та реально здійсненим завданням. Доведено, що інтеграція сучасних генетичних знань не потребує кардинальної перебудови навчальної програми, а ефективно реалізується через «точкове» збагачення наявних тем.

Визначено головні напрями інтеграції, є питання, що мають виражений міждисциплінарний зв'язок зі здоров'ям людини, сучасними біотехнологіями, екологією та етичними аспектами наукових досягнень.

Таблиця 3.9

План-конспект уроку

Етап уроку	Час	Зміст діяльності вчителя та учнів	Методи / засоби
Організаційний момент	1–2 хв	Налаштування на роботу, оголошення теми й мети	Словесний метод
Мотивація	4–5 хв	Проблемне запитання або новина про генетичні технології	Проблемний виклад, презентація
Актуалізація знань	5 хв	Пригадування понять ДНК, ген, мутація, спадковість	Бесіда, мініопитування
Пояснення нового матеріалу	12–15 хв	Мініблоки: CRISPR, епігенетика, персоналізована медицина, екологічне здоров’я	Пояснення, схема, відео
Кейс-робота в групах	10 хв	Аналіз реальних або змодельованих ситуацій	Кейс-метод, групова робота
Обговорення	5–6 хв	Презентація висновків, уточнення понять	Дискусія
Рефлексія	3 хв	Підбиття підсумків, формулювання особистих висновків	Рефлексивна вправа

Перевірка на практиці створеного уроку та допоміжних методичних матеріалів підтвердила, що запропоновані підходи сприяють підвищенню

пізнавального інтересу учнів без перевантаження навчального процесу. Отже, розроблені методичні рекомендації можуть бути рекомендовані до впровадження у практику роботи вчителів біології закладів середньої освіти.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи теоретично обґрунтовано та методично осмислено проблему інтеграції сучасних досягнень генетики у шкільний курс біології. Проведений аналіз підтвердив, що стрімкий розвиток геномних технологій, епігенетики, персоналізованої медицини, фармакогенетики та синтетичної біології істотно розширив сучасне уявлення про спадковість, мінливість і біологічну індивідуальність людини. У зв'язку з цим шкільна біологія потребує оновлення змісту, яке забезпечить відповідність освіти сучасному рівню науки та реальним запитам суспільства.

У першому розділі з'ясовано, що технологія CRISPR/Cas9 є одним із найважливіших інструментів новітньої генетики, оскільки відкриває можливості точного редагування геному та має широкий спектр застосування у фундаментальних дослідженнях, медицині й сільському господарстві. Показано, що епігенетика допомагає пояснити вплив умов середовища на активність генів без зміни послідовності ДНК, а персоналізована медицина та фармакогенетика переводять генетичні знання в площину індивідуалізованої профілактики й лікування. Установлено, що синтетична біологія та проблематика генетичного здоров'я у взаємозв'язку з екологічними чинниками надають шкільному курсу біології важливого світоглядного і практичного виміру.

У другому розділі доведено, що інтеграція сучасної генетики в шкільний курс біології має ґрунтуватися на комплексному методичному підході. Визначено, що ефективне оновлення змісту можливе за рахунок поєднання теоретичного аналізу, порівняльного аналізу нормативних документів, систематизації джерел, контент-аналізу та педагогічного проєктування. Установлено, що найбільш доцільними формами організації навчання є уроки проблемного вивчення нового матеріалу, кейс-заняття, дискусії, інтегровані

уроки та STEM-проєкти. Найбільшу результативність забезпечують методи, які активізують пізнавальну діяльність учнів і дозволяють застосовувати знання в контексті реальних ситуацій.

У третьому розділі виявлено, що основними труднощами інтеграції сучасної генетики у шкільний курс біології є застарілість окремих змістових акцентів, недостатній зв’язок шкільного матеріалу з сучасним інформаційним полем, складність термінології та наявність етичних дилем, які потребують виваженого педагогічного супроводу. Водночас доведено, що ці труднощі можуть бути подолані завдяки поступовому змістовому оновленню вже наявних тем, використанню доступних аналогій, візуалізацій, цифрових ресурсів, групової роботи та дискусійних форматів. Практичним результатом роботи стала розробка уроку «Сучасні досягнення генетики та їх значення для людини, медицини й довкілля». Запропонований урок спрямований на формування в учнів не лише знань про новітні генетичні технології, а й умінь аналізувати інформацію, аргументовано оцінювати ризики та переваги біотехнологій, розуміти вплив середовища на генетичне здоров’я людини. Отже, мету дослідження досягнуто, а поставлені завдання виконано.

Перспективи подальших досліджень убачаємо у створенні повноцінних навчально-методичних комплексів із сучасної генетики для різних вікових груп, розробленні цифрових освітніх ресурсів, розширенні практики шкільних дослідницьких проєктів та вивченні ефективності різних моделей інтеграції новітніх біологічних знань у природничу освіту.

Узагальнюючи результати проведеної роботи, слід підкреслити, що сучасна генетика дедалі більше перетворюється на ядро міждисциплінарного природничого знання, яке безпосередньо впливає на медицину, агробіотехнології, екологічну політику та суспільні дискусії про межі людського втручання в живе. Саме тому її інтеграція у шкільний курс біології

має розглядатися не як факультативне доповнення, а як необхідна умова формування сучасної наукової картини світу в учнів.

Проведене аналітичне дослідження показало, що найреалістичнішою стратегією оновлення є не механічне збільшення обсягу матеріалу, а дидактичне осучаснення вже наявних тем через введення актуальних прикладів, кейсів, візуалізацій, проблемних запитань та міжпредметних зв’язків. Така модель дозволяє зберегти баланс між науковою новизною, віковою доступністю та програмною доцільністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про деякі питання державних стандартів повної загальної середньої освіти : Постанова Кабінету Міністрів України від 30.09.2020 № 898. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/898-2020-%D0%BF (дата звернення: 25.04.2026).
2. Про затвердження типової освітньої програми для 5–9 класів закладів загальної середньої освіти : Наказ МОН України від 19.02.2021 № 235. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/v0235729-21 (дата звернення: 25.04.2026).
3. Навчальні програми для 10–11 класів. Біологія і екологія. Міністерство освіти і науки України. URL: https://mon.gov.ua/osvita-2/zagalna-serednya-osvita/osvitni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv (дата звернення: 25.04.2026).
4. Модельні навчальні програми для 5–9 класів Нової української школи. Міністерство освіти і науки України. URL: https://mon.gov.ua/osvita-2/zagalna-serednya-osvita/osvitni-programi/modelni-navchalni-programi-dlya-5-9-klasiv-novoi-ukrainskoi-shkoli-zaprovadzhuyutsya-poetapno-z-2022-roku (дата звернення: 25.04.2026).
5. Рудич М. Сучасний зміст шкільної біологічної освіти України та світу: порівняння і перспективи. Проблеми та перспективи розвитку природничої освітньої галузі. 2023. С. 349–352.
6. Коршевнюк Т. В., Абрамчук О. М., Добростан О. В. Стратегії інтеграції міждисциплінарних підходів у викладанні біології для підвищення критичного мислення здобувачів освіти. Педагогічна академія: наукові записки. 2025.
7. Балан П. Г., Кулініч О. М., Юрченко Л. П. Модельна навчальна програма «Біологія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти. Київ : МОН України, 2023.

8. Самойлов А. М., Тагліна О. В., Утєвська О. М. Модельна навчальна програма «Біологія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти. Київ : МОН України, 2023.

9. Precision medicine. World Health Organization Executive Board. 2026. URL: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB158/B158_CONF6-en.pdf (дата звернення: 25.04.2026).

10. Пометун О. І., Пироженко Л. В. Сучасний урок. Інтерактивні технології навчання : наук.-метод. посіб. Київ : А.С.К., 2004. 192 с.

11. Нова українська школа: концептуальні засади реформування середньої школи. Київ : МОН України, 2016. 40 с.

12. Charpentier E., Doudna J. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. Science. 2014. Vol. 346, No. 6213.

13. Nobel Prize Outreach. The Nobel Prize in Chemistry 2020: Press release. URL: https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/press-release/ (дата звернення: 25.04.2026).

14. Lander E. S. The heroes of CRISPR. Cell. 2016. Vol. 164. P. 18–28.

15. Doudna J. A. Nobel Lecture: The Chemistry of CRISPR. URL: https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/doudna/lecture/ (дата звернення: 25.04.2026).

16. FDA Approves First Gene Therapies to Treat Patients with Sickle Cell Disease. U.S. Food and Drug Administration. 2023. URL: https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-gene-therapies-treat-patients-sickle-cell-disease (дата звернення: 25.04.2026).

17. First gene editing therapy to treat beta thalassemia and severe sickle cell disease. European Medicines Agency. 2023. URL: https://www.ema.europa.eu/en/news/first-gene-editing-therapy-treat-beta-thalassemia-and-severe-sickle-cell-disease (дата звернення: 25.04.2026).

18. Brown T. A. Gene Cloning and DNA Analysis: An Introduction. 8th ed. Hoboken : Wiley-Blackwell, 2020.

19. Ashley E. A. Towards precision medicine. Nature Reviews Genetics. 2016. Vol. 17. P. 507–522.

20. Relling M. V., Evans W. E. Pharmacogenomics in the clinic. Nature. 2015. Vol. 526. P. 343–350.

21. 7. Allis C. D., Jenuwein T. The molecular hallmarks of epigenetic control. Nature Reviews Genetics. 2016. Vol. 17. P. 487–500.

22. Collins F. S., Varmus H. A new initiative on precision medicine. New England Journal of Medicine. 2015. Vol. 372. P. 793–795.

23. Epigenomics Fact Sheet. National Human Genome Research Institute. 2020. URL: https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Epigenomics-Fact-Sheet (дата звернення: 25.04.2026).

24. Personalized Medicine. National Human Genome Research Institute. URL: https://www.genome.gov/genetics-glossary/Personalized-Medicine (дата звернення: 25.04.2026).

25. Pharmacogenomics Fact Sheet. National Human Genome Research Institute. 2024. URL: https://www.genome.gov/about-genomics/educational-resources/fact-sheets/pharmacogenomics (дата звернення: 25.04.2026).

26. Ashley E. A. Towards precision medicine. Nature Reviews Genetics. 2016. Vol. 17. P. 507–522.

27. Human genome editing: recommendations. World Health Organization. Geneva, 2021.

28. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Human Genome Editing: Science, Ethics, and Governance. Washington, DC : National Academies Press, 2017.

29. Green E. D. et al. Strategic vision for improving human health at The Forefront of Genomics. Nature. 2020. Vol. 586. P. 683–692.

30. National Human Genome Research Institute. Genetic engineering. URL: https://www.genome.gov/genetics-glossary/Genetic-Engineering (дата звернення: 25.04.2026).

31. World Health Organization. Human genome editing. URL: https://www.who.int/health-topics/human-genome-editing (дата звернення: 25.04.2026).

32. Doudna J. A. Nobel Lecture: The Chemistry of CRISPR. URL: https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/doudna/lecture/ (дата звернення: 25.04.2026).

33. Epigenetics. National Human Genome Research Institute. URL: https://www.genome.gov/genetics-glossary/Epigenetics (дата звернення: 25.04.2026).

34. Epigenomics Fact Sheet. National Human Genome Research Institute. 2020. URL: https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Epigenomics-Fact-Sheet (дата звернення: 25.04.2026).

35. Assessment of genetic damage in healthy and diseased tissue. International Agency for Research on Cancer. 2016. URL: https://publications.iarc.who.int/uploads/media/publication_inline/0001/02/6924bf344877d3c6161ab411af0173bc8425af5e.pdf (дата звернення: 25.04.2026).

36. Synthetic Biology. National Human Genome Research Institute. URL: https://www.genome.gov/about-genomics/policy-issues/Synthetic-Biology (дата звернення: 25.04.2026).

37. WHO releases new principles for ethical human genomic data collection and sharing. World Health Organization. 2024. URL:

https://www.who.int/news/item/20-11-2024-who-releases-new-principles-for-ethical-human-genomic-data-collection-and-sharing (дата звернення: 25.04.2026).

38. Pierce B. Genetics: A Conceptual Approach. 7th ed. New York : W. H. Freeman, 2020.

39. Watson J. D. et al. Molecular Biology of the Gene. 7th ed. Boston : Pearson, 2014.

40. Alberts B. et al. Molecular Biology of the Cell. 7th ed. New York : Garland Science, 2022.

41. . Nussbaum R., McInnes R., Willard H. Thompson & Thompson Genetics in Medicine. 9th ed. Philadelphia : Elsevier, 2016.

42. Zhang M. et al. Epigenetics and environmental health. Current Opinion in Pediatrics. 2024. PMID: 38806988.

43. Klibaner-Schiff E. et al. Environmental exposures influence multigenerational epigenetic inheritance. Trends in Genetics. 2024. PMID: 39420431.

44. FDA. Table of Pharmacogenomic Biomarkers in Drug Labeling. 2026. URL: https://www.fda.gov/drugs/science-and-research-drugs/table-pharmacogenomic-biomarkers-drug-labeling (дата звернення: 25.04.2026).