

УДК: 633.9:001.8

DOI: [https://doi.org/10.63437/3083-6425-2026-1\(100\)-08](https://doi.org/10.63437/3083-6425-2026-1(100)-08)**Мегалінська Ганна,**

кандидатка біологічних наук,  
доцентка кафедри здоров'я, валеології та медико-біологічних дисциплін,  
Український державний університет імені Михайла Драгоманова,  
м. Київ, Україна

**Mehalinska Hanna,**


PhD in Biological Sciences, Associate Professor  
of the Department of Health, Valeology and Medico-Biological Disciplines,  
Mykhailo Drahomanov Ukrainian State University,  
Kyiv, Ukraine

 <https://orcid.org/0000-0001-8662-8584>**Білик Жанна,**

кандидатка біологічних наук, старша наукова співробітниця  
відділу створення навчально-тематичних систем знань,  
Національний центр «Мала академія наук України»,  
м. Київ, Україна

**Bilyk Zhanna,**

PhD in Biological Sciences, Senior Researcher  
of the Department of Educational and Thematic Knowledge Systems Creation,  
National Center "Junior Academy of Sciences of Ukraine",  
Kyiv, Ukraine

 <https://orcid.org/0000-0002-2092-5241>**Постова Катерина,**

кандидатка психологічних наук,  
провідна наукова співробітниця відділу підтримки обдарованості,  
Інститут обдарованої дитини НАПН України,  
м. Київ, Україна

**Postova Kateryna,**

PhD in Psychological Sciences, Leading Researcher  
of the Department of Giftedness Support,  
Institute of the Gifted Child of the NAES of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

 <https://orcid.org/0000-0001-9728-4756>**Даниленко Євген,**

керівник гуртка відділу біології,  
Київський палац дітей та юнацтва,  
м. Київ, Україна

**Danylenko Yevhen,**


Head of the Biology Circle, Department of Biology,  
Kyiv Palace of Children and Youth,  
Kyiv, Ukraine

 <https://orcid.org/0000-0002-3417-1479>



**Ткачук Ігор,**  
завідувач відділу біології,  
Київський будинок дітей та юнацтва,  
м. Київ Україна

**Tkachuk Ihor,**  
Head of the Biology Department,  
Kyiv Palace of Children and Youth,  
Kyiv, Ukraine

 <https://orcid.org/0000-0002-4978-2803>

## ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПІД ЧАС ВИКЛАДАННЯ СПОРТИВНОЇ БІОЛОГІЇ, ОСНОВ ГЕНЕТИКИ ТА ВАЛЕОЛОГІЇ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Анотація.

Проблема підвищення ефективності навчання в аспекті здоров'язбереження та здоров'яформування є важливою педагогічною проблемою. Багаторічний досвід дає змогу стверджувати, що ефективним методом формування знань із тем «Групи крові», «Сечокам'яна хвороба» та «Ферменти» є застосування хімічного моделювання. Це дає змогу уникнути безпосереднього контакту здобувачів освіти з біологічними рідинами, унеможливаючи інфікування та забезпечуючи при цьому досвід практичної роботи, яка є STEM/STEAM-орієнтованою. Пропонуємо застосовувати штучну модель сечі для дослідження оксалатів, фосфатів і білка. Для формування у здобувачів освіти мотивації вести здоровий спосіб життя описано дослід, що демонструє зниження активності лізоциму під дією пива. Особливу увагу приділено вивченню груп крові. У процесі педагогічного експерименту нами визначався рівень засвоєння знань здобувачами освіти за допомогою коефіцієнта О. Ківерляга. Значення цього коефіцієнта у групі здобувачів освіти, яким матеріал подавався без хімічного моделювання, збільшився на 7 %, а в групі здобувачів, де застосовувалося хімічне моделювання, – на 22 %.

**Ключові слова:** хімічне моделювання; штучна сеча; групи крові; лізоцим; каталаза; методи навчання; розвиток креативності; освітні програми гуртків; STEM/STEAM-напряма.

## THE USE OF CHEMICAL MODELING IN TEACHING SPORTS BIOLOGY, FUNDAMENTALS OF GENETICS, AND VALEOLOGY AS A METHOD OF INCREASING EDUCATIONAL EFFICIENCY

Summary.

The issue of improving learning efficiency, especially in the aspect of health preservation and health formation, is an important pedagogical problem. Many years of experience conducting the "Valeology" club and working with students – future specialists in health formation – allow us to assert that an effective method for developing knowledge, skills, and abilities on topics such as "Human Blood Groups", "Inheritance of Blood Groups", "Urolithiasis and Nephrolithiasis", and "Human Body Enzymes" is the use of chemical modeling. The application of chemical models enables avoiding direct contact of learners with human biological fluids, which eliminates the risk of infection, while students still gain practical laboratory experience, which are STEM/STEAM-oriented.

We propose using an artificial urine model to investigate the presence of oxalates and phosphates (substances that may appear in urine as a result of pathological processes) as well as to qualitatively and quantitatively determine protein levels. To motivate learners to abstain from alcohol, we suggest an experiment demonstrating the reduction of lysozyme activity under the influence of beer. To create motivation for the sensible consumption of food additives such as sugar and salt, we propose an experiment that shows the decrease in catalase activity – the main enzyme responsible for the antioxidant protection of the human body.

In our opinion, it is also advisable to teach learners how to use modern portable devices, such as Greentest ECO, which allow determining nitrate levels, water hardness, and radiation background. This work proposes chemical modeling during lessons dedicated to the study of blood groups. According to the proposed methodology, an NaCl solution, with chloride ions, simulates agglutinin A, and a Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution, with sulfate ions, simulates agglutinin B. A mixture of NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions models the fourth blood group, while distilled water simulates the first group. Silver nitrate (1 %) and BaCl<sub>2</sub> (5 %) model agglutinins.

*During the pedagogical experiment, we assessed the level of knowledge acquisition by learners using the coefficient of O. Kiverlyaga. The value of this coefficient increased by 7 % in the group taught without chemical modeling and by 22 % in the group where chemical modeling was applied.*

**Keywords:** *chemical modeling; artificial urine; blood groups; lysozyme; catalase; teaching methods; creativity development; educational programs of clubs; STEM/STEAM direction.*

**Постановка проблеми.** Практичний запит на міждисциплінарну освіту потребує інтегрованих підходів, які поєднують природничі науки, технології та мистецтво для підготовки учнів до складних реальних задач. Хімічне моделювання (віртуальні симуляції, молекулярні моделі, комп'ютерні візуалізації) дає змогу пов'язати абстрактні біологічні та генетичні поняття з практикою спортивної біології та валеології, підвищуючи прикладну значущість навчального матеріалу. Підвищення якості розуміння таких складних біологічних процесів, як генетичні механізми, біохімічні шляхи метаболізму під час фізичної активності, фізіологічні реакції організму, – це процеси, які важко подати лише вербально або через традиційну схематику. Хімічне моделювання робить ці процеси візуально відтворюваними й інтерактивними, що сприяє глибшому засвоєнню, формуванню наукових понять, критичного мислення та можливості пошуку креативних рішень надскладних проблем. Інтеграція моделювання та творчих компонентів (візуалізація, дизайн експериментів, створення мультимедійних продуктів) стимулює творчий підхід до вирішення науково-практичних завдань. Такий підхід відповідає цілям STEAM-освіти – здобувати не лише знання, а й розвивати навички проєктної діяльності, дизайн-мислення і міждисциплінарної комунікації. Упровадження хімічного моделювання в курсах спортивної біології, генетики та валеології потребує розроблення нових методик викладання: інтерактивних сценаріїв, дидактичних матеріалів, оцінних інструментів, що діагностують не лише знання, а й креативні вміння та практичні навички, що відкриває поле для модернізації педагогічної підготовки та підвищення професійної компетентності вчителів.

**Мета** статті полягає у висвітленні використання хімічного моделювання під час викладання спортивної біології, основ генетики та валеології, що є практично обґрунтованим, відповідає сучасним вимогам інтегрованої STEM/STEAM-освіти, сприяє поглибленню наукового розуміння біологічних процесів, розвитку креативності здобувачів освіти та підвищенню методичної майстерності педагогів. Реалізація представленої методики може поліпшити якість навчання, підтримати здоров'язбережні практики та сприяти інноваційному оновленню освітніх програм.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Використання моделювання в природничих науках, зокрема в хімії, біології, фізиці та географії, а також його ефективність у процесі навчання ґрунтовно висвітлено в наукових працях

зарубіжних дослідників. Так, M. Aksela, S. Ghulam, J. Lundell, E. Jalonen, J. Pernaа у своїх працях обґрунтовують педагогічну доцільність і ефективність комп'ютерного молекулярного моделювання у вивченні хімії, спираючись на досвід фінських учителів. Автори пропонують комплекси практичних вправ і методичні рекомендації щодо впровадження молекулярного моделювання в навчальний процес із використанням цифрових інструментів [8; 9; 12].

На міждисциплінарний потенціал молекулярного моделювання звертають увагу також науковці й практики M. Vaaden, F. Nitti, S. Pasquali, A. Taly, які розглядають його як підґрунтя для організації інтегрованих навчальних практик у межах природничо-наукової освіти [15].

Зокрема N. Barnea та Y. J. Dori обґрунтовують доцільність використання молекулярних моделей для ілюстрації та дослідження хімічних явищ, підкреслюють переваги комп'ютеризованого молекулярного моделювання та пропонують спеціальні семінари для підготовки вчителів з опанування базових навичок моделювання в навчанні хімії [10]. Огляд ролі молекулярних моделей як ефективного дидактичного інструмента в хімічній освіті представлено також у працях O. De Jong, J. Van Driel, J. Gilbert, A. Jain, P. Jain, R. Just, B. Khare, H. Patel, I. Rajpoot, R. Thakur, D. Treagust, які доводять доцільність їх широкого впровадження в педагогічну практику [12; 14].

Проблеми ефективності використання моделювання в освітньому процесі перебувають у полі зору українських науковців і практиків. Так, В. Биков розглядає моделювання як складник сучасного цифрового педагогічного середовища, тоді як O. Авдєєва, Р. Ямборак аналізують його в контексті впровадження STEM/STEAM-освіти [7]. Безпосередню інтеграцію моделювання в процес навчання хімії висвітлено в працях O. Авдєєвої, Р. Денисюк, O. Євдоченко, O. Камінського, I. Мординського, С. Писаренко, Д. Панасюк, Ю. Тітової, М. Чайки та ін. [5].

**Виклад основного матеріалу.** Багаторічний досвід реалізації освітніх програм гуртків «Валеології» в Київському Палаці дітей та юнацтва і викладання біологічних дисциплін для студентів спеціальності «Здоров'я людини та фізична рекреація» дали нам змогу вдосконалити процес викладання значної кількості тем з використанням хімічного моделювання, серед яких: «Групи крові людини», «Успадкування груп крові», «Психологічний портрет людини за групою крові», «Сечокам'яна хвороба та нефролітіаз», «Ферменти та їх

значення для організму людини». Отриманий досвід надав можливість створити хімічні моделі низки фізіологічних процесів, які роблять складну для розуміння учнями та студентами інформацію наочною і доступною, та дає підстави визнати, що хімічне моделювання дає змогу детально вивчати хімічні процеси, які лежать в основі функціонування живих систем [2].

Запропоновані освітні програми спрямовані на отримання необхідних професійних компетентностей і пропедевтику проблеми здоров'язбереження і здоров'язміцнення особистості, а також на закріплення навичок здорового способу життя. Наприклад, для профілактики сечокам'яної хвороби постає необхідність розуміння та формування поняття про сечу як біологічно активне середовище, у якому можливий прояв специфічних властивостей біологічних речовин. У здорових людей сеча має постійний склад, а в разі нефролітіазу в ній можуть з'являтися певні продукти обміну – конкременти уратів, фосфатів, оксалатів. Для пояснення процесів нефролітіазу пропонуємо виконання практичних робіт, у яких використано хімічне моделювання. Метою практичного заняття з теми: «Якісні реакції на конкременти сечі» є навчити учнів і студентів визначати фізіологічний склад сечі та наявність конкрементів при патологічних процесах. Для виконання роботи необхідні такі реактиви та обладнання: дистильована вода, сечовина, натрій хлорид, калій фосфат однозаміщений, амоній сульфат, нашатирний спирт, амоній оксалат, рідкий яечний білок, кальцій хлорид, аргентум нітрат, натрій гідроксид або калій гідроксид, купрум (II) сульфат, мірна колба або мірний циліндр, предметні скельця, піпетки, нітратомір Greentest ECO, лізоцим, стерильні чашки Петрі, стерильна дистильована вода, стерильні пробірки, стерильні диски з фільтрувального паперу, пиво, чиста культура *Sarcina flava*. Першим завданням із виконання практичної роботи буде приготування штучної сечі за рецептурою (табл. 1).

Для імітування сечокам'яної хвороби додаємо амоній оксалат кристалічний 0,1 г, рідкий яечний білок (1–2 мл) та проводимо якісні реакції на оксалати та на наявність білка:

– *реакція на оксалати*: на предметне скельце нанести 1 мл штучної сечі і додати 2 краплі 5 %

розчину кальцію хлориду. Описати осад (білий кристалічний) – наявність оксалатів;

– *реакція на фосфати*: на предметне скельце нанести 1 мл штучної сечі і додати 2 краплі 1 % розчину аргентум нітрату, описати осад (жовтий осад аргентум фосфату);

– *реакція на білок*: до 2 мл штучної сечі з білком додати 0,5 мл 10 % розчину лугу (NaOH або KOH) та 3–4 краплі 5 % купрум (II) сульфату. Описати зміну забарвлення – поява фіолетового забарвлення.

Таблиця 1

Рецептура штучної сечі

№	Речовина	Маса (г) / об'єм (мл)
1	Вода дистильована	100
2	Сечовина	3–4
3	Натрій хлорид	1
4	Калій фосфат однозаміщений	до 0,1
5	Амоній сульфат	0,1
6	Нашатирний спирт	3

За результатами виконаної роботи можемо дійти висновків стосовно аналізу сечі: присутність оксалатів і фосфатів може свідчити про наявність нефролітіазу, сечокам'яної хвороби; присутність білка свідчить про можливість гломерулонефриту.

Наступне практичне заняття з теми: «Визначення кількості білка в штучній сечі» ставить за мету навчити учнів/студентів використовувати метод визначення білка в штучній сечі за допомогою реактива Бредфорда. Для виконання такої роботи знадобляться реактиви та обладнання: білок яйця, піпетки, вода, пробірки, штативи, спектрофотометр, спирт, фільтрувальний папір, реактив Бредфорд.

Першим етапом роботи є приготування серії розведень. В середньому кількість білка в яєчному білку 11г/100 мл, а  $\rho$  (густина) = 1,045 г/см<sup>3</sup>, отримаємо колоїдний розчин білка, розведений у 100 разів, у порівнянні з нативним білком яйця. Приготуємо його розведення: 1:10, 2:10, 3:10, 4:10, 5:10, 6:10, 7:10, 8:10, у ролі дисперсійного середовища використовуємо воду. З кожного варіанту відбираємо аликвоту 2 мл, додаємо 2 мл реактиву Бредфорд. Через 5 хв вимірюємо оптичну густину при довжині хвилі 595 нм, як контроль використовуємо розчин Бредфорд. За результатами виконаної роботи заповнюємо таблицю 2.

Таблиця 2

Узагальнювальна таблиця за серіями розведень

№	Теоретично розрахована концентрація білку (мкг/л)	Об'єм вихідного розчину білку (мл)	Об'єм води (мл)	Об'єм розчину білку, необхідний для реакції	Об'єм реактива Бредфорда	Оптична густина (A595)
1				2 мл	2 мл	
...						
8						

Використовуючи отримані дані, будуюмо в програмі Excel калібрувальну криву, паралельно будуюмо лінію тренду та рівняння прямої лінії тренду. У наших дослідженнях використовувався спектрофотометр ULAB, рівняння прямої має вигляд (рис. 1).

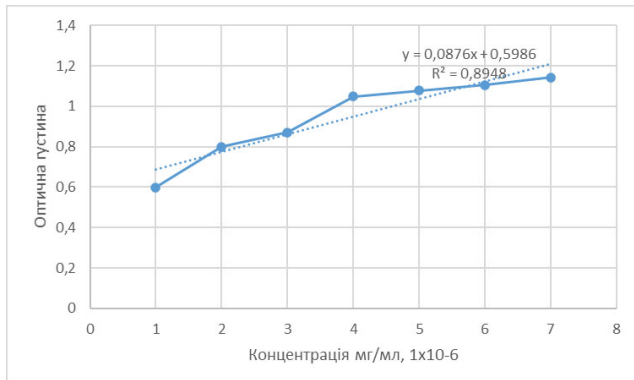


Рис. 1. Калібрувальний графік для методики Бредфорда

Наступне завдання: від отриманого зразка штучної сечі відбираємо аліквоту 2 мл та додаємо 2 мл розчину Бредфорда. Через 5 хв вимірюємо оптичну густина, підставляємо в рівняння прямої та знаходимо концентрацію білка в зразку. Дізнаємося у викладача кількість білка в цій задачі та порахуємо абсолютну похибку власних досліджень, порівнюємо отримані дані з фізіологічною нормою. За результатами роботи даємо відповідь на запитання:

- Чи може бути білок у сечі?
- На які патологічні стани може вказувати білок у сечі?

Під час проведення хімічного моделювання утворення конкрементів потрібно зосередити увагу здобувачів освіти на необхідності вживати чисту воду, тому що вживання забрудненої води низької якості та порушення правил культури харчування спричиняє хвороби сечовивідних шляхів. Щоб діагностувати стан води в різних джерелах, необхідно визначити жорсткість води та кількість нітратів за допомогою нітратоміра Greentest ECO.

Формування критичного ставлення до вживання алкогольних напоїв можливе за використання в освітніх підходах хімічної моделі роботи ферменту слини – лізоциму. Аптечний препарат «Лісобакт» необхідно просуспендувати в дистильованій воді. До частини екстракту додати пиво, а другу частину залишити незмінною. Щоб перевірити антибактеріальну активність обох частин розчину лізоциму – заливаємо стерильний м'ясопептонний агар у дві чашки Петрі та заражаємо їх культурою *Sarcina flava*. Після підсушування стерильно закладаємо в кожену чашку по 5 паперових дисків, змочених у лізоцимі та в суміші лізоцим + пиво. Через 2–3 доби вимірюємо зони лізису навкруги дисків. Лізоцим активний у кислому середовищі, а в разі підлучування пивом активність

лізоциму падає, що супроводжується зменшенням зон гальмування навкруги паперових дисків. Оскільки лізоцим виступає одним із чинників природного імунітету, висновок з цього дослідження свідчить про користь обмеження використання пива та інших алкогольних напоїв.

Окрім того, за допомогою хімічного моделювання стає можливим мотивувати здобувачів освіти до раціонального споживання цукру та солі з метою профілактики цукрового діабету та гіпертонії. Пропонуємо використання моделі із застоюванням зрізу бульби картоплі + перекис водню. Модельний об'єкт містить велику кількість ферменту каталази – головного ферменту антиоксидантного захисту в організмі людини. Для початку необхідно приготувати розчини глюкози та натрій хлориду. Для цього необхідно 0,9 г глюкози розчинити в 0,5 л води – отримаємо розчин із концентрацією глюкози 10 мМоль/л – саме така кількість глюкози в середньому в 1 мл крові хворого на цукровий діабет. Далі необхідно 4,5 г натрій хлориду розчинити в 0,5 л води – отримаємо розчин із концентрацією NaCl 155 мМоль/л. У середньому вміст йонів натрію в крові людини становить 135–145 ммоль/л, проте при гіпернатріємії, викликаній вживанням великої кількості солі, вміст йонів натрію може досягати 155 ммоль/л. Шматочки свіжонарізаного картоплі необхідно опустити окремо в розчин глюкози, розчин кухонної солі та дистильовану воду (контроль). Через 2 год шматочки картоплі дістати з розчинів, промити дистильованою водою, помістити на чашки Петрі та нанести на них декілька крапель аптечного перексиду водню. Можна спостерігати інтенсивне утворення пухирців кисню на зрізі картоплі, яка знаходилася протягом 2 год у воді, та практичну відсутність пухирців на модельних об'єктах, які експонували в розчинах глюкози та натрій хлориду. Цей дослід демонструє, що надмірна кількість глюкози та натрій хлориду інактивує фермент каталазу, що зменшує стресостійкість будь-якого живого організму.

Дослідження та розуміння розроблення індивідуалізованої концепції харчування людини та діагностики схильності до тих чи інших хвороб можливе з урахуванням особливостей групи крові. Вивчення успадкування групи крові та пов'язані з нею особливості дають змогу збалансувати власний спосіб життя та уникати можливих труднощів. Тема: «Успадкування груп крові» є важливим інформаційним блоком як для студентів спеціальності «Фізична рекреація та здоров'я людини», так і для слухачів гуртка «Валеологія».

Для уникнення використання крові людини під час лабораторних робіт розроблено хімічну модель реакції гемаглютинації. У мембранах еритроцитів містяться аглютиногени, що є глікопротеїновими рецепторами, з якими взаємодіють антитіла плазми – аглютиніни. Створення хімічної моделі

антигенів АВО передбачало використання дистильованої води, як аналога системи без аглютиногенів, розчину NaCl, у якому хлорид-аніон імітує аглютиноген А та розчин Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, у якому сульфат-аніон імітує аглютиноген В. Суміш розчинів NaCl+ Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> моделює четверту групу крові. Аргентум нітрат (1 %) та ВаCl<sub>2</sub> (5 %) моделюють аглютеніни. Пропонуємо лабораторну роботу на тему: «Хімічне моделювання процесу визначення групи крові», мета якої поглибити розуміння здобувачів освіти процесу взаємодії цоліклонів з аглютиногенами для визначення груп крові. Для виконання роботи знадобляться реактиви та обладнання: 1 % розчини натрій хлориду, натрій сульфату, аргентум нітрату, 5 % розчин барію хлориду, предметні скельця, пшпетки.

Для визначення I групи крові на предметне скельце наносимо дві краплини хімічної моделі першої групи крові (дистильована вода) і додаємо в першу краплину розчин AgNO<sub>3</sub>, а в другу – ВаCl<sub>2</sub>. Якщо в обох випадках осади відсутні, спостерігаємо характерну для I групи крові – відсутність гемаглютинації.

Для визначення другої групи крові на предметне скло наносимо дві окремі краплини розчину NaCl. До однієї краплини додаємо розчин AgNO<sub>3</sub> і спостерігаємо за утворенням осаду. До другої краплини додаємо барію хлорид, якщо в другому випадку осаду немає, то перед нами друга група крові. В даному випадку хлорид-аніон моделює наявність гемаглютиногену А, що зв'язується з аглютиніном α, – розчином AgNO<sub>3</sub> [6; 13].

Для визначення третьої групи крові на предметне скло наносимо дві окремі краплини розчину Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, що моделює аглютиноген В. До першої краплини додаємо аналог цоліклону В – розчин ВаCl<sub>2</sub>. Цоліклон В або аглютинін β зв'язується з аглютиногеном В, який притаманний лише носіями третьої групи крові.

Аналогія з аглютинацією четвертої групи крові досягається, якщо цю групу крові імітувати за допомогою суміші NaCl та Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. На предметне скло наносимо дві окремі краплини суміші цих солей і додаємо до першої краплини гемаглютиніну А (аргентум нітрат), а до другої – аналог гемаглютиніну β (барію хлорид). В обох краплинах будемо спостерігати появу осаду.

Представлена хімічна модель дає змогу також краще зрозуміти такі теми генетики, як «Множинний алелізм», «Успадкування груп крові людини», «Закон чистоти гамет». Прикладом множинного алелізму може бути присутність трьох алельних генів, які беруть участь в успадкуванні групи крові. Це доміантні гени А і В та рецесивний ген О. Ген О не продукує антигенної детермінації, хімічна модель продукту цього гена (дистильована вода) наочно демонструє відсутність продуктів доміантних генів у вигляді аніонів хлору та сульфату.

Для носіїв другої групи крові характерна наявність алельного гена А. Причому генотип людини за даними генами може бути як гомозиготним АА, так і гетерозиготним АО. Обидві комбінації алельних генів можна представити в лабораторних умовах, використовуючи склотримач, як модель пари гомологічних хромосом, в яких можна комбінувати два алельних гена із вибірки, яка містить шість можливих варіантів (рис. 2).

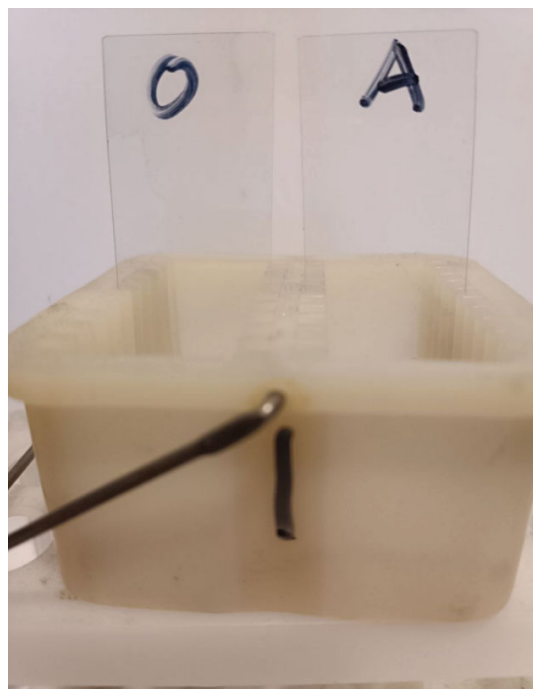


Рис. 2. Модель розташування алелей (на прикладі успадкування II групи крові)

Закладаючи алельні гени в гомологічні пари I хромосоми, студенти та учні краще усвідомлюють поняття «гомологічні хромосоми», «алельні гени», «успадкованість груп крові».

Використання моделей другої та третьої груп крові дає нам змогу краще зрозуміти такий вид взаємодії алельних генів, як повне домінування. При додаванні до аглютиногенів А і В, які імітують хлорид- та сульфат-аніони, продукту, що кодується рецесивним геном О (дистильованої води), якісних змін у хімічній системі не відбувається.

Для більш чіткого розуміння закону чистоти гамет пропонуємо використати в ролі гомологічних хромосом два склотримача, у кожний з яких закласти предметні скельця з позначками генів. Розтягуючи склотримачі, ми моделюємо розходження гомологічних хромосом під час мейозу і формування гамет. Причому в кожен гамету потрапляє лише один алельний ген із двох, що може візуалізувати закон чистоти гамет.

Таку модель доцільно використовувати під час розв'язування генетичних задач. У процесі розтягування модельних хромосом учні легко можуть перераховувати можливі типи гамет, а далі комбінувати їх за допомогою решітки Пенета.

У генотипі, який є сукупністю генів одного організму, існує низка факторів взаємодії алельних та неалельних генів. Щоб пояснити фактор взаємодії неалельних генів, ми пропонуємо використати хімічну модель, у якій мають фігурувати дві солі, як продукти двох неалельних генів, – це  $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$  та  $\text{BaSO}_4$ . Обидві солі нерозчинні, але характеризуються різним добутком розчинності:  $\text{ДР} [\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2]=1,3 \times 10^{-23}$ ,  $\text{ДР} [\text{BaSO}_4]=1,8 \times 10^{-10}$ . Якщо припустити, що сульфат барію продукт гена А, а фосфат барію – продукт гена В і обидва гени в домінуючому стані, то в хімічній комірці, де зустрінуться аніони  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  та катіони  $\text{Ba}^{2+}$  відбувається міцне зв'язування барію з фосфат аніоном і дія інших аніонів як продуктів інших генів не буде виявлятися у формуванні осаду.

Під час апробації зазначених вище лабораторних робіт і запропонованих хімічних моделей частина учнів і студентів виконувала їх, а інша частина теоретично опрацювала даний матеріал і готувала та

презентувала результати дослідження із зазначених тем. За результатами порівняння рівня знань обох груп, гуртківців і студентів, за допомогою методу О. Ківерляга та для визначення коефіцієнта Ківерляга використовувалася наступна формула:

$$k = \frac{\sum I^*_{\alpha}}{N \cdot I_{\alpha}} \times 100 \% \quad (1)$$

де  $k^-$  – коефіцієнт Ківерляга,  $I_{\alpha}$  – загальна кількість елементів знань, що підлягає перевірці;  $\sum I^*_{\alpha}$  – сума засвоєних елементів знань гуртківців і студентів;  $I^*_{\alpha}$  – кількість засвоєних елементів знань;  $N$  – загальна кількість гуртківців та студентів [13].

Результати педагогічного експерименту, здійсненого методом О. Ківерляга, свідчать, що лабораторний метод із використанням хімічних моделей підвищує рівень засвоєння знань гуртківців і студентів на 15 % у порівнянні з методом теоретичного опрацювання без використання хімічного моделювання [13] (табл. 3).

Таблиця 3

**Рівень засвоєння знань та вмінь гуртківців  
(за коефіцієнтом О. Ківерляга)**

Групи досліджуваних до (II, III)/ після (IV, V)	Метод теоретичного опрацювання без використання хімічного моделювання		Лабораторний метод із використанням хімічних моделей	
	II	III	IV	V
Гуртківці (II, IV) та студенти (III, V)	53 %	60 %	54 %	62 %

З метою вдосконалення методики викладання спортивної біології, засад генетики та валеології було розроблено й апробовано комплекс лабораторних робіт і біологічних демонстрацій з елементами хімічного моделювання. Запропоновані моделі сприяють інтеграції знань із хімії, біології та медицини, що відповідає принципам міждисциплінарності STEM/STEAM-освіти [3; 11].

Використання хімічних моделей фізіологічного та патологічного стану сечі, а також хімічних аналогів реакції гемаглютинації під час визначення груп крові дає змогу слухачам гуртків і студентам глибше зрозуміти механізми нефролітазу та біохімічні особливості крові різних груп без безпосередньої роботи з біологічними рідинами людини. Такий підхід підвищує рівень безпеки освітнього процесу та розширює можливості експериментальної діяльності, сприяючи розвитку креативності в молодих науковців [1; 4].

Хімічне моделювання процесів успадкування груп крові забезпечує ефективне засвоєння ключових положень генетики, зокрема закону чистоти гамет, явищ множинного алелізму, взаємодії алельних і неалельних генів, а також сприяє формуванню навичок аналізу типів гамет і механізмів їх комбінування. Це створює умови для розвитку логічного та системного мислення здобувачів освіти.

Представлені біологічні демонстрації хімічного впливу на активність ферментів, зокрема впливу кислотності середовища на активність лізоциму слини та стан природного імунітету людини, а також впливу концентрації хлориду натрію і глюкози на активність каталази та антистресовий захист живих клітин. Зазначені демонстрації дають змогу наочно пояснити механізми регуляції ферментативної активності та їхнє значення для підтримання гомеостазу організму.

**Висновки.** Реалізація занять з елементами хімічного моделювання сприяє розвитку креативності здобувачів освіти, оскільки передбачає аналіз експериментальних ситуацій, висунення гіпотез, пошук альтернативних рішень і створення власних моделей біологічних процесів. У межах STEAM-підходу це доповнюється елементами візуалізації, проектною діяльністю та рефлексії, що підсилює мотивацію до навчання.

Порівняльний аналіз ефективності занять із використанням хімічного моделювання та занять, орієнтованих переважно на запам'ятовування лекційно-теоретичного матеріалу і презентації, показав, що рівень засвоєння знань у першому випадку є вищим у середньому на 15 %. Це підтверджує доцільність і перспективність упровадження хімічного моделювання як складника сучасної STEM/STEAM-орієнтованої методики навчання спортивної біології, генетики та валеології.

## Використані літературні джерела

1. Анічкіна О. В., Авдєєва О. Ю. Використання інтерактивного моделювання при викладанні хімії в закладах вищої освіти. *Інноваційна педагогіка*. 2022. № 1(48). С. 38–41.
2. Бабак С. В. Біоніка – між світами живого й штучного. *Біологічні науки та освіта в контексті європейської інтеграції*: наукова монографія. Рига. Baltija. 2024. С. 2–18. DOI: <https://doi.org/10.3052/978-9934-26-443-6-1>.
3. Биков В. Ю. Моделювання навчального середовища сучасних педагогічних систем. *Вісник Академії дистанційної освіти*. 2004. № 2. С. 6–14.
4. Мегалінська Г. П., Білик Ж. І., Білик В. Г., Токарський Д. В. Формування у майбутніх фахівців спеціальності здоров'я людини та фізична рекреація вміння використовувати показник групи крові людини. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15. Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)*. 2024. Випуск 4. С. 86–90. DOI: [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.4\(177\).17](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.4(177).17).
5. Мординський І. С., Камінський О. М., Тітов Ю. О., Євдоченко О. С., Денисюк Р. О., Чайка М. В., Писаренко С. В., Панасюк Д. Ю. Процеси адсорбції барвників нікелевими шпінелями. *IV Всеукраїнська інтернет-конференція молодих вчених «Перспективи хімії в сучасному світі»*. Житомир: Видавництво ЖДУ ім. І. Франка. 2024. С. 114–116.
6. Соляник О., Ляшенко В. Олімпіадний біологічний практикум: посібник. Київ: Аксіома. 2020. 120 с.
7. Ямборак Р. С. Хімічна експлорація: оптимізація навчання хімії через інтеграцію STEM-підходів. *Збірник наукових праць «Педагогічні науки»*. 2024. № 105. С. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-1865/2024-105-10>.
8. Aksela M., Lundell J. Computer-based molecular modelling: Finnish school teachers' experiences and views. *Chem. Educ. Res. Pract.* 2008. 9. P. 301–308. DOI: <https://doi.org/10.1039/B818464J>.
9. Aksela M., Perna J., Ghulam S. Introduction to Molecular Modeling in Chemistry Education. *e-Opini*. 2017. P. 105.
10. Barnea N., Dori Y. J. Computerized molecular modeling as a tool to improve chemistry teaching. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*. 1996. Vol. 36. No. 4. P. 629–636. DOI: <https://doi.org/10.1021/ci950122o>.
11. Bonjoch N. P., Tamayo P. R. Protein content quantification by Bradford method. *Handbook of plant ecophysiology techniques*. Dordrecht. Springer Netherlands. 2001. P. 283–295. DOI: [https://doi.org/10.1007/0-306-48057-3\\_19](https://doi.org/10.1007/0-306-48057-3_19).
12. Justi R., Gilbert J. K. Models and modelling in chemical education. *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Dordrecht. Springer. 2002. P. 47–68. DOI: [https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X\\_3](https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_3).
13. Kiverlyag A. A. Research methods in professional pedagogy. Tallinn: Valgus. 1980. 334 p.
14. Rajpoot I. S., Patel H., Thakur R. S., Khare B., Jain A., Jain P. K., Thakur B. S. Review on Molecular Modelling in Chemistry Education. *Asian Journal of Dental and Health Sciences*. 2022. Vol. 2. № 4. P. 55–58. DOI: <https://doi.org/10.22270/ajdhs.v2i4.26>.
15. Taly A., Nitti F., Baaden M., Pasquali S. Molecular modelling as the spark for active learning approaches for interdisciplinary biology teaching. *Interface Focus*. 2019. Vol. 9. № 3. Art. 20180065. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsfs.2018.0065>.

## References

1. Anichkina, O. V., & Avdieieva, O. Yu. (2022). Vykorystannia interaktyvnoho modeliuvannia pry vykladanni khimii v zakladakh vyshchoi osvity [Use of interactive modeling in teaching chemistry in higher education institutions]. *Innovatsiina pedahohika – Innovative Pedagogy*, 1(48), 38-41. [in Ukrainian].
2. Babak, S. V. (2024). Bionika – mizh svitamy zhyvoho i shtuchnoho [Bionics – between the worlds of living and artificial]. *Biologichni nauky ta osvita v konteksti yevropeiskoi intehtratsii: naukova monohrafiia – Biological sciences and education in the context of European integration: scientific monograph*, 2-18. DOI: <https://doi.org/10.3052/978-9934-26-443-6-1>. [in Ukrainian].
3. Bykov, V. Yu. (2004). Modeliuvannia navchalnoho seredovyscha suchasnykh pedahohichnykh system [Modeling the learning environment of modern pedagogical systems]. *Visnyk Akademii dystantsiinoi osvity – Bulletin of the Academy of Distance Education*, 2, 6-14. [in Ukrainian].
4. Mehalinska, H. P., Bilyk, Zh. I., Bilyk, V. H., & Tokarskyi, D. V. (2024). Formuvannia u maibutnikh fakhivtsiv spetsialnosti zdorovia liudyny ta fizychna rekreatsiia vminnia vykorystovuvaty pokaznyk hrupy krovi liudyny [Formation of the ability to use the human blood group indicator in future specialists in the specialty of human health and physical recreation]. *Naukovyi chasopys Ukrainskoho derzhavnoho universytetu imeni Mykhaila Drahomanova. Seriiia 15. Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (fizychna kultura i sport) – Scientific journal of the National Pedagogical Dragomanov University. Series 15. Scientific and pedagogical problems of physical culture (physical culture and sports)*, 4, 86-90. DOI: [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.4\(177\).17](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.4(177).17). [in Ukrainian].
5. Mordynskyi, I. S., Kaminskyi, O. M., Titov, Yu. O., Yevdochenko, O. S., Denysiuk, R. O., Chaika, M. V., Pysarenko, S. V., & Panasiuk, D. Yu. (2024). Protsesy adsorbtsii barvnykiv nikelovymy shpineliamy [Adsorption processes of dyes by nickel spinels]. *IV Vseukrainska internet-konferentsiia molodykh vchenykh «Perspektyvy khimii v suchasnomu sviti» – IV All-Ukrainian internet conference of young scientists "Perspectives of chemistry in the modern world"*, 114-116. [in Ukrainian].

6. Solianyk, O., & Liashenko, V. (2020). Olimpiadni biolohichni praktykum : posibnyk [Olympiad biological practicum : manual]. [in Ukrainian].
7. Yamborak, R. S. (2024). Khimichna eksploratsiia: optymizatsiia navchannia khimii cherez intehratsiiu STEM-pidkhodiv [Chemical exploration: optimization of chemistry teaching through the integration of STEM approaches]. *Zbirnyk naukovykh prats «Pedagogichni nauky» – Collection of scientific works "Pedagogical Sciences", 105*, 69-74. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-1865/2024-105-10>. [in Ukrainian].
8. Aksela, M., & Lundell, J. (2008). Computer-based molecular modelling: Finnish school teachers' experiences and views. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 9, 301-308. DOI: <https://doi.org/10.1039/B818464J>.
9. Aksela, M., Perna, J., & Ghulam, S. (2017). Introduction to Molecular Modeling in Chemistry Education. *e-Opini*. P. 105.
10. Barnea, N., & Dori, Y. J. (1996). Computerized molecular modeling as a tool to improve chemistry teaching. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 36(4), 629-636. DOI: <https://doi.org/10.1021/ci950122o>.
11. Bonjoch, N. P., & Tamayo, P. R. (2001). Protein content quantification by Bradford method. *Handbook of plant ecophysiology techniques*, 283-295. DOI: [https://doi.org/10.1007/0-306-48057-3\\_19](https://doi.org/10.1007/0-306-48057-3_19).
12. Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Models and modelling in chemical education. *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, 47-68. DOI: [https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X\\_3](https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_3).
13. Kiverlyag, A. A. (1980). Research methods in professional pedagogy.
14. Rajpoot, I. S., Patel, H., Thakur, R. S., Khare, B., Jain, A., Jain, P. K., & Thakur, B. S. (2022). Review on Molecular Modelling in Chemistry Education. *Asian Journal of Dental and Health Sciences*, 2(4), 55-58. DOI: <https://doi.org/10.22270/ajdhs.v2i4.26>.
15. Taly, A., Nitti, F., Baaden, M., & Pasquali, S. (2019). Molecular modelling as the spark for active learning approaches for interdisciplinary biology teaching. *Interface Focus*, 9(3), 20180065. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsfs.2018.0065>.

Прийнято 18 лютого 2026 року.

Затверджено 27 лютого 2026 року.

Опубліковано 31 березня 2026 року.

Матеріал ліцензується на умовах міжнародної ліцензії Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).