

Шапка Анатолій,
учитель хімії та біології,
Ліцей №34 імені Віктора Максименка;
керівник гуртка «Космічна біологія»,
Київський Палац дітей та юнацтва,
м. Київ, Україна
bioproekt73@gmail.com

КОСМІЧНА БІОЛОГІЯ ЯК МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ НАПРЯМ ІНТЕГРАЦІЇ ХІМІЇ, БІОЛОГІЇ ТА КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СИСТЕМІ ПОЗАШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ

Анотація. У статті обґрунтовано космічну біологію як міждисциплінарний напрям інтеграції біології, хімії та космічних досліджень у системі позашкільної освіти. Розкрито наукові засади функціонування замкнутих біосистем життєзабезпечення та визначено їхній освітній потенціал у формуванні дослідницької культури й системного мислення. Описано навчальну модель замкнутої біосистеми, що поєднує гідропонне вирощування рослин, біоконверсію органічних відходів за участю комах та систему контролю середовища. Представлено результати практичної апробації моделі в умовах позашкільного закладу освіти, що підтвердили її наукову та педагогічну результативність. Показано, що реалізація міждисциплінарного підходу сприяє формуванню дослідницьких, STEM, екологічних і цифрових компетентностей, розвитку критичного та системного мислення, а також підвищенню академічної й професійної конкурентоспроможності молоді.

Ключові слова: космічна біологія; замкнута біосистема; міждисциплінарна інтеграція; позашкільна освіта; STEM-компетентності.

Annotation. *The article substantiates space biology as an interdisciplinary field integrating biology, chemistry, and space research within the system of extracurricular education. The scientific foundations of closed-loop life support systems are examined, and their educational potential for fostering research culture and systems thinking is identified. An educational model of a closed biological system is described, combining hydroponic plant cultivation, insect-based bioconversion of organic waste, and environmental monitoring and control mechanisms. The results of the practical implementation of the model in an extracurricular educational institution are presented, confirming its scientific relevance and pedagogical effectiveness. It is demonstrated that the application of an interdisciplinary approach contributes to the development of research, STEM, environmental, and digital competences, enhances critical and systems thinking, and strengthens the academic and professional competitiveness of young people.*

Key words: *space biology; closed-loop biological system; interdisciplinary integration; extracurricular education; STEM competences.*

Вступ. Сучасний етап розвитку науки й технологій характеризується посиленням міждисциплінарних зв'язків та інтеграцією природничих і технічних знань у межах вирішення комплексних прикладних завдань. Дослідження, пов'язані з освоєнням космічного простору, створенням автономних систем життєзабезпечення та моделюванням замкнутих екосистем, потребують поєднання досягнень біології, хімії, екології, інженерії та інформаційних технологій. У цьому контексті космічна біологія постає як міждисциплінарний напрям, що забезпечує наукове підґрунтя для розроблення біореєнеративних систем, вивчення впливу екстремальних факторів середовища на живі організми та моделювання умов довготривалого автономного існування людини.

Освітній потенціал космічної біології полягає в можливості інтеграції теоретичних знань із практичною дослідницькою діяльністю. Особливої актуальності це набуває в системі позашкільної освіти, яка створює сприятливі

умови для реалізації довготривалих експериментів, проєктної роботи та формування міжпредметних зв'язків. Моделювання замкнутих біосистем у навчальному процесі дозволяє поєднати знання про хімічні процеси обміну речовин, біологічні закономірності функціонування організмів і принципи автономності, що використовуються в космічних дослідженнях.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування й аналіз практичної апробації космічної біології як міждисциплінарного напрямку інтеграції хімії, біології та космічних досліджень у системі позашкільної освіти, а також визначення її ролі у формуванні дослідницьких, STEM- та екологічних компетентностей і підвищенні конкурентоспроможності молоді в умовах сучасного науково-технологічного розвитку.

Виклад основного матеріалу. Космічна біологія є міждисциплінарною галуззю наукового знання, що досліджує вплив чинників космічного середовища на живі системи різних рівнів організації, механізми їхньої адаптації та можливості створення автономних біологічних систем життєзабезпечення людини за межами Землі. Її становлення відбулося на перетині біології, медицини, хімії, фізики, екології та інженерії, що зумовлює інтегративний характер досліджень і поєднання фундаментального та прикладного вимірів. Напрямок космічної біології є визнаним на світовому рівні як один з найважливіших у процесі вивчення й освоєння людиною космосу. Україна є одним із світових центрів комплексних досліджень у галузі космічної біології [1, с. 76].

Об'єктом космічної біології виступають живі системи від клітинного до екосистемного рівня, включаючи моделі замкнених біосфер. Предметом дослідження є зміни біологічних процесів під впливом специфічних факторів космічного простору – мікрогравітації, іонізуючого випромінювання, вакууму, ізоляції, обмеженого простору та порушення циркадних ритмів [2]. У цьому контексті фундаментальні дослідження спрямовані на виявлення механізмів адаптації живих систем до екстремальних умов, тоді як прикладний аспект

орієнтований на розроблення біореєнеративних систем життєзабезпечення для тривалих космічних місій [3, с. 36-37].

Одними з ключових чинників космічного середовища є мікрогравітація та радіація, які істотно впливають на біологічні процеси. Мікрогравітація змінює клітинну організацію, морфогенез і просторову орієнтацію тканин [4, с. 1]. У рослин порушується геотропізм і розподіл фітогормонів, що потребує застосування контрольованих неґрунтових технологій – гідропоніки та аеропоніки [5, с. 713]. У тварин можливі фізіологічні зрушення, однак безхребетні, зокрема комахи, демонструють високу адаптивність до змінених умов.

Космічна радіація спричиняє пошкодження ДНК, мутації та оксидативний стрес, що зумовлює необхідність створення стабільних біореєнеративних систем із замкненими циклами речовин [6]. У таких системах реалізуються вуглецевий, азотний і водний цикли, які забезпечують газообмін, переробку відходів і відновлення поживних ресурсів.

Особливу роль у функціонуванні замкнених біосистем відіграють комахи. Личинки чорної львинки ефективно переробляють органічні відходи на білково-ліпідну біомасу та знижують мікробне навантаження, тоді як мадагаскарські таргани утилізують грубі рослинні залишки й характеризуються високою витривалістю. У процесі біоконверсії відбуваються гідроліз, мінералізація органіки та формування гумусових сполук, що забезпечує повернення поживних речовин у цикл. Поєднання комах як ефективних утилізаторів органічних залишків із гідропонними та аеропонними технологіями створює основу стабільної замкненої біосистеми, наближеної до принципів автономного життєзабезпечення в космічних умовах.

У контексті позашкільної освіти космічна біологія виступає як методологічна основа формування комплексного розуміння взаємозв'язків у природі та технологіях, а також міжпредметних зв'язків між хімією, біологією та космічними дослідженнями. Цей напрям сприяє розвитку дослідницької культури, навичок моделювання й аналізу складних систем.

На базі Київського Палацу дітей та юнацтва було впроваджено модель гурткової роботи, яка поєднує теоретичне вивчення основ космічної біології, експериментальну діяльність, інженерні завдання та аналітичну обробку результатів. Практична реалізація ґрунтується на принципах міждисциплінарності, дослідницького підходу, проєктного навчання. Такий підхід дозволяє трансформувати абстрактні знання з біології та хімії у прикладні дослідницькі проєкти, стимулюючи інтерес учнів до наукових досліджень та формуючи практичні компетентності.

Для забезпечення повноцінного дослідницького процесу було створено матеріально-технічну базу, що включає інсектарій для вирощування чорної львинки, гідропонну систему для пророщування рослин, систему датчиків температури та вологості, освітлювальні модулі з таймерами та лабораторний журнал спостережень. Важливим аспектом було те, що вихованці не лише користувалися обладнанням, а й брали активну участь у його конструюванні, що сприяє розвитку інженерного мислення та розумінню принципів автономних систем.

У рамках роботи гуртка «Космічна біологія» було проведено комплексне експериментальне дослідження, результати якого було представлено на всеукраїнському рівні. Дослідження передбачало вивчення біології чорної львинки, створення інсектарію, визначення оптимальних умов розвитку комах і контроль середовища, включно з температурою і вологістю, а також спостереження за розвитком личинок та перетворенням корму на ентомогумус. Наступним етапом експерименту було гідропонне вирощування рослин (пшениці, гороху, редису) як потенційної складової замкненої біосистеми. Під час вирощування рослин було використано живильний розчин із додаванням ентомогумусу, контролювався рН та світловий режим. Було проведено порівняння результатів для груп рослин із різними умовами й оцінено ефективність використання органічного добрива. Практична робота завершувалася створенням концептуальної моделі замкненої біосистеми, у якій органічні відходи перетворюються на ентомогумус через діяльність личинок

чорної львинки, а отриманий продукт використовується для гідропонного вирощування рослин, які забезпечують харчування та кисень, а рослинні залишки знову повертаються до системи для подальшої переробки комахами. Таким чином, було сформовано системне бачення екосистеми та розуміння взаємозалежності компонентів замкнених біологічних систем.

Важливим етапом стала наукова апробація результатів дослідження на Всеукраїнській конференції-конкурсі науково-дослідних робіт учнівської молоді «Зоряний шлях» на базі Національного центру аерокосмічної освіти молоді ім. О. М. Макарова (м. Дніпро). Було презентовано результати спостережень й експериментів і комплексну модель замкнутої біологічної системи підтримки життєдіяльності. За оцінкою журі робота здобула перше місце, що підтвердило актуальність теми, наукову новизну, практичну цінність та високий рівень підготовки вихованців [7, с. 2]. Окрім того, участь у конференції допомогла вихованцям отримати фахові рекомендації щодо подальших досліджень і взяти участь в академічній дискусії. Представлення результатів роботи гуртка на всеукраїнському рівні засвідчило, що модель космічної біології, реалізована у позашкільній освіті, має реальний дослідницький потенціал, відповідає сучасним тенденціям розвитку науки і демонструє можливість інтеграції позашкільної освіти у загальнонаціональний науково-освітній простір.

Навчальна модель замкнутої біосистеми життєзабезпечення у позашкільній освіті є спрощеним, але функціональним прототипом біореєнеративної системи, що імітує циркуляцію речовин та енергії без постійного зовнішнього поповнення ресурсів. Вона є інтеграційною платформою для міждисциплінарного навчання. Запропонована навчальна модель об'єднує чотири блоки: первинну біомасу (рослини для фотосинтезу та формування харчової маси), біоконверсію (комахи чорна львинка та мадагаскарські таргани, які переробляють органічні відходи та утворюють ентомогумус), вторинну продукцію (використання ентомогумусу у живильному розчині для рослин) та контроль середовища (датчики температури, вологості,

освітлення, рН та вентиляції). Модель забезпечує стабільність мікроклімату та продуктивність системи за оптимальних умов.

Педагогічна цінність моделі полягає у формуванні міждисциплінарних компетентностей: вихованці мають можливість поєднувати знання з біології (спостереження за розвитком рослин і комах, біоконверсія), хімії (аналіз складу відходів, контроль рН, ферментація), фізики та інженерії (автоматизація освітлення, вентиляція, конструювання модулів для вирощування рослин). Окрім того, шляхом залучення вихованців до практичного створення і підтримки роботи навчальної моделі формується самостійність та відповідальність.

Процес роботи над замкнутою біосистемою сприяє формуванню ключових компетентностей. Дослідницька компетентність розвивається через формулювання гіпотез, планування експериментів, визначення змінних, фіксацію результатів, аналіз помилок і формування висновків, що відтворює повний цикл наукового дослідження. Одночасно інтегруються STEM-компетентності: вихованці застосовують біологічні, хімічні та екологічні знання (Science), працюють із гідропонними системами та датчиками (Technology), конструюють інсектарії (Engineering), розраховують масу, баланс речовин та температурні режими (Mathematics). Формування екологічної компетентності забезпечується через усвідомлення циклічності природних процесів, відповідального ставлення до ресурсів, мінімізації відходів та принципів сталого розвитку, де навіть органічні відходи розглядаються як ресурс. Використання цифрових інструментів, зокрема електронних датчиків, таблиць і програмного моделювання, сприяє розвитку цифрової компетентності, аналіз та інтерпретація даних формують навички обробки інформації. Окрім того, вивчення моделі стимулює розвиток системного мислення, оскільки демонструє численні взаємозв'язки між компонентами екосистеми та дозволяє учням бачити причинно-наслідкові взаємодії, прогнозувати наслідки змін і аналізувати баланс системи. Критичне мислення формується через зіткнення з непередбачуваними результатами, порушеннями балансу, змінами росту рослин

чи поведінки комах, що стимулює вихованців шукати альтернативні пояснення, перевіряти гіпотези та робити обґрунтовані висновки. Одночасно активується відповідальність і самостійність, адже стабільність системи залежить від дотримання температурного режиму, вологості, освітлення та дозування корму, що виховує дисципліну, планування часу та навички довготривалої роботи над проектом. Психологічний аспект діяльності виявляється також у розвитку терпіння та концентрації уваги, формуючи відчуття причетності до важливих наукових викликів. Робота в команді розвиває соціальні навички, комунікацію, публічні виступи та культуру наукової дискусії. Окрім того, космічна тематика значно підвищує мотивацію вихованців, оскільки вони працюють не просто над вирощуванням рослин, а над глобальною ідеєю системи автономного життя. Завдяки інтеграції різних галузей знань формуються конкурентоспроможні навички для майбутньої професійної діяльності у сферах науки, біотехнологій, космічних та інженерних технологій. Володіння міждисциплінарним підходом дозволяє не лише ефективно вирішувати комплексні науково-технічні завдання, а й готувати молодь до участі у міжнародних освітніх і дослідницьких проєктах, що сприяє її науковій, професійній та академічній конкурентоспроможності.

Довгостроковий педагогічний ефект проявляється у формуванні наукової картини світу, розвитку аналітичного мислення, здатності працювати з невизначеністю та готовності до міждисциплінарних завдань, що є ключовими для підготовки фахівців майбутнього. Таким чином, навчальна замкнута біосистема стає не лише експериментальною моделлю, а й потужним педагогічним інструментом, який комплексно впливає на інтелектуальний, емоційний, соціальний, професійно-орієнтаційний та екологічний розвиток учнів.

Впровадження космічної біології у позашкільну освіту демонструє, що сучасна STEM-підготовка може формуватися не через ізольоване вивчення дисциплін, а через інтеграцію знань у межах розв'язання комплексної проблеми – створення автономної біосистеми життєзабезпечення. Педагогічна цінність цього підходу полягає у перенесенні навчання з рівня засвоєння інформації на

рівень дослідницької діяльності, формуванні системного мислення, поєднанні теорії з практикою та розвитку відповідальності за результати експерименту. У межах запропонованої моделі учень перестає бути пасивним споживачем знань і стає дослідником, конструктором та аналітиком.

Перспективи розвитку космічної біології у позашкільній освіті охоплюють наукове поглиблення досліджень, інженерну модернізацію, біотехнологічне розширення, міжнародну інтеграцію та створення лабораторій нового покоління. Модель замкнутої біосистеми має потенціал стати не лише навчальним інструментом, а й платформою для формування майбутніх фахівців у сфері космічної біотехнології.

Висновки. У роботі теоретично обґрунтовано космічну біологію як міждисциплінарний напрям, що інтегрує біологію, хімію, екологію, інженерію та елементи космічних досліджень у межах вирішення завдань автономного життєзабезпечення. Показано, що моделювання замкнутих біосистем є ефективною формою реалізації такої інтеграції в освітньому процесі та дозволяє поєднати фундаментальні знання з їх прикладним застосуванням.

Практична апробація навчальної моделі замкнутої біосистеми у позашкільній освіті підтвердила її наукову та педагогічну результативність. Створена система, що об'єднує блоки первинної біомаси, біоконверсії, вторинної продукції та контролю середовища, функціонує як спрощений прототип біореєнеративної системи й відтворює принципи циркуляції речовин та енергії. Реалізація повного циклу дослідницької діяльності: від формулювання гіпотез до аналізу результатів і публічної презентації, – засвідчила ефективність дослідницько-проектного підходу.

Впровадження міждисциплінарної моделі сприяє формуванню комплексу ключових компетентностей: дослідницької, STEM, екологічної, цифрової та соціальної. У процесі роботи розвиваються системне й критичне мислення, здатність до аналізу складних взаємозв'язків, обробки даних, прийняття обґрунтованих рішень і роботи в умовах невизначеності. Інтеграція знань у

межах єдиної практичної проблеми трансформує навчання з рівня засвоєння інформації на рівень науково-дослідницької та інженерної діяльності.

Застосування космічної біології у позашкільній освіті підвищує мотивацію до вивчення природничих наук, сприяє професійній орієнтації у сферах біотехнологій, інженерії та космічних досліджень і створює підґрунтя для академічної та професійної конкурентоспроможності молоді. Таким чином, навчальна модель замкнутої біосистеми виступає не лише експериментальною платформою, а й ефективним педагогічним інструментом формування міждисциплінарного мислення, наукової культури та готовності до розв'язання комплексних завдань майбутнього.

Список використаних джерел

1. Кордюм Є. Л. Перспективи розвитку космічної біології та медицини у світі та в Україні. *Космічна наука і технологія*. 2005. Т. 11, № 1–2. С. 75–86.
2. NASA. Space Biology Program. URL: <https://science.nasa.gov/biological-physical/programs/space-biology/> (дата звернення: 27.02.2026).
3. Кордюм Є. Л. Проекти з космічної біології в Україні: сучасні тенденції. *Космічна наука і технологія*. 2023. Т. 29, № 1 (140). С. 36–51.
4. Tomsia M., Cieřła J., Śmieszek J. et al. Long-term space missions' effects on the human organism: what we do know and what requires further research. *Frontiers in Physiology*. 2024. Vol. 15. Article 1284644. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10896920/> (дата звернення: 27.02.2026).
5. Kashyap S. Soil Based, Aeroponic and Hydroponic Systems in Space with Microgravity and Hypogravity Conditions. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*. 2020. Vol. 6, Issue 4. P. 707–713.
6. Horneck G., Rettberg P. The Biological Effects of Cosmic and Solar Radiation on Human Space Travel. *Advances in Space Research*. 2019. Vol. 44, Issue 7. P. 1284–1294.
7. Матеріали XXIII Всеукраїнської конференції-конкурсу науково-дослідних робіт «Зоряний шлях». 21-25 квітня 2025 р. URL:

<https://conferences.unaec.dp.ua/uploads/source/starway/X%D0%A5%D0%86%D0%86%D0%86.pdf> (дата звернення: 27.02.2026).