

Міністерство освіти і науки  
Житомирський державний університет імені Івана Франка  
Природничий факультет  
Кафедра екології та географії

**Хом'як І.В.**

**Методичні рекомендації до організації самостійної роботи з освітньої  
компоненти  
«Основи астроекології»**

Для підготовки здобувачів першого  
(бакалаврського) рівня вищої освіти

Галузь знань Е Природничі науки  
Спеціальність Е2 Екологія  
Предметна спеціальність -  
Спеціалізація -  
Освітня програма Екологія  
Факультет Природничий

Автор:  
професор кафедри екології та географії **Хом'як Іван**

Житомир 2026

УДК 574.5+523.3  
Х-76

Рекомендовано до друку вченою радою Житомирського державного університету імені Івана Франка (протокол № 11 від 29.05. 2026 р.).

**Рецензенти:**

**Олександр КРАТЮК** – доктор біологічних наук, професор кафедри лісового та садово-паркового господарства Поліського національного університету

**Наталія БОРДЮГ** – доктор педагогічних наук, професор, директор Комунального закладу позашкільної освіти «Обласний еколого-натуралістичний центр» Житомирської обласної ради;

**Діана ГАРБАР** – доцент, кандидат біологічних наук, доцент кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи Житомирського державного університету імені Івана Франка.

Х-76

Хом'як І. В. Методичні рекомендації до організації самостійної роботи з освітньої компоненти «Основи астроекології». Житомир: видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2026. 140 с.

Інструктивно-методичні рекомендації для практичних робіт з курсу «Основи астроекології» розроблені на основі сучасних досягнень в галузі астробіології та екології. Підготовані до практичних робіт матеріали включають в себе сучасні наукові дані та відображають актуальні проблеми теоретичної та практичної складової сучасної екології. Інструктивно-методичні рекомендації призначені для здобувачів вищої освіти.

©Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2026

## ЗМІСТ

Вступ	4
Загальна характеристика освітньої компоненти	7
Загальні правила організації самостійної роботи	10
Аудиторна самостійна робота	12
Робота з першоджерелами та літературою	14
Підготовка рефератів та есе	36
Розрахунково-графічні роботи	51
Курсові роботи та проекти	66
Проектно-конструкторські задачі	82
Науково-дослідна робота	95
Підготовка презентацій та виступів	97
Аналітико-прогностичні кейси	99
Теоретико-методологічні дослідження	114
Підготовка до контрольних робіт	116
Самостійна теоретична підготовка	118
Тестові завдання	120
Ситуативні задачі	123
Розрахунково-моделюючі задачі	126
Рекомендована література та інтернет-ресурси	129

## ВСТУП

Майбутнє нашої цивілізації та її здатність до виживання напряду залежать від готовності вийти за межі земної колиски. Космос приховує безліч фатальних загроз, які мають перманентний і невідворотний характер, створюючи постійні ризики для всього живого на планеті. Те, що людство досі не постраждало від масштабних позаземних катаклізмів, варто розцінювати як щасливий збіг обставин, а не гарантовану стабільність. Проте будь-який ліміт удачі рано чи пізно вичерпується. Щоб не стати жертвами планетарної катастрофи, ми зобов'язані максимально ефективно використати теперішній сприятливий період для створення надійних механізмів захисту. Пріоритетним завданням є стрімке накопичення технологічного та ресурсного потенціалу, що дозволить мінімізувати вразливість нашого виду.

Разом з тим, не варто забувати про нерозривний біологічний зв'язок людини з рідною планетою. Космічна експансія не повинна супроводжуватися виснаженням земних ресурсів; навпаки, прогрес у сфері виробництва та інженерії має йти пліч-о-пліч із посиленням екологічного захисту Землі. Справжня філософія сталого поступу полягає саме в цьому балансі: здобутті могутності для підкорення нових горизонтів за умови збереження природної унікальності нашої домівки.

Сучасний етап розвитку цивілізації характеризується початком якісно нового етапу освоєння космічного простору. Якщо попередні десятиліття були присвячені переважно теоретичним дослідженням та короткочасним експедиціям, то сьогодні людство стоїть на порозі створення постійних поселень на Місяці та підготовки пілотованих місій до Марса. Велика кількість таких проектів уже реалізуються провідними космічними агентствами світу.

Експедиції на дальні космічні об'єкти змушують дослідників по-новому поглянути на екологічну складову місії. У цьому контексті екологію слід розглядати не як інструмент протидії забрудненню, а в її первинному значенні – як фундаментальну науку про складні взаємодії живих систем із їхнім оточенням. Саме в межах астроекології вивчення життєдіяльності індивіда в ізолюваному середовищі стає центральним питанням.

Життєвий простір космонавта, незалежно від його походження (природного чи синтетичного), фактично є повноцінною екосистемою. Людина ніколи не перебуває в космосі наодинці: її незмінно супроводжує величезна сукупність мікроорганізмів та супутніх біологічних видів. Ця «біологічна свита» перебуває з господарем у постійній взаємодії, що варіюється від взаємовигідного симбіозу до паразитичних відносин. Оскільки повна стерилізація людини неможлива без заподіяння шкоди її здоров'ю, вона залишається ядром консорціуму для власної мікробіоти за будь-яких умов.

Окрім внутрішньої мікрофлори, до замкненого середовища космічних апаратів неминуче потрапляють інші організми, що заповнюють різні трофічні рівні. У таких штучних нішах спонтанно виникають ланцюги живлення, де присутні як редуценти, що переробляють відходи життєдіяльності, так і первинні продуценти – наприклад, водорості чи ціанобактерії. Отже, тривала експлуатація будь-якого герметичного приміщення в космосі неминуче призводить до самовільного зародження та еволюції специфічної екосистеми.

Розробка космічних об'єктів традиційно фокусується на створенні оптимальних параметрів життєзабезпечення для екіпажу. Проте інженерні розрахунки часто ігнорують динамічну природу штучних середовищ, які функціонують як повноцінні екосистеми з притаманними їм сукцесійними явищами. У процесі сингенезу мікроорганізми та супутні види, що оточують персонал, формують стабільні угруповання, які з часом проходять трансформацію. Це неминуче провокує ендоекогенез – внутрішню перебудову середовища під впливом біологічних факторів. Як наслідок, первісні проектні характеристики приміщень змінюються мимовільно, що в більшості випадків веде до погіршення якості довкілля.

Ще складнішою вбачається ситуація на майбутніх місячних поселеннях. Прагнення до повної автономії та зменшення залежності від земних ресурсів потребує створення розвинених

агросистем. Таким чином, окрім мікрофлори людини, до колоній масово потраплятимуть сільськогосподарські культури разом із притаманним їм біологічним оточенням.

Зі збільшенням інтенсивності логістичного сполучення між нашою планетою та позаземними станціями зростатиме й потік небажаних видів (спонтанної біоти). Це активізує некеровані сукцесії, які можуть загрожувати стабільності всієї бази. Виникає гостра потреба у розробці методів постійного моніторингу та активного управління біологічними перетвореннями у штучних контурах проживання.

Схожі механізми ми спостерігаємо і в земних умовах, коли внаслідок природних катаклізмів або техногенного впливу виникають дегровані території з практично відсутньою біотою. Реколонізація таких ділянок забезпечується за рахунок збереженого ґрунтового банку насіння або занесення зачатків життя ззовні, що запускає ланцюг послідовних сукцесійних змін. Ці трансформації можуть відбуватися як стихійно, так і в межах керованої рекультивациі чи фітомеліорації. Подібно до створення замкнених контурів на космічних об'єктах, фахівці намагаються впроваджувати на таких ділянках конкретні біологічні групи. Проте неконтрольовані природні явища часто стають на заваді цим планам, а активне поширення агресивних інвазійних видів-трансформерів здатне докорінно змінити напрямок екосистемного розвитку.

Водночас існують прецеденти, коли природний «самостійний тераформінг» виправляє прорахунки проектувальників. Наприклад, створення лісових масивів помилково розглядають лише як посадку саджанців для отримання сировини, ігноруючи складну динамічну структуру лісу як системи. Висадка соснових монокультур ще не гарантує формування повноцінного біоценозу; такі насадження нерідко лишаються слабкими, схильними до швидкої деградації або загибелі.

Проте часто саме стихійне відновлення флори демонструє значно вищу ефективність, ніж штучне втручання чи традиційна рекультивациа. Якщо порівнювати ці підходи через призму екосистемних послуг, перевага природної регенерації стає очевидною. Різниця між звичайною лісовою плантацією та цілісною лісовою екосистемою полягає саме в обсязі та якості корисних функцій, які вони здатні забезпечити для людства.

У цьому контексті вивчення освітньої компоненти «Основи астроекології» набуває особливої актуальності, адже вона формує науковий фундамент для забезпечення життєдіяльності та екологічної безпеки поза межами нашої планети.

Астроекологія як міждисциплінарна наука виникла на стику екології, астробіології, космічної медицини та інженерії. Її об'єктом є вивчення взаємодії живих систем (від мікроорганізмів до людини) із екстремальними факторами космічного середовища, а також проектування штучних екосистем, здатних функціонувати в умовах іншої гравітації, радіаційного фону та відсутності земної атмосфери. Головна складність та водночас унікальність цієї дисципліни полягає у необхідності поєднання принципів класичної відновлюваної екології із жорсткими обмеженнями замкнених технічних контурів космічних апаратів та баз.

Фактично, сучасна академічна екологія значною мірою зосереджена на специфіці біосфери Землі. Численні її принципи, які традиційно сприймаються як фундаментальні, часто виявляються лише частковими закономірностями, що впливають із «земного егоцентризму» наукової думки. Астроекологія, своєю чергою, долає ці обмеження, відмовляючись від виключної прив'язки до біологічних систем нашої планети. У такому контексті вона постає як більш масштабна та інтегральна дисципліна, ніж класичне екологічне вчення.

Аналіз життєдіяльності організмів у позаземних умовах дозволяє науковцям дестулювати справді глобальні закони функціонування складних систем. Застосування цих універсальних теоретичних засад у процесі реконструкції або проектування нових екосистем забезпечує значно вищу точність прогнозів та надійність отриманих результатів. Це дозволяє досягати поставлених цілей з меншими витратами ресурсів та вищою продуктивністю.

Більше того, такий підхід є практичним: під час екологічного відновлення на Землі ми вчимося спрямовувати стихійні природні трансформації у потрібне нам русло або ж мінімізувати їхні небажані наслідки. Аналогічну стратегію необхідно імплементувати і в межах космічної експансії людства, де здатність керувати динамікою штучних екосистем стане ключем до успішного освоєння далеких світів.

Трансформація сучасної вищої освіти переміщує акцент із пасивного засвоєння знань на активне самостійне пізнання, що є особливо критичним для таких інноваційних галузей, як астроекологія. Самостійна робота студентів з дисципліни «Основи астроекології» – це не просто доповнення до лекційного курсу, а ключовий етап формування професійного світогляду дослідника, здатного проектувати майбутнє людства за межами Землі.

Астроекологія за своєю природою є синтетичною наукою. Вона вимагає від здобувача впевненого володіння інструментарієм біології, хімії, фізики та екологічного моніторингу, адаптованого до умов космічного простору. Самостійне опрацювання теоретичного матеріалу та виконання індивідуальних завдань дозволяє глибше зануритися у специфіку взаємодії живих систем із екстремальними чинниками – від мікрогравітації та вакууму до космічного випромінювання високих енергій. Окремим вектором самостійної підготовки є вивчення досвіду відновлюваної екології на Землі та пошук методологічних шляхів його імплементації у створення регенеративних систем життєзабезпечення на Місяці та Марсі.

Дані інструктивно-методичні матеріали покликані структурувати позааудиторну діяльність здобувача, надаючи чіткі орієнтири для опрацювання складних розділів курсу. Програма самостійної роботи охоплює широкий спектр тем: від аналізу теоретичних концепцій панспермії та техносигнатур до практичних розрахунків стійкості замкнених біоценозів. Виконуючи завдання, студенти вчаться працювати з актуальними науковими публікаціями в міжнародних базах даних, аналізувати звіти провідних космічних агентств (NASA, ESA) та самостійно будувати прогнози щодо екологічної ємності майбутніх місячних баз.

Особлива увага у посібнику приділяється проектній складовій. Здобувачам пропонується розробити власні концепції «зелених модулів» для місії «Артеміс», обґрунтувати вибір біологічних агентів для терраформування або запропонувати методи утилізації відходів у замкненому контурі. Така робота стимулює креативне мислення та дозволяє вийти за межі стандартних підручників, долучаючись до вирішення реальних наукових дилем сьогодення.

Методичні матеріали також містять блоки самоконтролю, які допомагають студенту об'єктивно оцінити рівень власних знань перед підсумковими заходами. Вони включають тестові завдання, питання для дискусій та кейс-стаді, що базуються на реальних сценаріях космічних польотів. Важливою частиною є опрацювання етичних аспектів астроекології – розуміння відповідальності за збереження біологічної чистоти інших планет та розробка протоколів планетарного захисту.

Самостійна робота з «Основами астроекології» виховує інтелектуальну дисципліну та готує фахівця до безперервного навчання в умовах стрімкого технологічного прогресу. Розуміння того, як земні екологічні закони трансформуються в умовах космосу, відкриває нові перспективи для вирішення глобальних проблем сталого розвитку і на нашій планеті

## Загальна характеристика освітньої компоненти

Астроєкологія – це один із розділів загальної екології, що вивчає фундаментальні закономірності взаємодії живих систем (від мікроорганізмів до складних біоценозів та людини) з середовищем, яке не обмежується біосферою Землі. Астроєкологія вивчає вплив космогенних факторів на біосистеми Землі та розташовані за її межами; дистанційний космічний моніторинг змін в екосистемах; пошук біосигнатур; моделювання умов середовища придатних для формування та розвитку життя й тераформування. Як складова частина загальної екології, вона розширює її межі, виходячи за межі біосфери Землі, та фокусується на універсальних принципах існування життя у Всесвіті.

Астроєкологія займається взаємодією біоти з космічним середовищем. Вона вивчає ресурси для життя на планетах, астероїдах і кометах, навколо різних зірок, у галактиках та у Всесвіті. Результати дозволяють оцінити майбутні перспективи життя, від планетарного до галактичного та космологічного масштабів. Серед факторів на яких вона найбільше зосереджує увагу енергія, а також мікрогравітація, радіація, тиск і температура. Також розглядаються способи, якими життя може поширюватися космічним середовищем, включаючи природну, спонтанну та спрямовану антропогенну панспермію. З поміж іншого астроєкологію цікавлять філософські питання пов'язані із біоцентричною, пан біотичною та планетарною етикою.

Термін «астроєкологія» вперше був застосований у контексті проведення досліджень реальних метеоритів для оцінки їхніх потенційних ресурсів, сприятливих для підтримки життя. Ранні результати показали, що матеріали, які потрапляють на Землю із космічного простору можуть підтримувати життя мікроорганізмів, водоростей та рослинних угруповань в атмосфері Землі з додаванням води та відсутніх елементів мінерального живлення. Окремі дослідження свідчать про те, що різноманітні планетарні матеріали, подібні до метеоритів, зібраних на Землі, можуть бути використані як сільськогосподарські ґрунти, оскільки вони забезпечують поживні речовини для підтримки мікроскопічного життя. Теоретична астроєкологія намагається змоделювати універсальні закономірності поширення життя у космосі, уникаючи недоліків «земного шовінізму». Прикладна астроєкологія працює із аналізом біосигнатур отриманих за допомогою дистанційних спостережень та під час інструментальних досліджень роботизованих місій. Експериментальна астроєкологія, як частина прикладної, оцінює планетарні матеріали, як цілі для астробіологічних досліджень та як потенційні біологічні ресурси. В результаті цих досліджень було встановлено що цілий ряд астероїдних матеріалів можна використовувати як середовище для вирощування земних рослин. Також астроєкологічні дослідження проводяться на штучних супутниках землі та орбітальних космічних станціях.

Окремим напрямком досліджень астроєкології є визначення потенційно перспективних зон для пошуків життя у Всесвіті. Щоб кількісно визначити потенційну кількість життя в біосферах, теоретична астроєкологія намагається оцінити кількість біомаси протягом тривалості існування біосфери. Астроєкологія оцінює ресурси та потенційну інтегровану в часі біомасу для планетарних систем, що знаходяться у придатних для життя зонах навколо зірок, а також для галактик та Всесвіту загалом. Такі астроєкологічні дослідження мають на меті кількісно визначити потенціал поширення життя в космосі з відповідним біорізноманіттям та інтелектом.

Проведені лабораторні експерименти показують, що матеріал з метеоритів, подрібнені у порошок відповідного розміру в поєднанні з водою та повітрям аналогічним земним, може забезпечити поживні речовини для підтримки різноманітних організмів від бактерій (таких як *Nocardia asteroides*) до водоростей та різноманітних культурних рослин (таких як наприклад, картопля та спаржа). Окремі земні організми продемонстрували здатність використовувати органічні речовини з вуглецевих метеоритів, як джерело вуглецю для власного метаболізму. Водорості та рослинні культури також добре росли на марсіанських метеоритах завдяки їх високому вмісту біодоступних фосфатів. Марсіанські матеріали очищені від токсичних речовин таких як перхлорати та стабілізовані гуміновими кислотами, досягли показників родючості ґрунту, порівнянних з продуктивними сільськогосподарськими ґрунтами. Такі експерименти відкривають

перспективи для тераформування ізольованих марсіанських екосистем під час організації тривалих дослідницьких місій.

Окремим розділом астроекологія, яка починає активно розвиватися в наш час є галактична екологія. Вона із одного боку вивчає потенціал поширення життя в Галактиці а із іншого боку можливості виходу земного життя на галактичний рівень. Якщо життя досягне галактичних розмірів, то наявні технології повинні мати доступ до таких матеріальних ресурсів та енергії, які гарантуватимуть стає життя біоти на багатьох планетах багатьох планетарних систем. Енергія та необхідні для життя та підтримки технологій речовини у такому випадку будуть ключовими елементами його поширення. Іншим фактором буде наявність та ймовірність катастроф космічних масштабів, які формують потужні стерилізуючі впливи.

Наведені вище результати астроекологічних досліджень вказують на те свідчать про те, що люди та земна біота можуть поширюватися в Галактиці за допомогою космічних подорожей або різних видів панспермії. Кількість можливого життя, яке може бути створене в галактиці, згідно з прогнозами деяких астроекологів, величезна. Інші оцінки більш скромні, особливо щодо високоорганізованого життя. Ці прогнози базуються на інформації про 15 мільярдів років, що минули з моменту Великого вибуху, але придатне для життя майбутнє набагато довше, охоплюючи трильйони еонів. Таким чином, фізика, астроекологічні ресурси та деякі космологічні сценарії можуть дозволити організованому життю тривати, хоча й зі все більшою швидкістю, нескінченно довго. З іншого боку у нашій галактиці постійно відбуваються стерелізуючі події. В ранньому Всесвіті із одного боку було недостатньо хімічних елементів для формування життя а із іншого боку перехід до сучасної епохи із зорями покоління один, супроводжувався багатьма крупними космічними подіями, які знищували усяке життя в радіусі кількох десятків а той сотень світлових років. Однак панспермія може носити не лише позитивний а й негативний характер. Тому що інвазія інопланетної біоти може призводити до знищення аборигенної, в тому числі й земної. Ці перспективи можуть бути вирішені шляхом довгострокового стратегічного розвитку астроекології як частини астробіології та загальної екології водночас.

Вирішення цих проблем має початися вже сьогодні із залученням різних спеціалістів. Для цього як вибіркова дисципліна пропонується курс «Основи астроекології». Його мета ознайомити здобувачів із загальними екологічними законами не обмеженими біосферою окремої планети та впливу поза планетних факторів на біосферу

Основними завданнями курсу є

- Розкрити роль і місце астроекології в системі природничих наук та її практичне значення для виживання людства;
- Ознайомити здобувачів із основними законами та закономірностями взаємодії біоти із космічним (позаземними) явищами;
- Ознайомити здобувачів із методологією астроекологічних досліджень та їхніми найбільш актуальними напрямками.

Здобувачі які проходять курс з «Осново Астроекології» повинні знати

- Історію та структури астроекології
- Вплив космічних факторів на екосистеми Землі
- Методології пошуку позаземного життя
- Гіпотезу унікальної Землі та парадокс Великого мовчання
- Протоколи контакту із позаземним життям за межами Землі
- Алгоритми колонізації космічного простору
- Алгоритми тератрансформації
- Методологію космічної експансії

Їхні вміння та навички включають в себе такі опції:

- Визначати особливості впливу космічних факторів на біоту Землі
- Визначати рівень достовірності методи пошуку біосигнатур
- Розробляти алгоритми колонізації
- Обирати алгоритми для тераформування колонізованих планет

У інформаційний обсяг освітньої компоненти входять такі теми:

Тема 1. Структура астробіології та її місце в системі природничих наук  
Предмет і завдання астробіології. Місце астробіології в системі природничих наук.  
Структура астробіології. Історія астробіології. Життя як космічне явище. Всесвіт – динамічна ієрархічна система. Стратегії виживання. Живі системи і їхні стратегії.

Тема 2. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі  
Закономірності взаємодії організмів із середовищем. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі. Біоморфи, як спосіб адаптації до умов середовища. Енергетичні потоки через популяцію. Енергетика екосистем. Потоки енергії в екосистемах. Екосистема, як упаковка еконіш. Динаміка екосистем: біоритми, сукцесія, флуктуації, еволюція. Моделювання динаміки екосистем. Екосистеми штучних космічних об'єктів. Моделювання динаміки та структури екзобіосфер.

Тема 3. Пошук позаземного життя  
Історія пошуків позаземного життя. Біосигнатури. Програма SETI. Програма Breakthrough Initiatives.

Тема 4. Гіпотеза унікальної Землі та парадокс Великого мовчання

Гіпотеза унікальної землі. Парадокс Фермі. Парадокс Великого мовчання. Рівняння Дрейка.

Тема 5. Протоколи контакту із позаземним життям за межами Землі

Проблема контакту. Протоколи контакту із позаземним життям на Землі. Протоколи контакту із позаземним життям за межами Землі. Безпеківі питання контакту із інопланетними розумними істотами. Етика першого контакту. Облаштування співіснування в космічному просторі.

Тема 6. Алгоритми колонізації космічного простору

Колонізація космічного простору. Причини космічної колонізації. Сучасний етап освоєння космічного простору. Технологічні бар'єри на шляху колонізації.

Тема 7. Алгоритми тератрансформації

Тератрансформація. Експансійні стратегії популяцій. Популяції едифікаторів. Популяції інвазійних видів трансформерів. Тератрансформація та рекультивація. Алгоритми тератрансформації.

Тема 8. Методологія космічної експансії

Космічна експансія. Етичні проблеми колонізації космічного простору. Космічна експансія – стратегічні задачі сьогодення.

Освітня компонента «Основи астробіології» викладається на II курсі, в 3 семестрі. На вивчення освітньої компоненти відводиться 120 години або 4 кредити ECTS. Пропонована форма занять це лекція та семінарське заняття. На самостійну роботу виділяється 80 годин (табл. 1)

**Табл. 1. Розподіл годин виділених на самостійну роботу із «Оснoв астробіології» за темами.**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Структура астробіології та її місце в системі природничих наук	5
2.	Тема 2. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі	5
3.	Тема 3. Пошук позаземного життя	5
4.	Тема 4. Гіпотеза унікальної Землі та парадокс Великого мовчання	5
5.	Тема 5. Протоколи контакту із позаземним життям за межами Землі	5
6	Тема 6. Алгоритми колонізації космічного простору	5
7	Тема 7. Алгоритми тератрансформації	5
8	Тема 8. Методологія космічної експансії	5
Всього:		80

## Загальні правила організації самостійної роботи

«Основи астроекології» – це інтегративна наукова галузь, що вимагає від здобувача не лише базових знань з біології та екології, а й розуміння фізики космічного простору, планетології та принципів функціонування складних технічних систем. Самостійна робота здобувача (САМОСТІЙНА РОБОТА ЗДОБУВАЧА) у межах цього курсу є не просто додатковим навантаженням, а основним інструментом формування професійного світогляду, оскільки динаміка розвитку космічних технологій випереджає будь-які статичні підручники.

Під час виконання завдань із самостійної роботи при вивченні «Основ астроекології» слід дотримуватися ряду правил.

### 1. Стратегічне планування та інформаційна гігієна

Ефективна самостійна робота починається з чіткого структурування інформаційного простору. Враховуючи міждисциплінарність астроекології, студент має дотримуватися таких правил:

Пріоритетність першоджерел. Оскільки астроекологія активно розвивається, покладатися лише на україномовні посібники 10-річної давнини неможливо. Робота має включати моніторинг баз даних Scopus та Web of Science, а також ресурсів NASA (Astrobiology Institute) та ESA.

Глосарійний підхід. Кожна тема супроводжується специфічною термінологією (сукцесія в замкнених системах, сингенез, ендоекогенез, радіорезистентність). Рекомендується вести власний термінологічний словник, що полегшує підготовку до модульного контролю.

Тайм-менеджмент. На самостійну роботу із «Основ астроекології» відводиться 80 годин. Частина його відводиться на вивчення теоретичного матеріалу. Якщо підходити до цих занять лише як до засвоєння теоретичного матеріалу, то розподіл часу має бути пропорційним: 30% (24 години) – опрацювання лекційного матеріалу, 50% (40 годин) – пошук та аналіз актуальних наукових статей, 20% (16 годин) – самоперевірка та синтез власних висновків.

### 2. Методика опрацювання теоретичного матеріалу

Самостійне вивчення теорії в астроекології відрізняється від класичних дисциплін необхідністю постійного порівняльного аналізу земних та позаземних процесів.

Алгоритм роботи над темою.

Порівняльна дедукція. Розглядаючи екологічний фактор (наприклад, випромінювання), спочатку вивчіть його дію в умовах біосфери Землі, а потім екстраполуйте ці знання на умови низької навколосемної орбіти чи поверхні Марса.

Моделювання сценаріїв. Наприклад, самостійно розробляйте ментальні карти функціонування СЖЗ (систем життєзабезпечення), візуалізуйте потоки речовини та енергії всередині станції, виділяючи критичні точки деградації середовища.

Критичний аналіз теорій, таких як наприклад про особливості «земного шовінізму»: При читанні літератури завжди ставте під сумнів універсальність земних екологічних законів. Чи діятиме правило Лібіха в умовах, де лімітуючий фактор створюється штучно?

### 3. Робота з кейсами та моделювання проєктів

Астроекологія – це наука про дію, тому самостійна робота здобувача повинна мати проєктний характер. Студенту рекомендується обрати один «об'єкт-модель» (наприклад, гіпотетичну місячну базу) і протягом семестру самостійно наповнювати цей кейс розрахунками:

Біотичний компонент. Оберіть перелік організмів для «біотичної свити». Чому саме ці ціанобактерії чи вищі рослини? Які типи взаємовідносин (симбіоз, коменсалізм) між ними виникнуть?

Проблема відходів як ресурс. Розгляньте роль редуцентів у вашій моделі. Як забезпечити повний кругообіг без накопичення токсичних залишків?

Аналіз інвазій. Самостійно змодельуйте ситуацію потрапляння агресивного штаму мікроорганізмів у замкнену екосистему. Які вектори сукцесії зміняться?

### 4. Організація роботи з науковою періодикою

Для досягнення високого рівня професійної компетенції студент має опрацювати за семестр не менше 5–7 англomовних міжнародних наукових публікацій із топ журналів у галузі астроекології, астробіології чи планетарної науки.

Правила конспектування статей:

Не переписуйте статтю повністю. Випишіть лише методологію (яким чином автори імітували космічні умови) та ключовий результат.

Співставляйте дані різних авторів. Якщо в статті 2011 року йдеться про високу виживаність *Chroococcidiopsis*, перевірте публікації 2024 року – можливо, виявлені нові механізми репарації ДНК.

#### 5. Самоконтроль та підготовка до атестації

Самостійна робота вважається завершеною лише тоді, коли знання трансформувалися у здатність до експертної оцінки.

Метод самозапитань. Замість повторення визначень, сформулюйте проблемні питання. Наприклад: «Чому спонтанний тераформінг на Землі часто ефективніший за штучну рекультивацию, і чи можна застосувати цей досвід на Марсі?»

Підготовка рефератів та есе. При написанні письмових робіт уникайте копіювання текстів з інтернету. Використовуйте структуру: Теза – Аргумент (на основі джерел) – Власний аналіз – Висновок. Це гарантує високу оригінальність тексту та демонструє роботу ШКТ (шлунково-кишкового тракту знань), а не просто пам'яті.

#### 6. Етичні та філософські аспекти самостійної роботи

Вивчення астроекології неможливе без розуміння відповідальності за «планетарний захист».

Етична рефлексія. Самостійно опрацюйте концепції панбіотичної етики. Чи маємо ми право заселяти планети земною біотою, якщо це знищить потенційне місцеве життя?

Футурологічний прогноз. Спробуйте оцінити розвиток людства на 50–100 років вперед через призму екологічних ресурсів. Чи є космічна експансія єдиним шляхом до сталого розвитку?

#### 7. Особливості виконання експериментальних робіт

Приступати до виконання експерименту необхідно лише із погодження викладача. При цьому слід строго дотримуватися інструкції щодо проведення експерименту та правил техніки безпеки.

Результати експерименту фіксуються в спеціальні його щоденники. Корисними є супровід проведення експерименту фото та відео фіксацією.

Часто експеримент проводять у вигляді відео-блогу, що дозволяє більш чітко простежити його перебіг та проаналізувати результати та наслідки.

#### 8. Технічні вимоги до оформлення результатів самостійної роботи здобувача

Будь-яка самостійна робота повинна бути належним чином задокументована. Це дисциплінує мислення та готує до написання курсових і дипломних робіт.

Посилання на джерела. Обов'язкове використання ДСТУ 8302:2015. Кожне твердження, яке не є вашим власним, повинно мати посилання.

Візуалізація. Використання авторських схем та таблиць підвищує оригінальність роботи та допомагає краще структурувати складні зв'язки астроекосистем.

Академічна доброчесність. Використання ШІ дозволяється лише як допоміжного інструмента для структурування думок чи пошуку перекладів. Основний текст має бути результатом інтелектуальних зусиль здобувача, що легко перевіряється через глибину аналізу та специфічність прикладів.

Самостійна робота з дисципліни «Основи астроекології» – це процес трансформації з пасивного споживача інформації на активного дослідника. Дотримання цих правил дозволить не лише успішно скласти іспит, а й сформувати фундамент для подальшої наукової чи практичної діяльності в аерокосмічній галузі. Пам'ятайте, що в астроекології вашим головним вчителем є критичне мислення та здатність бачити біосферу як частину неосяжного Космосу.

## Аудиторна самостійна робота

Аудиторна самостійна робота у процесі вивчення «Основ астроекології» не є простою реплікацією лекційного матеріалу. Це активна фаза інтелектуального пошуку, що відбувається під безпосереднім кураторством викладача, але за повної суб'єктності здобувача. Специфіка дисципліни полягає у відсутності жорстких канонів: астроекологія – це наука «на марші», де нові дані від марсоходів чи орбітальних телескопів можуть змінити парадигму за одну ніч. Тому головним правилом аудиторної самостійної роботи є перехід від запам'ятовування фактів до алгоритмізації мислення. Студент має навчитися самостійно вибудовувати екологічні зв'язки у середовищах, де земний досвід працює лише частково.

Для глибокого засвоєння курсу рекомендується розділити аудиторну роботу на три функціональні блоки: робота з науково-теоретичним базисом (блок аналізу), моделювання та вирішення ситуаційних завдань (блок синтезу), молоковіми та дискусійні панелі (блок верифікації).

### А. Робота з науково-теоретичним базисом (Блок аналізу)

На цьому етапі студент працює з фаховою літературою, яка пропонується викладачем для опрацювання безпосередньо на занятті.

Критичне читання першоджерел: Замість конспектування підручників, фокус зміщується на аналіз статей з журналів *Astrobiology*, *Icarus* або *Nature*. Студент має виділити методологію моделювання космічних умов (наприклад, як імітували марсіанський реголіт для вирощування ціанобактерій).

Деконструкція «земного центризму»: Самостійне виявлення в тексті тверджень, що базуються виключно на земних умовах (наявність гравітації, магнітного поля, атмосферного тиску) та оцінка їхньої релевантності для об'єктів позаземного простору.

### Б. Моделювання та вирішення ситуаційних завдань (Блок синтезу)

Це ядро АСР, де теоретичні знання трансформуються у прикладні навички.

Проектування консорціуму: Студенту пропонується самостійно скласти схему взаємодії організмів у замкненій системі життєзабезпечення (СЖЗ) для екіпажу з 5 осіб на 3 роки. Потрібно обґрунтувати вибір продуцентів, консументів та редуцентів.

Розрахунок екосистемних послуг: Оцінка обсягу кисню, води та біомаси, які може забезпечити обрана фітоценотична модель у порівнянні з масою технічного обладнання для регенерації.

Сценарії інвазій: Самостійне розв'язання кейсу: «В автономну оранжерею випадково потрапив штам цвілевих грибів. Опишіть вектори сукцесії та запропонуйте методи біологічного контролю».

### В. Колоквіуми та дискусійні панелі (Блок верифікації)

Аудиторна робота завершується апробацією власних висновків. Студенти обмінюються результатами своїх розрахунків або проектів і проводять взаємне рецензування, шукаючи слабкі місця в екологічних ланцюгах один одного.

Різні теми «Основ астроекології» вимагають різних підходів для аудиторної самостійної роботи здобувача на практичних заняттях. Окремі теми є досить специфічними. Наприклад, тема: «Методологія космічної експансії». В рамках огляду цієї теми природно виникає дискусія щодо того як поєднуються космічна експансія та сталий розвиток. Під час самостійної роботи над цією темою в аудиторії варто зосередитися на філософсько-екологічному дискурсі. Коли ми розглядаємо ресурсний потенціал, використовуючи довідкові дані, порівнюємо енергетичну ємність видобутку ресурсів на астероїдах та на Землі. Чи є це «сталим розвитком» у загальнопланетарному масштабі? Виникає потреба зв'язати концепцію «експансії як необхідності» із загрозами біосфері Землі (космічні явища, астероїдна небезпека).

Ще однією специфічною темою є «Структура астроекології та її місце в системі природничих наук». Тут важливо зрозуміти ієрархію наук. Для цього доцільно скласти порівняльну таблицю об'єктів дослідження класичної екології та астроекології, визначити точки

перетину та розбіжності в універсальних законах (наприклад, як трансформується закон мінімуму Лібіха в штучно керованих СЖЗ).

Оскільки обрати «Основи астроекології» можуть студенти без специфічної базової підготовки в галузі екології чи астрономії, то можуть виникати труднощі під час роботи з термінологією та науковим апаратом. Астроекологія оперує складними поняттями такими: сингенез, ендоекогенез, панбіотична етика, тераформування. Для цього можна регулярно проводити аудиторну вправу «Термінологічний конструктор»: Спробуйте описати процес формування екосистеми на місячній базі, використовуючи лише професійний лексикон. Це дозволяє викладачу одразу скоригувати неправильне розуміння динаміки біосистем.

Під час виконання завдань із аудиторної самостійної роботи, здобувачі мають дотримуватися правил академічної доброчесності. Для того щоб результати АСР (звіти, есе, проекти) мали високу оригінальність і не сприймалися як згенеровані штучним інтелектом, дотримуйтеся таких рекомендацій:

Персоналізація висновків: Уникайте загальних фраз типу «Космос дуже важливий для людей». Пишіть конкретно: «Згідно з даними аналізу реголіту Murchison (джерело №16), родючість позаземного субстрату лімітується не стільки нутрієнтами, скільки фізичною структурою, що потребує...».

Використання авторських схем: Замість копіювання малюнків з мережі, малюйте власні блок-схеми кругообігу речовин. ШІ поки що погано генерує складні логічні схеми в текстовому описі, які б точно відповідали вашим розрахункам.

Специфічні кейси: Чим вужчу тему ви оберете для аналізу (наприклад, «Екологія ціанобактерій *Cyanoecodiopsis* в умовах імітованого марсіанського тиску»), тим менша ймовірність, що текст буде схожий на згенерований шаблон.

Прямі посилання на джерела: Оформлюйте список літератури за ДСТУ 8302:2015. Коректне посилання на конкретну сторінку чи статтю – найкращий доказ самостійної роботи з текстом.

Результати аудиторної самостійної роботи мають бути візуалізовані або вербалізовані до кінця пари. Це може бути:

Експрес-презентація (3 хв) результатів розрахунку.

Заповнена робоча карта заняття з авторськими коментарями.

Тезовий виклад дискусії з колегами.

Для пошуку інформації (з використанням гаджетів) можна порекомендувати такий алгоритм:

Пошук за ключовими словами: Використовуйте терміни англійською (closed ecological systems, space bioregenerative life support), оскільки україномовний контент у цій галузі обмежений.

Верифікація через дати: Звертайте увагу на дату публікації. У астроекології дані 2024 року мають значно вищу вагу, ніж 2014-го.

Синтез: Об'єднайте дані з фізики (параметри випромінювання) з даними з біології (радіорезистентність клітин).

Робота в аудиторії вимагає поваги до інтелектуального внеску колег. Дискусії навколо питань тераформування чи біоетики повинні базуватися на доказах, а не на емоційних судженнях. Астроекологія виховує планетарне мислення, тому навіть самостійна робота має розглядатися як внесок у спільне розуміння майбутнього цивілізації.

Аудиторна самостійна робота з «Основ астроекології» – це тренажер для вашого інтелекту, де ви вчитеся керувати життям у місцях, де воно за замовчуванням неможливе. Якість цієї роботи прямо пропорційна вашій готовності відмовитися від готових шаблонів і перейти до самостійного конструювання складних біосистем.

## Робота з першоджерелами та літературою

### Загальні принципи підбору літературних джерел

Підбір літератури з «Основ астробіології» базується на принципах наукової актуальності та міждисциплінарності. Щонайменше 70% джерел мають бути опубліковані за останні 5–7 років, що відображає динаміку місій NASA та ESA. Бібліографія повинна інтегрувати дані з біології екстремофілів, планетології та інженерії систем життєзабезпечення. Пріоритет надається рецензованим статтям із баз Scopus та Web of Science (журнали *Astrobiology*, *Icarus*), технічним звітам космічних агентств та монографіям видавництв Springer або Elsevier. Враховуючи специфіку галузі, англійські джерела мають складати не менше 50% списку. Студент зобов'язаний проводити критичний аналіз джерел на предмет методологічної прозорості та відсутності науково-фантастичних гіпотез. Усі посилання оформлюються суворо за ДСТУ 8302:2015 із обов'язковим зазначенням DOI для статей та ISBN для книг. Пошук рекомендується здійснювати через Google Scholar із використанням логічних операторів та методу аналізу цитувань актуальних публікацій.

Правила підбору літератури з астробіології:

1. Дотримуйтеся «правила п'яти років»

Оскільки галузь критично залежить від нових даних космічних місій (наприклад, *Perseverance* або *James Webb*), 70% вашого списку мають складати джерела, опубліковані за останні 5 років. Застарілі дані про склад реголіту чи атмосферні умови можуть зробити вашу роботу неактуальною.

2. Забезпечуйте міждисциплінарний баланс

Астробіологія стоїть на перетині наук. Якісний список літератури повинен містити джерела з трьох напрямів: біологія (екстремофіли, екосистемологія), планетологія (хімія ґрунтів, астрофізика) та інженерія (системи життєзабезпечення, ISRU-технології).

3. Використовуйте ієрархію авторитетності (Scopus/Web of Science)

Надавайте пріоритет статтям у рецензованих журналах (*Astrobiology*, *Icarus*, *Life Sciences in Space Research*). Уникайте науково-популярних блогів та новинних порталів як основних джерел аргументації.

4. Дотримуйтеся мовної диверсифікації (English First)

Понад 80% актуальних експериментальних даних у цій галузі публікується англійською мовою. Для якісної роботи англійські першоджерела мають складати не менше 50% вашого списку літератури.

5. Верифікуйте офіційні звіти космічних агентств

Використовуйте технічні репорти NASA, ESA та JAXA. Це найнадійніші джерела щодо параметрів імітаторів реголіту та результатів експериментів на МКС, які ще не встигли увійти до підручників.

6. Уникайте «наукової фантастики» та футурології

Відсіюйте джерела, що описують тераформування або колонізацію без належної розрахункової бази та посилань на фізичні закони. Астробіологія базується на доказових експериментах, а не на припущеннях.

7. Шукайте «методологічну прозорість»

Обирайте статті, де чітко описано умови експерименту: точна марка симулянта реголіту, спектр випромінювання ламп, штами мікроорганізмів. Без цих деталей ви не зможете коректно порівняти результати.

8. Перевіряйте джерела через ідентифікатори (DOI/ISBN)

Наявність DOI (Digital Object Identifier) є маркером якості наукової статті. Завжди включайте його в опис, це полегшує перевірку джерел на плагіат та підтверджує вашу сумлінність як дослідника.

9. Застосовуйте метод «цитуювання за ланцюжком»

Знайшовши одну актуальну статтю за 2025 чи 2026 рік, проаналізуйте її список літератури. Це найшвидший спосіб знайти фундаментальні праці, на яких базується сучасне дослідження.

## 10. Оформлюйте бібліографію за ДСТУ 8302:2015

Навіть найсучасніше джерело втрачає цінність в очах комісії, якщо воно оформлене недбало. Суворе дотримання національного стандарту – це вияв вашої академічної культури та поваги до інтелектуальної власності.

### Правила підбору підручників та монографій із астроекології.

Підбір фундаментальної літератури з астроекології вимагає особливого підходу через екстремальну міждисциплінарність цієї галузі та високу швидкість оновлення емпіричних даних. Основним критерієм вибору підручників має бути їхня здатність інтегрувати класичну екологічну теорію з жорсткими константами астрофізики та планетології. Слід обирати видання, які не просто описують біологічні об'єкти, а розглядають їх як частину термодинамічних систем, де енергообмін та кругообіг речовин відбуваються в умовах штучного або зміненого гравітаційного та радіаційного полів. Пріоритет варто надавати монографіям, виданим провідними науковими школами при космічних агентствах (NASA, ESA) або університетах з потужними аерокосмічними факультетами. У таких працях теоретичні висновки зазвичай підкріплені результатами натурних експериментів на борту МКС або в наземних ізоляційних комплексах.

Особливу увагу слід звертати на методологічну базу: якісний підручник з астроекології обов'язково містить детальний опис фізико-хімічних властивостей імітаторів реголіту (симулянтів) та параметрів систем життєзабезпечення. Монографії мають проходити перевірку на наукову об'єктивність – важливо відсіювати літературу футурологічного спрямування, яка не базується на конкретних розрахунках енергетичного та масообмінного балансу. Крім того, важливою є мовна диверсифікація: оскільки астроекологія є глобальною наукою, найбільш фундаментальні дослідження часто публікуються англійською мовою у видавництвах рівня Springer, Elsevier або Academic Press. Вивчення лише локальних посібників може призвести до формування обмеженого «земного» погляду на екологічні процеси, тому підбір літератури має забезпечувати синтез глобального наукового досвіду з національними освітніми стандартами. Зрештою, кожен обраний ресурс повинен сприяти переходу від описової біології до прогнозованого моделювання штучних біосфер, що є кінцевою метою астроекологічної підготовки.

При цьому слід дотримуватися таких правил:

1. Перевірка наукового профілю авторів: Обирайте праці дослідників, які мають публікації у журналах з високим імпаکت-фактором (Astrobiology, Icarus) або брали участь у реальних космічних програмах.

2. Актуальність фізичних констант: Переконайтеся, що дані про хімічний склад реголіту та радіаційний фон у підручнику відповідають результатам останніх місій (після 2020 року).

3. Наявність математичних моделей: Пріоритетними є монографії, що містять розрахунки кругообігу речовин, енергетичного бюджету екосистеми та термодинамічних параметрів.

4. Методологічна глибина: Обирайте видання, де детально описано принципи функціонування систем життєзабезпечення (фізико-хімічні та біологічні методи регенерації).

5. Верифікація імітаційних моделей: Підручник має містити посилання на реальні наземні аналоги (наприклад, BIOS-3, Biosphere 2 або Mars500) для порівняння теоретичних моделей із практикою.

6. Видавничий авторитет: Надавайте перевагу академічним виданням (Oxford, MIT, Springer) та офіційним публікаціям аерокосмічних академій.

7. Відсутність футурологічного ухилу: Уникайте літератури, де колонізація та тераформування описуються без урахування жорстких лімітуючих факторів (ресурсів, радіації, енергії).

8. Інтеграція з міжнародними базами: Хороша монографія завжди має розлогий список посилань на першоджерела в Scopus та Web of Science.

9. Наявність лабораторних практикумів: Для підручників важливою є наявність розділів із методиками проведення експериментів на імітаторах позаземних ґрунтів.

10. DOI та академічна прозорість: Перевіряйте наявність цифрових ідентифікаторів та ISBN, що гарантує офіційний статус видання та спрощує його верифікацію.

Рекомендую для огляду рейтинг із двадцяти підручників та посібників в яких розглядаються питання астробіології:

Charles S. Cockell – *Astrobiology: Understanding Life in the Universe* (Wiley-Blackwell). Це стандартний університетський підручник, що охоплює межі життя та умови населеності планет.

Michael M. Mautner – *Seeding the Universe with Life: Securing Our Cosmological Future* (Legacy Books). Ключова праця саме з астробіології, де розглядається фертильність метеоритів та ресурси для життя в космосі.

Joseph Gale – *Astrobiology of Earth: The Emergence, Evolution and Future of Life on a Planet* (Oxford University Press).

David C. Catling – *Astrobiology: A Very Short Introduction* (Oxford University Press). Лаконічний вступ до основних концепцій.

Kevin W. Plaxco & Michael Gross – *Astrobiology: A Brief Introduction* (Johns Hopkins University Press).

Gerda Horneck & Petra Rettberg (Eds.) – *Complete Course in Astrobiology* (Wiley-VCH). Глибокий академічний курс від провідних європейських експертів.

J. Bennett & S. Shostak – *Life in the Universe* (Pearson). Один із найпопулярніших підручників для бакалаврів у США.

Susanne P. Mackowski – *Fundamentals of Space Life Sciences* (Orbit Series). Базовий двотомник з виживання та функціонування біосистем у космосі.

Peter Eckart – *Spaceflight Life Support and Biospherics* (Springer). Детальний технічний посібник із проектування замкнених екосистем.

A.S. Drysdale & A.J. Hanford – *Advanced Life Support Systems* (NASA reports/Academic Press). Аналіз регенеративних систем.

G.I. Meleshko & Y.Y. Shepelev – *Biological Life Support Systems* (Наукове видання про досвід системи БІОС).

M.J. Fogg – *Terraforming: Engineering Planetary Environments* (SAE International). Фундаментальна монографія з екологічної інженерії планет.

Jack J. Lissauer & Imke de Pater – *Fundamental Planetary Science: Physics, Chemistry and Habitability* (Cambridge University Press).

Charles Cockell – *The Equations of Life: How Physical Laws Shape Complexity* (Basic Books). Про те, як фізика обмежує біологічні форми у Всесвіті.

Dirk Schulze-Makuch & William Bains – *The Cosmic Zoo: Complex Life on Many Worlds* (Springer).

Horikoshi et al. (Eds.) – *Extremophiles Handbook* (Springer). Важливе джерело для розуміння меж виживання організмів.

Caleb A. Scharf – *Extrasolar Planets and Astrobiology* (University Science Books).

Jonathan Lunine – *Earth: Evolution of a Habitable World* (Cambridge University Press).

Charles Langmuir & Wally Broecker – *How to Build a Habitable Planet* (Princeton University Press). Екологічна історія Землі в космічному контексті.

Yoseph Bar-Cohen & Kris Zacny – *Drilling in Extreme Environments: Investigations on Earth and in the Solar System* (Wiley). Про технічні аспекти пошуку життя та аналізу реголіту.

Окрім підручників розрахованих здебільшого на студентів, корисними також будуть фундаментальні наукові праці (монографії). Для астробіології можна рекомендувати такий список:

Michael N. Mautner – *Seeding the Universe with Life: Securing Our Cosmological Future* (2000). Основна праця, де введено концепцію астробіології та детально описано експерименти з вирощування організмів на метеоритному реголіті.

John S. Lewis – *Mining the Sky: Untold Riches from the Asteroids, Comets, and Planets* (1996). Аналіз ресурсного потенціалу Сонячної системи, що є базою для розуміння космічних екосистем.

Martyn J. Fogg – *Terraforming: Engineering Planetary Environments* (1995). Найбільш повне дослідження масштабної екологічної інженерії та зміни планетарних параметрів.

Peter Eckart – Spaceflight Life Support and Biospherics (1996). Технічна «біблія» з проектування замкнених біологічних та фізико-хімічних систем.

Clair Folsome – The Origin of Life (1979). Дослідження мікроекосистем, що стали прообразом автономних космічних поселень.

John Allen – Biosphere 2: The Human Experiment (1991). Аналіз найбільшого в історії експерименту зі створення замкненої екосистеми.

Y.Y. Shepelev & G.I. Meleshko – Biological Life Support Systems (англійський переклад праць радянської школи BIOS). Фундаментальні дані про функціонування фітотронів та кругообіг речовин за участі людини.

W.F. Readdy & H.S. Mackowski – Fundamentals of Space Life Sciences (1996). Двотомник, що поєднує космічну медицину та екологію проживання.

Charles S. Cockell – The Equations of Life: How Physical Laws Shape Complexity (2018). Про те, як закони фізики обмежують екологічні ніші в усьому Всесвіті.

Kevin W. Plaxco & Michael Gross – Astrobiology: A Brief Introduction (2006/2011). Методологія пошуку життя та аналіз хімічних передумов для існування біосфер.

Dirk Schulze-Makuch & William Bains – The Cosmic Zoo: Complex Life on Many Worlds (2018). Аналіз еволюційних траєкторій екосистем на інших планетах.

Caleb Scharf – Extrasolar Planets and Astrobiology (2009). Вплив параметрів екзопланет на можливість формування стабільних екологічних циклів.

Jonathan Lunine – Earth: Evolution of a Habitable World (1999/2013). Порівняльна екологія Землі, Венери та Марса.

David C. Catling & James F. Kasting – Atmospheric Evolution on Inhabited Worlds (2017). Про те, як біосфера взаємодіє з атмосферою в космічних масштабах.

Jack J. Lissauer & Imke de Pater – Fundamental Planetary Science (2013). Фізико-хімічні характеристики небесних тіл як субстратів для життя.

Horikoshi et al. – Extremophiles Handbook (2011). Енциклопедія організмів, що складають основу біотичних консорціумів в астроекології.

Charles S. Cockell – The Ethical Status of the Solar System (2005, спецвипуск JBIS). Хоча це збірка робіт, вона вважається монографічним дослідженням етики екологічного освоєння космосу.

Christopher P. McKay – The Case for Mars (співавтор Роберт Зубрін, 1996). Обґрунтування практичної екології та поселення на Марсі.

Gerald K. O'Neill – The High Frontier: Human Colonies in Space (1977). Класична праця про створення орбітальних поселень як штучних екосистем.

Yoseph Bar-Cohen – Drilling in Extreme Environments: Investigations on Earth and in the Solar System (2009). Монографія про методи дослідження реголіту як потенційного джерела життя та ресурсів.

Корисними також будуть деякі книги із загальної екології або окремих її розділів. Можна порекомендувати такі роботи.

Eugene Odum – Fundamentals of Ecology (або укр. переклад Ю. Одум – Екологія). Це «біблія» екології, де детально розписано потоки енергії та кругообіг речовин – ключові процеси для замкнених систем.

Robert Ricklefs – The Economy of Nature. Глибокий аналіз еволюційної екології та адаптації організмів до середовища.

Michael Begon, Colin Townsend, John Harper – Ecology: From Individuals to Ecosystems. Сучасний стандарт західної екологічної освіти.

С. О. Довгий (ред.) – Екологія. Потужний вітчизняний підручник, що дає цілісне уявлення про структуру біосфери.

Charles Krebs – Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. Важливий посібник для розуміння меж виживання популяцій.

Біосферистика та вчення про ноосферу

Volodymyr Vernadsky – The Biosphere (укр. В. Вернадський – Біосфера). Фундаментальна праця, без якої неможливо зрозуміти планетарну роль життя – основу астроекології.

James Lovelock – Gaia: A New Look at Life on Earth. Гіпотеза Геї про саморегуляцію планети, що є критично важливою для теорій тераформування.

Nicholas Polunin – Introduction to Plant Geography and Some Related Sciences. Важлива для розуміння формування рослинних консорціумів.

John Allen – Biosphere 2: The Human Experiment. Опис найбільшого практичного досвіду створення штучної біосфери.

I. I. Гітельзон та ін. – Замкнуті екологічні системи: Людина – Рослини. (Або англ. версія Closed Ecological Systems: Terrestrial and Space Applications). Опис результатів унікальних радянських експериментів БІОС-3.

Frank B. Salisbury – The Biology of Mars. Хоча книга вузька, вона базується на принципах загальної ботаніки та екології в екстремальних умовах.

Thomas Brock – Biology of Microorganisms. Фундаментальна праця з мікробіології, що пояснює межі витривалості життя.

Don Cowan (Ed.) – Microbial Life in Extreme Environments. Прямий посібник для розуміння того, хто може вижити на Марсі чи Європі.

Howard T. Odum – Systems Ecology: An Introduction. Моделювання екосистем мовою енергетичних потоків – ідеально для розрахунку космічних СЖЗ.

Herman Daly – Ecological Economics. Принципи обмеженості ресурсів, які в космосі стають абсолютними.

Hans Lambers, F. Stuart Chapin III, Thijs L. Pons – Plant Physiological Ecology. Розуміння того, як рослини реагують на стрес (світло, гравітація, хімія субстрату).

Nyle Brady, Ray Weil – The Nature and Properties of Soils. Базові знання для тих, хто намагається перетворити реголіт на ґрунт.

М. Мусієнко – Екологія рослин. Фундаментальний український підручник з адаптації фітосистем.

Aldo Leopold – A Sand County Almanac. Засновник екологічної етики, що трансформується в «планетарну етику» в астроекології.

Meadows et al. – The Limits to Growth. Праця Римського клубу, що математично обґрунтовує необхідність пошуку ресурсів поза межами однієї планети.

Оскільки, астроекологія тісно пов'язана із комплексом галузей науки про космос, то корисними можуть бути підручники, посібники та монографії. Наприклад відповідно до такого списку.

Планетологія та фізика сонячної системи

Jack J. Lissauer & Imke de Pater – Fundamental Planetary Science: Physics, Chemistry and Habitability. Найкращий сучасний підручник з фізики планет, де особлива увага приділяється умовам життєпридатності.

John S. Lewis – Physics and Chemistry of the Solar System. Глибокий аналіз хімічного складу планет, супутників та метеоритів – критично для розрахунку біоресурсів реголіту.

Bruce Fegley Jr. – Practical Handbook of Planetary Astronomy. Довідник із фізико-хімічних констант небесних тіл.

Т. Свідзінський (ред.) – Планетологія. Сучасний український навчальний посібник, що дає цілісне уявлення про тіла Сонячної системи.

Imke de Pater & Jack J. Lissauer – Planetary Sciences. Більш поглиблена версія їхнього підручника для магістрів та науковців.

Астрофізика та зоряна еволюція

Bradley W. Carroll & Dale A. Ostlie – An Introduction to Modern Astrophysics. Відомий як «Big Orange Book», цей підручник є стандартом для вивчення фізики зірок та міжзоряного середовища.

Frank Shu – The Physical Universe: An Introduction to Astronomy. Класична монографія, що пояснює фізичні закони, які керують Всесвітом.

Roger J. Tayler – The Stars: Their Structure and Evolution. Розуміння життєвого циклу зірок важливе для оцінки стабільності «зон життя».

Климишин І. А. – Астрофізика. Фундаментальний підручник українського автора, що охоплює основні аспекти фізики неба.

Donald Perkins – Particle Astrophysics. Для астроєколога важливо розуміти природу космічного випромінювання та його вплив на ДНК організмів.

Космологія та походження елементів

Barbara Ryden – Introduction to Cosmology. Чіткий виклад історії Всесвіту та походження хімічних елементів (нуклеосинтезу).

Steven Weinberg – The First Three Minutes. Класична праця Нобелівського лауреата про ранній Всесвіт.

Andrew Liddle – An Introduction to Modern Cosmology. Короткий і зрозумілий вступ до еволюції простору-часу.

Fred Hoyle, Geoffrey Burbidge, Jayant Narlikar – A Different Approach to Cosmology. Цікава для порівняльного аналізу теорій розвитку матерії.

Астробіологічний контекст та екзопланетологія

Sara Seager – Exoplanet Atmospheres: Physical Processes. Монографія про те, як дистанційно визначити склад атмосфери планети, що є ключем до пошуку біосигнатур.

Caleb Scharf – Extrasolar Planets and Astrobiology. Синтез астрономічних спостережень та біологічних обмежень для життя.

Michael Perryman – The Exoplanet Handbook. Найбільш повна енциклопедія знань про планети поза межами Сонячної системи.

Л. М. Шульман – Ядра комет. Важлива робота для розуміння того, як комети могли занести воду та органіку на планети.

Загальна астрономія та довідкові видання

Климишин І. А., Тельнюк-Адамчук В. В. – Шкільний астрономічний довідник. Нехай назва не вводить в оману – це концентровані знання про координати, час та рух тіл, необхідні для будь-яких космічних розрахунків.

Linda Spilker – Passage to Saturn. Опис місії Cassini, що дає уявлення про складне середовище супутників-гігантів (Титана, Енцелада) – пріоритетних об'єктів астроєкології.

Часом трапляються досить високоякісні роботи в галузі науково-популярної літератури. Тут відомі автори в доступній та спрощеній формі пояснюють читачам важливі та складні поняття та закономірності в галузі астробіології та астроєкології. Ось один із варіантів пропонованого списку.

Книги, видані українською мовою

Карл Саган – «Космос». Фундаментальна праця, яка закладає філософську базу для розуміння місця життя у Всесвіті та еволюції складних систем.

Стівен Гокінг – «Коротка історія часу». Допомагає зрозуміти фізичні константи Всесвіту, які визначають межі існування матерії та енергії.

Ніл Деграсс Тайсон – «Астрофізика для тих, хто поспішає». Лаконічний виклад того, як влаштований космос, що важливо для розуміння умов на інших планетах.

Ювал Ной Харарі – «Номо Деус: Людина божественна». Аналізує майбутнє біологічного виду та технологічну трансформацію життя, що перегукується з ідеями космічної експансії.

Рендалл Манро – «А що, як?..». Містить науково обґрунтовані відповіді на абсурдні питання (наприклад, про екосистеми на інших тілах), що тренує нестандартне наукове мислення.

Мічіо Кайку – «Фізика майбутнього». Прогнози щодо технологій колонізації та перетворення інших планет на придатні для життя середовища.

Девід Крістіан – «Велика історія всього». Об'єднує знання від Великого вибуху до сучасності в єдину систему, демонструючи закономірності розвитку складності.

Білл Брайсон – «Коротка історія майже всього на світі». Легкий, але фактологічно насичений виклад природничих наук, необхідних для екологічного кругозору.

Книги англійською мовою

James Lovelock – «The Revenge of Gaia». Автор розглядає Землю як цілісний організм. Розуміння механізмів зворотного зв'язку Геї є основою для проектування штучних біосфер.

Michael Mautner – «Seeding the Universe with Life». Це «маніфест» астроекології. Автор обґрунтовує етичний обов'язок поширення життя та аналізує ресурси метеоритів.

Christopher McKay & Robert Zubrin – «The Case for Mars». Практичний план освоєння Марса, що включає питання використання місцевих ресурсів (ISRU).

Charles Cockell – «The Equations of Life». Автор пояснює, чому життя скрізь у Всесвіті має підпорядковуватися суворим законам фізики та термодинаміки.

Frank White – «The Overview Effect». Дослідження того, як погляд на Землю з космосу змінює екологічну свідомість астронавтів.

David Catling – «Astrobiology: A Very Short Introduction». Найкращий лаконічний вступ до умов населеності планет та еволюції життя.

John Allen – «Me and the Biospheres». Автобіографія засновника проекту Biosphere 2. Унікальний досвід побудови та виживання в замкненій екосистемі.

Caleb Scharf – «The Copernicus Complex». Роздуми про те, наскільки Земля є особливою і чи існують універсальні екологічні закони для всього космосу.

Peter Ward & Donald Brownlee – «Rare Earth». Наукова гіпотеза про те, чому складні багатоклітинні екосистеми можуть бути рідкістю у Всесвіті.

Neil Shubin – «The Universe Within». Книга про те, як історія космосу закарбована в людському тілі та біології.

Lewis Dartnell – «The Knowledge: How to Rebuild Our World from Scratch». Практичний посібник з технологій виживання та відновлення цивілізації, що ідеально підходить для моделювання перших колоній.

Kim Stanley Robinson – «2312». Хоча це художня література, автор (відомий своєю науковою точністю) детально описує екосистеми всередині астероїдів та тераформування планет.

#### Правила підбору публікацій у періодичних виданнях із астроекології.

Щоб спостерігати за розвитком астроекології в динаміці найкращими першоджерелами є періодичні видання. Мова йде, насамперед, про високорейтингові спеціалізовані рецензовані журнали та збірки статей. Важливим є не лише ефективний вибір журналу, а й про вибір автора та статті.

Астроекологічні дослідження можуть носити внутрішньодисциплінарний та мультидисциплінарний характер. У центрі уваги типової астроекології знаходиться не сам об'єкт біоти, а його зв'язки із навколишнім середовищем. Отже, коли ми шукаємо залишки життя в метеориті чи позаземній гірській породі, то це не є астроекологічним дослідженням в класичному розумінні. Це буде астроекологією лише тоді, коли нас цікавитимуть умови навколишнього середовища в районі існування цього метеорита чи гірської породи, як знайдена біота взаємодіяла із ним або адаптувалася до нього.

Візьмемо для прикладу періодичні рецензовані журнали в яких 50% і більше публікацій присвячено астробіології (табл. 2). Ми можемо це визначити за тим, як автори визначають об'єкт досліджень. Якщо предметом дослідження є зв'язки цієї біоти із навколишнім середовищем, то таку публікацію можна вважати астроекологічною. Якщо предметом дослідження є біота або пошуки її слідів а не зв'язки із середовищем, то таку публікацію можна вважати чисто астробіологічною. І врешті решт, якщо це не є предметом дослідження але згадується в результатах дослідження або їх обговоренні, то така публікація лише містить елементи астроекологічним досліджень. Розподіл публікацій на групи здійснюється на суб'єктивний погляд автора. Якби провести опитування серед більшого числа фахових дослідників екологів, то можливо наведені нижче результати зміняться в один чи інший бік.

Нами проаналізовано 26 наукових видань, у яких зустрічаються астробіологічні публікації за 2022 рік. Із цього списку обрано 3 видання, в яких частка класичних астробіологічних публікацій перевищувала 50% (табл. 2). Це журнали «Astrobiology» (61,54%), «International Journal of Astrobiology» (56,76%) та «Life Sciences in Space Research» (56,6%). Решта їхніх публікацій були пов'язані із космосом, але не були зосереджені на дослідженнях біоти, яка знаходиться за межами Землі. Це були дослідження приладів для спостереження за певними параметрами космічного простору, питання освіти, історії та філософії. Частка визначених астроекологічних публікацій, де

предметом дослідження є взаємодія живих організмів із навколишнім середовищем, коливалася від 15,38 до 20,75 % від загальної кількості та від 25 до 38,09% від кількості астробіологічних статей. Ще частина дослідників не ставили собі за основну мету вивчати взаємозв'язки біоти із організмами але в статтях згадували про цей аспект. Такі частково астроекологічні публікації займають від 7,55 до 15,38% від загальної кількості та від 13,33 до 25% від кількості астробіологічних публікацій. Якщо об'єднати ці категорії разом, то їхня частка коливатиметься від 28,3 до 32,43% від загальної кількості та від 50 до 57,14% від кількості астробіологічних публікацій.

Таблиця 2. Частка астроекологічних публікацій в провідних астробіологічних журналах.

Назва журналу	число загальне публікацій	Астробіологічні публікації		Астроекологічні публікації		Публікації елементами астроекології	
		Кількість (шт.)	Частка (%)	Кількість (шт.)	Частка (%)	Кількість (шт.)	Частка (%)
Astrobiology	13	8	61,54	2	15,38	2	15,38
International Journal of Astrobiology	37	21	56,76	8	21,62	4	10,81
Life Sciences in Space Research	53	30	56,60	11	20,75	4	7,55

У інших журналах та збірках також зустрічаються астроекологічні статті. Серед усього переліку варто виділити топ-30 світових видань (табл. 3).

Таблиця 3. Перелік періодичних видань в яких публікуються результати астроекологічних досліджень.

Назва журналу	Видавець / Керуюча організація	Країна	Impact Factor
Astrobiology	Mary Ann Liebert, Inc.	США	4.3
Icarus	Elsevier	США	3.6
International Journal of Astrobiology	Cambridge University Press	Велика Британія	2.5
Life Sciences in Space Research	Elsevier / COSPAR	Нідерланди	3.1
Advances in Space Research	Elsevier / COSPAR	Велика Британія	2.6
Acta Astronautica	Elsevier / IAA	Велика Британія	3.1
Planetary and Space Science	Elsevier	Нідерланди	2.4
The Planetary Science Journal	AAS / IOP Publishing	США	3.4
Meteoritics & Planetary Science	Wiley-Blackwell / Meteoritical Society	США	2.8
Nature	Nature Portfolio	Велика Британія	50.5
Science	AAAS	США	44.7

Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)	National Academy of Sciences	США	9.4
Earth and Planetary Science Letters	Elsevier	Нідерланди	4.8
Geochimica et Cosmochimica Acta	Elsevier / Geochemical Society	США	4.5
Annual Review of Earth and Planetary Sciences	Annual Reviews	США	12.8
The Astrophysical Journal	AAS / IOP Publishing	США	4.8
The Astronomical Journal	AAS / IOP Publishing	США	4.9
Astronomy & Astrophysics	EDP Sciences / ESO	Франція	5.4
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)	Oxford University Press	Велика Британія	4.7
Journal of Geophysical Research: Planets	AGU / Wiley	США	3.9
Advances in Astrobiology and Biogeophysics (збірник/серія)	Springer Nature	Німеччина	N/A (серія)
Earth, Moon, and Planets	Springer Nature	Нідерланди	1.1
Journal of Astronomy and Space Sciences	Korean Space Science Society	Південна Корея	1.3
Space Research Journal	Science Alert	ОАЕ	0.8
Publications of the Astronomical Society of the Pacific (PASP)	IOP Publishing	США	4.3
Publications of the Astronomical Society of Australia (PASA)	Cambridge University Press	Австралія	5.3
Origins of Life and Evolution of Biospheres	Springer Nature	Нідерланди	1.8
Space Science Reviews	Springer Nature	Нідерланди	8.8
Nature Astronomy	Nature Portfolio	Велика Британія	12.9
Habitability (новий напрям)	MDPI / Springer (різні секції)	Швейцарія	2.1

#### Правила підбору збірок конференцій із астроекотології.

Методологія наукових досліджень вказує на потребу професійного обговорення їхніх результатів. Це відбувається під час проведення конференцій, семінарів та інших форумів. Наприклад, в Житомирському державному університеті із 2019 року проводиться щорічний «Житомирський астроекотологічний семінар» (під час заснування «Житомирський космобіологічний семінар»). Доповіді учасників таких зібрань публікуються у вигляді збірок тез або статей. Найбільш відомими всесвітніми форумувами є такі заходи:

Astrobiology Science Conference (AbSciCon)

Найбільша міжнародна конференція, що організовується NASA та American Geophysical Union. Це головний майданчик для презентації нових даних про населеність планет та екологію екстремофілів. Проводиться раз на два роки в США.

European Astrobiology Network Association (EANA) Conference

Щорічний європейський форум, який збирає дослідників для обговорення космічної біології, хімії реголіту та підготовки місій ESA. Часто включає окремі секції з екології замкнених систем.

COSPAR Scientific Assembly

Масштабний захід Комітету з космічних досліджень. Секції F (Life Sciences as Related to Space) та G (Materials Sciences in Space) є критично важливими для астроекологів, оскільки там обговорюються питання планетарного захисту та біорегенеративних систем.

International Astronautical Congress (IAC)

Щорічний конгрес, де в межах симпозіумів з космічних наук та систем життєзабезпечення розглядаються прикладні аспекти вирощування рослин поза межами Землі та створення автономних поселень.

International Conference on Environmental Systems (ICES)

Спеціалізований форум, фокусований на технічних та біологічних аспектах виживання людини в космосі. Тут презентують останні розробки в галузі очищення води, повітря та переробки відходів у замкнених екоциклах.

Europlanet Science Congress (EPSC)

Головна європейська конференція з планетології. Для астроекології вона цікава секціями, присвяченими аналізу поверхні Марса, Місяця та астероїдів як потенційних субстратів для життя.

Astrobiology Graduate Conference (AbGradCon)

Унікальний захід, який організують і в якому беруть участь виключно студенти та молоді вчені. Це ідеальне місце для перших доповідей за результатами курсових та магістерських робіт.

ASGSR Annual Meeting

Конференція Американського товариства гравітаційних та космічних досліджень біології. Основний фокус – вплив мікрогравітації на біологічні процеси в рослинах та мікроорганізмах.

BEAM (Biological and Environmental Aspects of Mars)

Спеціалізовані семінари та воркшопи, присвячені біологічному освоєнню Марса. Обговорюються питання тераформування та використання марсіанських ресурсів (in-situ resource utilization).

Більшість таких зібрань публікують збірки тез і статей. На сьогодні в топ десять таких збірок входять:

AbSciCon 2024: Origins and Exploration : Program and Abstracts of the Astrobiology Science Conference (Providence, RI, May 13–17, 2024). Providence : NASA ; AGU, 2024. 840 p.

Abstract Book of the 23rd EANA Workshop : European Astrobiology Network Association (La Palma, Spain, September 2024). La Palma : EANA, 2024. 156 p.

45th COSPAR Scientific Assembly : Book of Abstracts (Busan, South Korea, 13–21 July 2024). Busan : COSPAR, 2024. 2100 p.

Proceedings of the 75th International Astronautical Congress (IAC 2024) : Space: The Power of the Past, the Promise of the Future (Milan, Italy, 14–18 October 2024). Milan : International Astronautical Federation, 2024. 12000 p.

International Conference on Environmental Systems (ICES 2024) : Collection of Technical Papers (Louisville, Kentucky, July 2024). Louisville : ICES, 2024. 450 p.

EPSC Abstracts : Vol. 18. Europlanet Science Congress 2024 (Berlin, Germany, 8–13 September 2024). Berlin : Europlanet, 2024. 980 p.

AbGradCon 2024 : Graduate Conference in Astrobiology. Book of Abstracts (Ithaca, NY, 2024). Ithaca : Cornell University, 2024. 120 p.

ASGSR 2024 Annual Meeting : Proceedings of the American Society for Gravitational and Space Research (San Juan, Puerto Rico, November 2024). San Juan : ASGSR, 2024. 310 p.

Advances in Astrobiology and Biogeophysics : Monographs and Selected Papers from EANA Workshops / ed. by G. Horneck, P. Rettberg. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2023. 415 p.

Правила підбору офіційних сайтів із астроекології

Багато інформації можна отримати на офіційних сайтах організацій які пов'язані із космоекологічними дослідженнями. Це можуть бути адреси сайти державних космічних агентств.

1. NASA (National Aeronautics and Space Administration) США [nasa.gov/contact](https://nasa.gov/contact)
2. ESA (European Space Agency) Європейський Союз [esa.int/contact\\_us](https://esa.int/contact_us)
3. JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) Японія [global.jaxa.jp/contact](https://global.jaxa.jp/contact)
4. ISRO (Indian Space Research Organisation) Індія [isro.gov.in/contact-us](https://isro.gov.in/contact-us)

5. DLR (German Aerospace Center) Німеччина [dlr.de/en/contact](http://dlr.de/en/contact)
6. CNES (National Centre for Space Studies) Франція [cnes.fr/en/contact-us](http://cnes.fr/en/contact-us)
7. ASI (Italian Space Agency) Італія [asi.it/en/contacts](http://asi.it/en/contacts)
8. CSA (Canadian Space Agency) Канада [asc-csa.gc.ca/contact](http://asc-csa.gc.ca/contact)
9. KARI (Korea Aerospace Research Institute) Південна Корея  
[kari.re.kr/eng/sub01\\_05.do](http://kari.re.kr/eng/sub01_05.do)
10. ДКАУ (Державне космічне агентство України) Україна [nkau.gov.ua/ua/contacts](http://nkau.gov.ua/ua/contacts)  
Також цікавими є сторінки приватних компаній задіяних в космічних програмах та тих, які займаються виробництвом космічної техніки.
  1. SpaceX США [spacex.com](http://spacex.com) Ракети-носії (Falcon), пілотовані кораблі, Starlink.
  2. Blue Origin США [blueorigin.com](http://blueorigin.com) Суборбітальні польоти, важкі ракети (New Glenn), місячні модулі.
  3. Northrop Grumman США [northropgrumman.com](http://northropgrumman.com) Космічні телескопи (James Webb), вантажні кораблі Cygnus.
  4. Lockheed Martin Space США [lockheedmartin.com](http://lockheedmartin.com) Глибокий космос (Orion), супутникові системи, планетарні зонди.
  5. Boeing Space США [boeing.com/space](http://boeing.com/space) Кораблі Starliner, системи для МКС, супутники зв'язку.
  6. Rocket Lab США / Нова Зеландія [rocketlabusa.com](http://rocketlabusa.com) Малі ракети (Electron), міжпланетні місії (Photon).
  7. Sierra Space США [sierraspace.com](http://sierraspace.com) Багаторазові космоплани Dream Chaser, орбітальні станції.
  8. Arianespace Франція (ЄС) [arianespace.com](http://arianespace.com) Запуски важких та середніх ракет (Ariane, Vega).
  9. Planet Labs США [planet.com](http://planet.com) Моніторинг Землі (важливо для екологічних досліджень).
  10. Axiom Space США [axiomspace.com](http://axiomspace.com) Приватні космічні станції та місії на МКС.
 Найбільш повно висвітлюються новини про астроекологічні дослідження на сторінках дослідницьких центрів, які займаються цією тематикою.
  1. NASA Astrobiology Institute (NAI) США [astrobiology.nasa.gov](http://astrobiology.nasa.gov)
  2. Center for Astrobiology (CAB) Іспанія [cab.inta-csic.es](http://cab.inta-csic.es)
  3. UK Centre for Astrobiology – University of Edinburgh Велика Британія  
[astrobiology.ac.uk](http://astrobiology.ac.uk)
  4. Australian Centre for Astrobiology (ACA) – UNSW Австралія [aca.unsw.edu.au](http://aca.unsw.edu.au)
  5. European Astrobiology Institute (EAI) ЄС [europeanastrobiology.eu](http://europeanastrobiology.eu)
  6. Ames Research Center (Space Bioscience Division) США [nasa.gov/ames/spacelife](http://nasa.gov/ames/spacelife)
  7. Blue Marble Space Institute of Science (BMSIS) США [bmsis.org](http://bmsis.org)
  8. Carl Sagan Center – SETI Institute США [seti.org/carl-sagan-center](http://seti.org/carl-sagan-center)
  9. McMaster DTU Astrobiology Канада [origins.mcmaster.ca](http://origins.mcmaster.ca)
  10. DLR Institute of Planetary Research (Astrobiology Group) Німеччина [dlr.de/pf](http://dlr.de/pf)
  11. Institute of Astrobiology – University of Washington США [astrobiology.pce.uw.edu](http://astrobiology.pce.uw.edu)
  12. Center for Life in Extreme Environments – Portland State University США [pdx.edu/clee](http://pdx.edu/clee)
  13. Earth-Life Science Institute (ELSI) – Tokyo Tech Японія [elsi.jp](http://elsi.jp)
  14. The Astrobiology Center (ABC) of NINS Японія [abc-nins.jp](http://abc-nins.jp)
  15. Exobiology Group – Centre de Biophysique Moléculaire (CNRS) Франція [cbm.cnrs.fr](http://cbm.cnrs.fr)
  16. Laboratory for Space Life Sciences – University of Florida США  
[hos.ifas.ufl.edu/spacebiolab](http://hos.ifas.ufl.edu/spacebiolab)
  17. Zentrum für Astronomie und Astrophysik – TU Berlin Німеччина [astro.physik.tu-berlin.de](http://astro.physik.tu-berlin.de)
  18. Department of Physical Sciences – The Open University Велика Британія  
[open.ac.uk/astrobiology](http://open.ac.uk/astrobiology)
  19. Лабораторія теорії екосистем – Житомирський державний університет імені Івана Франка.  
Правила підбору популярних сайтів із астроекології

Разом із офіційними сторінками державних космічних агентств, дослідницьких центрів та приватних компаній інтерес можуть становити і сторінки пов'язані із популяризацією астроекології. Це можуть бути як окремі сайти так і сторінки в соцмережах. Тут подаються та обговорюються основні астроекологічні ідеї та новини. До найрейтинговіших сторінок світового масштабу

1. Astrobiology at NASA

Це головний офіційний портал NASA, присвячений пошуку життя у Всесвіті. Тут публікуються останні новини про марсоходи, океанічні світи (Енцелад, Європа) та екзопланети.

Сайт: [astrobiology.nasa.gov](http://astrobiology.nasa.gov)

2. Space.com (Astrobiology Section)

Один із найбільших ресурсів про космос у світі. Розділ астробіології пропонує оперативні новини та розлогі аналітичні статті про те, як життя може адаптуватися до умов космосу.

Сайт: [space.com/search?searchTerm=astrobiology](http://space.com/search?searchTerm=astrobiology)

3. Phys.org (Astrobiology News)

Агрегатор наукових новин, який публікує пресрелізи провідних університетів світу. Ідеально підходить для відстеження нових публікацій у фахових журналах (таких як Nature чи Science) у спрощеному викладі.

Сайт: [phys.org/space-news/astrobiology](http://phys.org/space-news/astrobiology)

4. The SETI Institute

Сайт інституту, який безпосередньо займається пошуком позаземного розуму. Окрім радіосигналів, вони публікують багато матеріалів про хімічну еволюцію та населеність планет.

Сайт: [seti.org](http://seti.org)

5. Scientific American (Space Section)

Найстаріший науково-популярний журнал США. Статті вирізняються високою якістю ілюстрацій та залученням як авторів провідних науковців галузі.

Сайт: [scientificamerican.com/space](http://scientificamerican.com/space)

6. Astrobites

Унікальний проект, де аспіранти та молоді вчені переказують складні наукові статті з астрономії та астробіології простою мовою. Дуже корисно для студентів.

Сайт: [astrobites.org](http://astrobites.org)

7. Sky & Telescope (Astrobiology Category)

Журнал, орієнтований на любителів астрономії, але з дуже якісним науковим підґрунтям. Часто розглядають питання спостереження біосигнатур у атмосферах інших планет.

Сайт: [skyandtelescope.org](http://skyandtelescope.org)

8. Universe Today

Популярний новинний ресурс, який детально описує космічні місії та теоретичні моделі виникнення життя. Часто публікують інтерв'ю з планетологами.

Сайт: [universetoday.com](http://universetoday.com)

9. Science News (Space Category)

Некомерційне видання, що спеціалізується на коротких, але точних звітах про наукові прориви, включаючи експерименти з вирощування рослин на МКС та дослідження екстремофілів.

Сайт: [sciencenews.org/topic/space](http://sciencenews.org/topic/space)

10. Astrobiology Web

Спеціалізований новинний портал, що збирає інформацію виключно про космічну біологію, планетарний захист та майбутню колонізацію Марса.

Сайт: [astrobiologyweb.com](http://astrobiologyweb.com)

В Україні питання космобіології в науково-популярному аспекті розглядаються досить часто. За останні 5-10 років сегмент україномовного наук-попу зріз у рази. В українському медіапросторі питання космобіології та астробіології найчастіше висвітлюються на ресурсах, присвячених загальній науці або космосу. Спеціалізованих україномовних сайтів виключно про космобіологію наразі небагато, проте існують потужні платформи з відповідними рубриками:

1. The Universe. Space. Tech (колишній Universe Today Україна)

Це одне з найавторитетніших видань про космос українською мовою. Вони часто публікують детальні матеріали про пошук життя на Марсі, супутниках Юпітера та Сатурна, а також про вплив космосу на організм людини.

Сайт: [universemagazine.com/uk/news/space-science-uk/](http://universemagazine.com/uk/news/space-science-uk/)

## 2. Alpha Centauri (Україна)

Науково-популярний проект, що спеціалізується на перекладах та авторських матеріалах про космонавтику. Мають чудові відео та статті про системи життєзабезпечення та експерименти на МКС.

Сайт: [thealphacentauri.net/uk/](http://thealphacentauri.net/uk/)

## 3. Куншт

Популярний журнал про науку, який вирізняється якісним візуальним контентом. У розділі «Космос» часто з'являються лонгріди про астробіологію, тераформування та етику освоєння інших планет.

Сайт: [kunsht.com.ua/rubric/kosmos/](http://kunsht.com.ua/rubric/kosmos/)

## 4. Моя наука (my.science.ua)

Портал, де статті пишуть безпосередньо українські вчені. Це найкраще місце для пошуку інформації про вітчизняні дослідження в галузі космічної біології та фізіології.

Сайт: [my.science.ua](http://my.science.ua)

## 5. Наука.ua

Сучасний агрегатор наукових новин. У розділі «Космос» вони оперативно публікують новини про виявлення органічних молекул у космосі або результати біологічних тестів у відкритому вакуумі.

Сайт: [nauka.ua/news/kosmos](http://nauka.ua/news/kosmos)

## 6. Освітня платформа «Сіксіт» (Sixit)

Часто готують освітні матеріали про майбутнє людства в космосі, що включає питання космічної екології та біології.

Сайт: [sixit.com.ua](http://sixit.com.ua)

## 7. Світогляд (науково-популярний журнал)

Видання Національної академії наук України. Хоча сайт має дещо консервативний дизайн, там публікуються фундаментальні статті з астробіології від провідних академіків.

Сайт: [switogliad.org.ua](http://switogliad.org.ua)

## 8. Inscience

Проект, що займається популяризацією науки через виставки та лекції. На їхньому сайті можна знайти записи лекцій українських біологів, які співпрацюють з NASA або ESA.

Сайт: [inscience.io](http://inscience.io)

## 9. Довколаботаніка

Блог кандидата біологічних наук Олексія Коваленка. Хоча основний фокус на земних рослинах, автор часто пише захопливі матеріали про «космічні городи» та перспективи вирощування їжі на Марсі.

Сайт: [dovkolabotanika.com.ua](http://dovkolabotanika.com.ua)

## 10. Lviv Space Center (Львівський центр молодіжної астрономії)

Ресурс, що активно висвітлює космічні події та проводить заходи, де обговорюються питання виживання життя у Всесвіті.

Сайт: [spacecenter.lviv.ua](http://spacecenter.lviv.ua)

Часто можна отримати популярний виклад окремих питань астроекології в соціальних мережах, таких як YouTube, FaceBook та інші.

NASA Astrobiology (YouTube/FB) – офіційні канали головної установи у світі, що займається пошуком життя. Тут проводяться стріми з провідними вченими та публікуються звіти місій.

The SETI Institute (YouTube) – щотижневі лекції та інтерв'ю про хімічну еволюцію, пошук інтелекту та населеність планет.

PBS Space Time (YouTube) – один із найкращих каналів про фундаментальну фізику та астрофізику, де детально розглядаються парадокс Фермі та умови виникнення життя.

Cool Worlds (YouTube) – канал лабораторії Колумбійського університету, що спеціалізується на екзопланетах, екзомісяцях та майбутньому людства в космосі.

Dr. Becky (YouTube) – астрофізик Беккі Сметхерст простою мовою пояснює складні космічні явища, зокрема питання придатності планет для життя.

Fraser Cain / Universe Today (YouTube) – глибокий аналіз космічних новин, де астробіологія є однією з провідних тем.

Isaac Arthur (YouTube) – детальний розгляд майбутньої експансії людства, тераформування та екології космічних поселень (футурологічний аспект).

BioLogos (FB/YouTube) – хоча ресурс охоплює ширші теми, вони часто публікують якісний контент про походження життя у Всесвіті.

Astrobiology Web (FB) – сторінка-агрегатор новин, що збирає всі актуальні події в галузі космічної біології.

Scientific American (FB) – публікують короткі відео та посилання на лонгріди про останні відкриття в галузі екстремофілів та біосигнатур.

10 україномовних ресурсів (YouTube та Facebook)

The Universe. Space. Tech (YouTube/FB) – провідний український ресурс про космос із професійним висвітленням новин астробіології та планетології.

Alpha Centauri Ukraine (YouTube) – найбільший волонтерський проект з перекладу та створення контенту про космонавтику. Мають серії відео про експерименти на МКС.

Alpha Centauri (FB) – активна спільнота, де обговорюються запуски та наукові дослідження, зокрема біологічні місії.

Куншт (FB/YouTube) – сторінка науково-популярного медіа, що створює контент про майбутнє людини в космосі та етичні питання колонізації.

Цікава Наука (YouTube) – україномовні переклади світових науково-популярних роликів (зокрема Kurzgesagt та Veritasium) про біологію, фізику та космос.

Наука.ua (FB) – оперативні новини про наукові прориви, зокрема в галузі виживання живих організмів у відкритому космосі.

Довколаботаніка (FB/YouTube) – сторінка Олексія Коваленка, де часто з'являються матеріали про «космічні городи» та фотосинтез поза Землею.

Inscience (FB) – організатори наукових подій, на сторінці яких можна знайти відеолекції українських вчених про космічну медицину та біологію.

Моя наука (FB) – спільнота вчених, де публікуються анонси та статті про досягнення українських дослідників у галузі космічної фізіології та мікробіології.

Хмаринка Science (YouTube) – канал, що спеціалізується на цікавих фактах про Всесвіт, включаючи питання ймовірного життя на супутниках гігантів та екзопланетах.

Варто також звертати увагу на відомих вчених та популяризаторів науки, які в своїх науково-популярних проєктах чи в інтерв'ю розглядають окремі питання астроекології чи астробіології (табл. 4).

Таблиця. 4. Найвідоміші популяризатори науки, які в своїх роботах торкаються питань астроекології.

Ім'я та прізвище	Громадянство	Основна афіліація / Роль
Карл Саган	США	Корнелльський університет; засновник Planetary Society
Ніл Деграсс Тайсон	США	Американський музей природознавства
Адам Френк	США	Рочестерський університет; лауреат медалі Карла Сагана
Чарльз Кокелл	Велика Британія	Единбурзький університет; директор Британського центру астробіології

Наталі Каброль	Франція / США	Інститут SETI; директор Центру Карла Сагана
Льюїс Дартнелл	Велика Британія	Вестмінстерський університет; автор «The Knowledge»
Кевін Хенд	США	Лабораторія реактивного руху (JPL, NASA)
Сара Сігер	Канада / США	Массачусетський технологічний інститут (MIT)
Пул Девіс	Австралія / Велика Британія	Університет штату Арізона (Beyond Center)
Дірк Шульце-Макух	Німеччина	Берлінський технічний університет
Енн Друян	США	Письменниця; співавторка серіалу «Космос»
Бетюль Качар	Туреччина / США	Університет Вісконсин-Медісон; NASA Astrobiology Program
Ліза Кальтенеггер	Австрія / США	Корнелльський університет; Інститут Карла Сагана
Аві Леб	Ізраїль / США	Гарвардський університет
Мітіо Каку	США	Міський університет Нью-Йорка (CUNY)
Кріс Лінтотт	Велика Британія	Оксфордський університет; ведучий «The Sky at Night»
Девід Кетлінг	США	Вашингтонський університет
Мішель Таллер	США	Центр космічних польотів імені Годдарда (NASA)
Стівен Гокінг	Велика Британія	Кембриджський університет
Калеб Шарф	Велика Британія / США	Колумбійський університет

### Курси із астробіології та астроекології

Можна отримати більш широку та систематизовану інформацію від провідних спеціалістів в галузі астроекології, астробіології та космічних наук пройшовши курси, тренінги, онлайн-платформи для навчання або відвідавши літні школи.

Онлайн-курси (МООС) для самостійного навчання:

Astrobiology and the Search for Extraterrestrial Life (The University of Edinburgh / Coursera) – один із найпопулярніших вступних курсів, що охоплює походження життя, пошук екзопланет та соціальні аспекти виявлення позаземного розуму.

Astrobiology: Exploring Other Worlds (University of Arizona / Coursera) – фокусується на планетології, методах пошуку екзопланет та концепції «зони придатності для життя».

Astrobiology and the origins of life (University of Cambridge) – інтерактивний курс, що розглядає Fermi paradox (парадокс Фермі), еволюцію генетичного коду та «космічний зоопарк» гіпотетичних форм життя.

Origins – Formation of the Universe, Solar System, Earth and Life (University of Copenhagen / Coursera) – курс про фундаментальні витоки всього сущого, від Великого вибуху до появи перших клітин.

Astrobiology on OpenLearn (The Open University) – набір безкоштовних ресурсів та міні-курсів, включаючи такі теми як «Планетарний захист» (Planetary Protection) та «Крижані світи».

Літні школи та інтенсивні тренінги:

NASA Planetary Science Summer School (PSSS) – інтенсивна 3-місячна програма (з кульмінаційним тижнем у JPL), де учасники розробляють концепцію власної космічної місії.

EAI Summer Schools (European Astrobiology Institute) – регулярні заходи в різних країнах Європи. На 2026 рік заплановані школи "Icy Bodies and Life" (Естонія) та "Biosignatures and the Search For Life on Mars" (Ісландія).

Redu Astrobiology Summer School (ESA/EAI) – зазвичай проводиться в Бельгії та фокусується на експериментальній астробіології та роботі з аналоговими середовищами.

Josep Comas i Solà International Summer School in Astrobiology – престижна літня школа в Сантандері (Іспанія), організована за підтримки NASA Astrobiology Program та Centro de Astrobiología.

AbGradCon (Astrobiology Graduate Conference) – хоча це конференція, вона включає тренінги та воркшопи, організовані аспірантами для студентів, що є чудовим стартовим майданчиком для входження в наукову спільноту.

#### Загальні принципи опрацювання літературних джерел

Опрацювання літературних джерел є фундаментальною складовою підготовки будь-якої наукової роботи – від реферату до кваліфікаційної роботи. Для здобувача, особливо в галузях, що стрімко розвиваються, як астроекотологія, це не просто читання, а складний аналітичний процес, що потребує системного підходу.

Нижче наведено детальний опис загальних принципів роботи з джерелами.

#### 1. Принцип цілеспрямованості та селективності

Перший етап – це відбір. Студент повинен чітко розуміти мету свого дослідження. Неможливо прочитати "все" про космос, але можна опрацювати ключові праці про "мікробіологічну безпеку закритих екосистем".

Складання бібліографії: Починати варто з фундаментальних праць (монографій, класичних підручників), а потім переходити до актуальних наукових статей у рецензованих журналах (наприклад, Astrobiology або Nature).

Фільтрація: Оцінка джерела за назвою, анотацією та змістом. Якщо стаття не містить методики або результатів, що стосуються вашої теми, вона відсіюється на етапі перегляду.

#### 2. Принцип критичного аналізу та верифікації

Наукова робота базується на перевірених фактах. Студент не повинен сприймати інформацію як абсолютну істину.

Авторитетність: Перевірка афіліації автора та репутації видання. Довіра до статей у виданнях наукових товариств (наприклад, NASA або ESA) вища, ніж до публікацій на загальних новинних порталах.

Актуальність: У природничих науках інформація застаріває дуже швидко. Джерела 10-річної давнини можуть бути цікавими з точки зору історії науки, але для опису сучасних технологій слід орієнтуватися на останні 3–5 років.

Зіставлення: Порівняння даних із різних джерел. Якщо два автори подають різні показники цитованості одного й того самого журналу або різні результати експерименту, необхідно з'ясувати причину розбіжностей.

#### 3. Етапність та глибина вивчення

Опрацювання кожного джерела має відбуватися у кілька кроків:

Попередній перегляд (Skimming): Ознайомлення зі структурою, висновками та списком літератури. Це дозволяє зрозуміти, чи варто витратити час на детальне читання.

Поглиблене читання (Scanning): Вивчення основних аргументів, доказової бази та логіки автора.

Аналітичне опрацювання: Виділення ключових термінів, формул, статистичних даних. Саме на цьому етапі студент робить виписки та нотатки.

#### 4. Принцип систематизації та ведення записів

Просте читання без фіксації результатів є неефективним. Студент має використовувати методику конспектування:

Тези: Стисле формулювання основних думок автора.

Цитати: Дослівний витяг тексту, який обов'язково супроводжується точними даними про джерело (номер сторінки, рік видання). Це запобігає ненавмисному плагіату в майбутньому.

Анотування: Власна коротка характеристика джерела, де студент зазначає, чим саме ця праця корисна для його курсової чи дипломної роботи.

Цифрові інструменти: Використання бібліографічних менеджерів (наприклад, Zotero, Mendeley) дозволяє автоматично зберігати посилання та структурувати бібліотеку за тегами.

#### 5. Дотримання стандартів цитування та оформлення

Це принцип наукової доброчесності. Будь-яка думка, запозичена з джерела, має бути підкріплена посиланням.

Національні стандарти: В Україні при оформленні списків використаних джерел часто використовується ДСТУ 8302:2015. Студент повинен знати різницю між бібліографічним описом книги, статті в журналі та матеріалів конференції.

Контекстне посилання: Вміння інтегрувати цитату в текст своєї роботи так, щоб вона підсилювала аргументацію, а не виглядала як «чужорідне тіло».

#### 6. Принцип об'єктивності та відсутності упередженості

Часто студенти шукають лише ті джерела, що підтверджують їхню гіпотезу. Проте справжній науковий підхід полягає в опрацюванні альтернативних поглядів. Якщо існують різні теорії щодо виникнення життя на інших планетах, у роботі мають бути представлені всі вагомі точки зору.

Практичні поради для студентів ЖДУ імені Івана Франка та інших ЗВО:

Використовуйте бібліотечні фонди та цифрові репозиторії. Часто університетські бібліотеки надають доступ до закритих наукових баз даних (Scopus, Web of Science).

Працуйте з першоджерелами. Якщо ви посилаєтесь на закон термодинаміки або класичний експеримент Міллера – Юрі, намагайтеся знайти оригінальну працю або авторитетне наукове видання, а не переказ у підручнику.

Дотримуйтесь обсягу. При написанні курсової роботи (наприклад, обсягом 25-30 сторінок) кількість опрацьованих джерел має відповідати вимогам кафедри (зазвичай 20–30 джерел), причому частина з них обов'язково має бути іноземними мовами.

Аналізуйте методику. Звертайте увагу не лише на те, що знайшов автор, а й на те, як він це зробив. Це допоможе вам сформулювати власну методологічну базу.

Системне опрацювання літератури – це 70% успіху наукової роботи. Воно розвиває здатність до синтезу інформації, критичне мислення та формує професійний світогляд майбутнього фахівця.

Для пошуку необхідних джерел карше використовувати спеціалізовані пошукові системи. Дуже зручною є сторінка Google Academy (рис. 1). Увівши в пошукове вікно ключові слова можна отримати посилання на статті в яких вони зустрічаються, оцінити ці роботи за їхньою цитованістю та отримати бібліографічний опис для цитування. Також можна використовувати інші системи в клубчаючи сайти систем які є бібліографічними або реферативними базами даних, таких як Scopus чи Web of science.

Для ефективного пошуку наукової літератури, особливо в таких міждисциплінарних галузях, як астробіологія та космобіологія, звичайних пошукових систем часто недостатньо. Студентам та дослідникам варто використовувати спеціалізовані бази даних, які індексують рецензовані статті, монографії та тези конференцій. Ось перелік десяти найпотужніших пошукових систем для наукової роботи:

#### Google Scholar (Google Академія)

Найбільш універсальна та доступна система. Вона дозволяє шукати повнотекстові статті, тези, книги та препринти з усіх галузей знань. Особливо корисна для пошуку робіт українських вчених, оскільки індексує університетські репозиторії.

#### NASA Astrophysics Data System (ADS)

Критично важливий ресурс для астробіології та космічних наук. Ця база даних містить мільйони записів з астрономії, фізики та планетології, включаючи тези конференцій, які важко знайти в інших системах.

#### PubMed

Головний ресурс для пошуку літератури з біології, медицини та біотехнологій. Якщо ваша робота стосується впливу радіації на мікроорганізми або космічної фізіології людини, PubMed є незамінним інструментом.

ScienceDirect

Платформа видавництва Elsevier, що надає доступ до тисяч наукових журналів. Саме тут публікуються такі видання, як Life Sciences in Space Research та Acta Astronautica.

Scopus

Одна з найбільших реферативних баз даних. Вона дозволяє не лише знайти статтю, а й проаналізувати її цитованість, знайти індекс Гірша автора та оцінити престижність наукового журналу.

Web of Science (WoS)

Найстаріша та найбільш вибіркова база даних наукового цитування. Використовується для глибокого аналізу літератури та підбору джерел з високим імпаکت-фактором.

WorldWideScience.org

Глобальний науковий шлюз («The Global Science Gateway»), що дозволяє здійснювати пошук одночасно в базах даних багатьох країн. Він забезпечує доступ до національних наукових архівів, які не завжди індексуються Google Scholar.

CORE (Connecting Repositories)

Найбільший у світі агрегатор статей відкритого доступу (Open Access). Допомогає знайти безкоштовні повнотекстові версії робіт, які на сайтах видавництв можуть бути платними.

ResearchGate

Соціальна мережа для вчених, яка працює і як пошукова система. Тут можна знайти препринти статей, а також напряму звернутися до авторів (наприклад, до провідних астробіологів) із проханням надати повний текст їхньої роботи.

Dimensions

Сучасна платформа, яка поєднує пошук публікацій, патентів, грантів та клінічних досліджень. Вона має дуже зручні інструменти візуалізації зв'язків між різними науковими галузями.

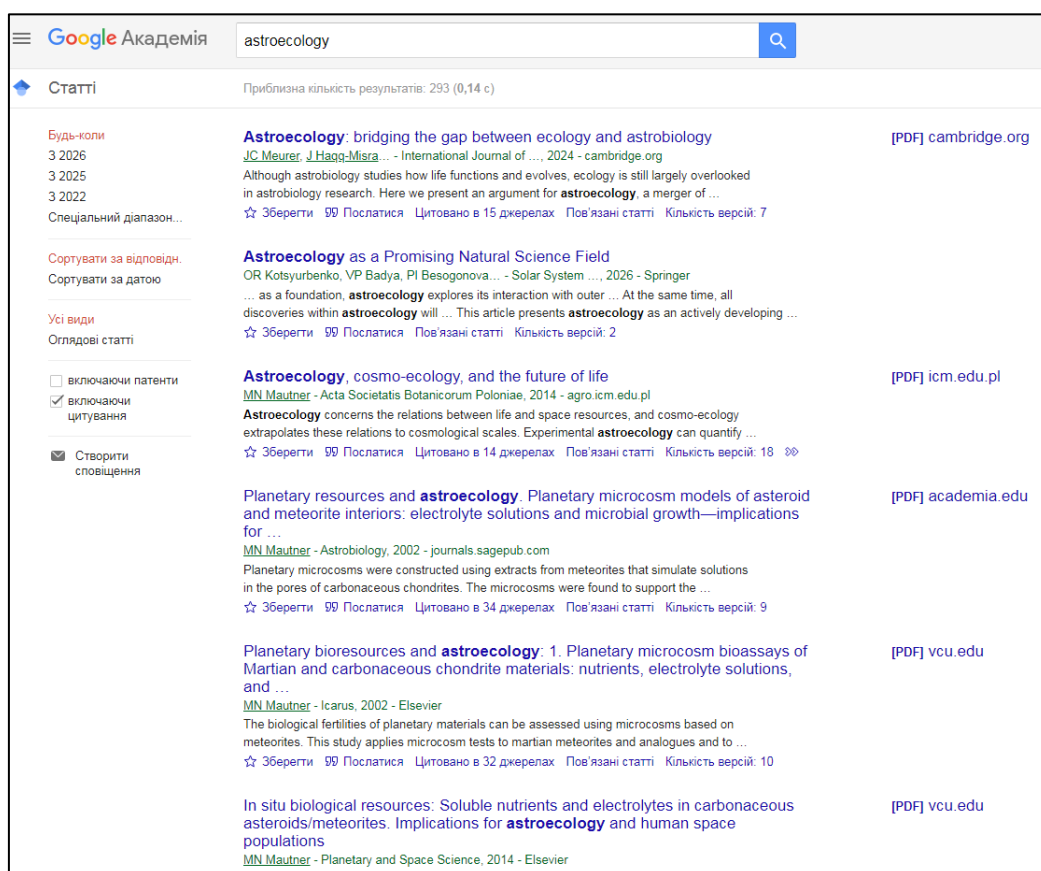


Рис. 1. Скриншот пошукової сторінки Google Academy із запитом «astroecology»  
Списки літературних джерел та правила їхнього оформлення.

Опрацювавши літературу необхідно зафіксувати перелік опрацьованих джерел у її списках. Для цього використовується ряд стандартів, які мають свої відмінності. При підготовці наукових робіт, зокрема у міждисциплінарних галузях на стику біології та техніки, вибір стандарту цитування часто залежить від вимог конкретного наукового журналу або навчального закладу. Дотримання цих правил не лише відповідає стандартам наукової етики, а й значно полегшує проходження перевірки на плагіат та роботу з міжнародними базами цитування. Ось п'ять найпопулярніших міжнародних стандартів оформлення посилань:

#### 1. APA (American Psychological Association)

Один із найпоширеніших стандартів у світі. Хоча спочатку він розроблявся для суспільних наук, сьогодні його часто використовують у природничих науках та біології.

Особливість: Система «автор–дата» (наприклад: Smith, 2023). Вона дозволяє читачеві швидко зрозуміти, наскільки актуальним є джерело, не заглядаючи у список літератури.

#### 2. MLA (Modern Language Association)

Найчастіше використовується в гуманітарних науках, але його принципи лаконічності іноді застосовуються і в загальнонаукових виданнях.

Особливість: Система «автор–сторінка» (наприклад: Smith 42). Основний акцент робиться на тому, де саме в тексті джерела знаходиться інформація.

#### 3. Chicago Style

Універсальний стандарт, який пропонує два варіанти оформлення: систему приміток (footnotes) та систему «автор–дата».

Особливість: Варіант із примітками дозволяє розвантажити основний текст від довгих посилань, виносячи їх у нижню частину сторінки. Це часто зустрічається в історичних та фундаментальних теоретичних працях.

#### 4. Harvard Style

Це не єдиний жорсткий стандарт, а скоріше загальна назва стилю «автор–дата», який використовується багатьма університетами Великої Британії та Австралії.

Особливість: Дуже схожий на APA, але має свої специфічні правила щодо пунктуації та використання курсиву. Популярний серед дослідників, які готують статті для європейських наукових видань.

#### 5. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

Це профільний стандарт для технічних наук, інженерії та комп'ютерних технологій. Якщо ваша робота стосується космічної техніки або систем життєзабезпечення, цей стиль буде найбільш доречним.

Особливість: Нумерований стиль. Посилання в тексті виглядають як цифри у квадратних дужках (наприклад: [1]), а список джерел формується за порядком їх появи в тексті, а не за алфавітом.

Для студентів та науковців в Україні базовим є національний стандарт ДСТУ 8302:2015. Проте при публікації статей у журналах, що індексуються в базах Scopus або Web of Science, зазвичай вимагається один із перелічених вище міжнародних стилів.

Національний стандарт ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» є основним документом в Україні для оформлення наукових робіт. Він уніфікує правила цитування та дозволяє коректно структурувати список використаних джерел. Нижче наведено основні принципи та приклади оформлення джерел, адаптовані до тематики астробіології та космічних досліджень.

#### 1. Загальні правила оформлення

Склад посилання: Посилання має містити назву автора (якщо є), основну назву праці, відомості про видання (місто, видавництво, рік) та обсяг (сторінки).

Розділові знаки: Стандарт дозволяє замінювати знак «крапка й тире» (. –) простою крапкою для спрощення сприйняття.

Мова: Бібліографічний опис складається мовою оригіналу документа.

#### 2. Приклади оформлення за видами джерел

##### А. Книги (монографії, підручники)

Для опису книги одного або кількох авторів зазначають прізвище та ініціали першого автора перед назвою.

Приклад:

Коккелл Ч. С. Астробіологія: вступ до вивчення життя у Всесвіті. Единбург : Единбурзький університет, 2020. 450 с.

Б. Статті з періодичних видань (журналів)

У такому описі використовується подвійна коса риска (//), яка відокремлює назву статті від назви журналу.

Приклад:

Вернадський В. І. Біосфера та космос. Космічна біологія та авіакосмічна медицина. 2024. Т. 5, № 2. С. 12–18.

В. Електронні ресурси (сайти, бази даних)

Обов'язково вказується режим доступу (URL) та дата звернення до ресурсу.

Приклад:

NASA Astrobiology Strategy 2025 : official report. NASA. URL: <https://astrobiology.nasa.gov/strategy> (дата звернення: 05.05.2026).

Г. Тези доповідей на конференціях

Важливо зазначити назву конференції, місце та дату її проведення.

Приклад:

Бондаренко О. П. Проблеми вирощування вищих рослин у замкнених екосистемах. Астроєкологія та майбутнє цивілізації : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 12–14 берез. 2026 р.). Київ : НАНУ, 2026. С. 45–47.

3. Специфіка посилань у тексті

Згідно з ДСТУ 8302:2015, у тексті наукової роботи найчастіше використовують позатекстові посилання у квадратних дужках.

Одиночне посилання: «...як зазначає автор у своєму дослідженні екстремофілів [12, с. 54]». (Де 12 – номер джерела у списку, а 54 – номер сторінки).

Групове посилання: «Вплив мікрогравітації на клітинному рівні досліджували багато вчених [1, 5, 18]».

Коли ви готуєте список джерел слід зважати на такі поради:

Якщо ви готуєте список із джерел (наприклад, для курсової роботи), зверніть увагу на такі нюанси:

Алфавітний порядок: Спершу подаються джерела кирилицею (українська, болгарська тощо), потім – латиницею (англійська, французька).

Нумерація: Має бути наскрізною (від 1 до 26).

Автори: Якщо авторів більше трьох, після назви через скісну риску (/) зазначають ініціали та прізвища перших трьох і додають «та ін.» (або «et al.» для іноземних джерел).

У світі найбільш поширеним є стандарт оформлення бібліографії АРА. Стандарт АРА (American Psychological Association) є одним із найпопулярніших у світі для оформлення наукових робіт у галузі природничих наук, зокрема біології та екології. На відміну від українського ДСТУ, АРА використовує систему «автор–дата», що робить текст зручнішим для швидкого аналізу актуальності даних. Нижче наведено основні правила 7-ї редакції стандарту (АРА 7) з прикладами англійською мовою.

1. Основні принципи цитування в тексті

В АРА посилання вказуються безпосередньо в реченні. Це дозволяє уникнути великої кількості підрядкових приміток.

Один автор: (Cockell, 2020)

Два автори: (Seager & Bains, 2021)

Три і більше авторів: (Kacharu et al., 2023)

Пряма цитата: Обов'язково вказується номер сторінки: (Hand, 2022, p. 89).

2. Оформлення списку літератури (References)

Список літератури сортується суворо за алфавітом. Основна риса АРА – ініціали замість повних імен та винесення року видання на початок опису.

А. Наукова стаття (Journal Article)

Це найпоширеніший тип джерела в астробіології.

Шаблон: Author, A. A., & Author, B. B. (Year). Title of the article. Title of the Periodical, Vol(Issue), pages. DOI/URL

Приклад:

Chyba, C. F., & Hand, K. P. (2005). Astrobiology: The study of the living universe. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 43(1), 31–74. <https://doi.org/10.1146/annurev.astro.43.072103.150558>

Б. Книга (Book)

Шаблон: Author, A. A. (Year). Title of the work. Publisher.

Приклад:

Cockell, C. S. (2015). Astrobiology: Understanding life in the universe. Wiley-Blackwell.

В. Розділ у редагованій книзі (Chapter in an Edited Book)

Важливо для збірників наукових праць.

Приклад:

Rothschild, L. J. (2010). Synthetic biology: Viability of the theoretical universe. In S. Dick & M. Lupisella (Eds.), *Cosmos and Culture* (pp. 371–402). NASA SP-2009-4802.

Г. Веб-ресурс або звіт агентства

Приклад:

NASA. (2025). Astrobiology strategy 2025: A road map for the search for life in the universe. <https://www.nasa.gov/reports/astrobiology-2025>

3. Правила форматування тексту

АРА вимагає не лише правильних посилань, а й специфічної структури сторінки:

Шрифт: Times New Roman (12 пт) або Arial (11 пт).

Інтервал: Подвійний (double-spaced) по всьому документу.

Поля: 1 дюйм (2.54 см) з усіх боків.

Абзацний відступ: 0.5 дюйма (1.27 см).

Поширені стилі та стандарти оформлення із якими ми працюємо в Україні відрізняються але мають дещо спільне, що дозволяє робити перехід від одного стилю до іншого (табл. 5). Часто для прискорення роботи із оформленнями списку літератури використовують ресурси ШІ (Gemini, ChatGPT тощо). Для автоматизації процесу рекомендується використовувати Mendeley або Zotero, де можна обрати стиль «АРА 7th edition», і програма сама розставить крапки та курсиви згідно з правилами. Також корисними можуть бути інші ресурси.

1. Zotero (з плагінами AI)

Хоча Zotero є класичним бібліографічним менеджером, він інтегрується з ШІ-інструментами (наприклад, через плагіни для ChatGPT або GPT-4), що дозволяє автоматично витягувати метадані з PDF-файлів.

Функції: Автоматичне формування списків у понад 10 000 стилях (включаючи АРА, Harvard та ДСТУ).

Перевага: Найбільш надійний інструмент для зберігання великої кількості джерел (наприклад, вашого списку з 26 праць).

2. Mendeley

Потужна платформа від Elsevier, яка використовує алгоритми машинного навчання для пропозиції релевантних статей на основі вашої бібліотеки.

Функції: Пошук наукових робіт через вбудовану систему (схожу на Scopus) та миттєве оформлення посилань у Microsoft Word.

Перевага: Ідеально підходить для роботи з англійськими джерелами у стилі АРА.

3. Perplexity AI

Це пошукова система на базі ШІ, яка надає відповіді з прямими посиланнями на наукові джерела.

Функції: Ви можете завантажити текст або список назв, і попросити ШІ: «Format these 26 sources according to APA 7th edition».

Перевага: Вона перевіряє реальність існування джерел, на відміну від звичайного ChatGPT, який може «галюцинувати» (вигадувати назви).

#### 4. Cite This For Me (Zbib)

Простий, але ефективний онлайн-інструмент, який тепер інтегрує розумні алгоритми пошуку за URL, ISBN або назвою статті.

Функції: Створення бібліографії в один клік.

Перевага: Не потребує реєстрації та ідеально підходить для швидкого оформлення посилань на веб-ресурси (наприклад, сайти NASA або ESA).

#### 5. ResearchRabbit

Цю платформу часто називають «Spotify для наукових статей». Вона використовує ШІ для візуалізації зв'язків між авторами та публікаціями.

Функції: Дозволяє створювати «колекції» джерел та експортувати їх у форматах BibTeX або RIS для подальшого оформлення списку.

Перевага: Допомогає знайти нові джерела з астробіології, які ви могли пропустити під час початкового пошуку.

Таблиця 5. Порівняння стандартів оформлення бібліографії в ДСТУ 8302:2015 та APA 7th Edition

Елемент	ДСТУ 8302:2015	APA 7th Edition
Місце року	В кінці опису (2020)	Одразу після авторів (2020)
Розділювач	Крапка, двокрапка, похила риска	Крапка та кома
Посилання в тексті	Номер у дужках [12]	Прізвище та рік (Smith, 2020)
Мова опису	Мова оригіналу	Переважно англійська (з перекладом назви для неанглійських праць)

## Підготовка рефератів та есе

Написання есе та рефератів з такої міждисциплінарної галузі, як астроекологія, вимагає від студента не лише знань із біології чи астрономії, а й вміння синтезувати інформацію, аналізувати складні системи та чітко формулювати власні висновки. Оскільки ця наука вивчає взаємодію життя з космічним середовищем та розробку стійких екосистем поза Землею, підхід до написання робіт має бути системним. Нижче наведено докладні рекомендації, що охоплюють усі етапи підготовки наукового тексту.

### 1. Розуміння специфіки жанру

Перш ніж приступати до написання, важливо розрізнити ці два види робіт:

Реферат – це критичний огляд існуючих літературних джерел. Ваше завдання – систематизувати те, що вже відомо науці (наприклад, стан розробки замкнених систем життєзабезпечення). Тут домінує об'єктивність та точність фактів.

Есе – це творча наукова робота, де ви висловлюєте власну позицію щодо певної проблеми (наприклад, етичні аспекти тераформування Марса). Есе базується на аргументації та критичному мисленні.

### 2. Підготовчий етап: вибір теми та пошук джерел

Астроекологія – це наука майбутнього, тому важливо обирати теми, що мають наукову цінність. Актуалізація теми: Орієнтуйтеся на сучасні проекти (Artemis, Gateway, дослідження екстремофілів). Тема «Космос» занадто широка; краще обрати вузьку, наприклад: «Вплив іонізуючого випромінювання на фотосинтетичні апарати вищих рослин у реголіті».

Робота з базами даних: Оскільки ви цікавитесь науковими метриками та стандартами, використовуйте Scopus, NASA ADS та Google Scholar для пошуку джерел. Для якісного реферату необхідно опрацювати не менше 10–15 джерел, включаючи англійські праці провідних інститутів (наприклад, JPL або Інституту ботаніки НАНУ).

Аналіз літератури: Дотримуйтесь принципів критичного аналізу – перевіряйте дату публікації та авторитетність авторів.

### 3. Структурування матеріалу

Чітка структура – запорука успіху. Будь-яка робота повинна мати логічний ланцюжок:

Вступ

Тут ви обґрунтовуєте актуальність. Чому важливо вивчати астроекологію саме зараз? Зазвичай це пов'язано з планами колонізації Місяця чи Марса та потребою у створенні відновлюваних ресурсів. У вступі також формулюється об'єкт та предмет дослідження.

Основна частина

Поділіть її на 2–3 підрозділи.

Теоретичний базис: Коротко опишіть фізичні чи біологічні умови (радіація, мікрогравітація, склад атмосфери).

Аналіз даних: Наведіть результати останніх експериментів. Якщо ви пишете про кисень, згадайте кількісні дані щодо споживання повітря людиною в замкненому просторі.

Порівняльний аспект: Зіставте земні аналоги екосистем із космічними моделями.

Висновки

Це не просто короткий переказ роботи. Висновки мають відповідати на питання: «Що далі?». Зазначте перспективи подальших досліджень або практичне значення вашої роботи для космічної галузі.

### 4. Дотримання наукових стандартів та оформлення

Ви як дослідник, що приділяє увагу формальним стандартам (як-от ДСТУ 8302:2015 або АРА), маєте стежити за чистотою цитування:

Наукова доброчесність: Жодного копіювання без посилань. Кожна цифра, специфічний термін або чужа ідея мають супроводжуватися посиланням у квадратних дужках або у форматі «автор-дата».

Термінологія: Використовуйте коректні наукові терміни: «реголіт» замість «космічний пісок», «антропогенне навантаження» замість «забруднення людьми».

Бібліографія: Список використаних джерел має бути оформлений ідеально. Пам'ятайте про алфавітний порядок та наявність DOI для електронних версій статей.

### 5. Стилiстика та мова роботи

Науковий текст з астроекології має бути лаконічним, логічним та переконливим. Уникайте надмірних епітетів та художніх описів «краси всесвіту». Використовуйте безособові форми дієслів: «встановлено», «досліджено», «проаналізовано». Стежте за логічними переходами між абзацами – кожна нова думка має впливати з попередньої.

### 6. Практичні поради

Враховуючи ваші поточні проекти та інтерес до зоології та ентомології, інтегруйте знання: Якщо ви досліджуєте комах-шкідників (як-от короїдів), спробуйте розглянути концепцію ентомології в контексті біологічного захисту космічних оранжерей. При написанні реферату орієнтуйтеся на стандартний обсяг 15–20 сторінок, а для есе – 3-5 сторінок. Пам'ятайте про вимоги кафедри щодо шрифту (Times New Roman, 14 pt) та інтервалів (1.5). Використовуйте ШІ-платформи для перевірки списку літератури, але завжди робіть фінальну звірку вручну за методичками вашого університету.

Розглянемо перелік рекомендованих тем для рефератів на закладені в навчальні програми теми. Опираючись на рекомендації викладача тема може залишатися незмінною, вона може бути змінена після погодження з ним або змінена самостійно.

Реферати:

1. Структура астроекології та її місце в системі природничих наук

Взаємозв'язок астроекології з біогеохімією та космічною біологією.

Методологічний апарат астроекології: від теоретичного моделювання до натурних експериментів.

Астроекологія як синтетична дисципліна в епоху нової космічної ери.

Рівні організації живої матерії в об'єктному полі астроекології.

Роль астроекологічних знань у формуванні сучасної наукової картини світу.

2. Предмет і завдання астроекології

Моніторинг біосферних процесів Землі як фундаментальне завдання астроекології.

Проблема стійкості штучних екосистем у позаземних умовах.

Дослідження впливу космічних чинників на еволюцію земної біоти.

Завдання астроекології в контексті програми сталого розвитку людства за межами Землі.

Об'єктно-предметна сфера астроекології: від мікроорганізмів-екстремофілів до глобальних екосистем.

3. Історія астроекології

Внесок В. І. Вернадського у становлення космічного світогляду та екології.

Етап «земних аналогів»: історія перших експериментів із закритими екосистемами (BIOS-3, BIOS-1).

Розвиток астробіологічних ідей від античності до сучасності.

Історія міжнародного співробітництва у сфері космічної біології та екології (програми NASA та ESA).

Еволюція наукових уявлень про населеність Всесвіту в XX–XXI століттях.

4. Життя як космічне явище

Концепція панспермії: від історичних гіпотез до сучасних експериментів на МКС.

Біогенна міграція атомів у Всесвіті: космічна роль живої речовини.

Життя як термодинамічний процес у масштабах галактик.

Антропний принцип та умови виникнення біологічних систем у Всесвіті.

Вплив сонячної активності та космічних променів на біологічні ритми Землі.

5. Всесвіт – динамічна ієрархічна система

Ієрархія космічних структур: від елементарних часток до метагалактики.

Ентропія та самоорганізація в складних динамічних системах Всесвіту.

Місце Сонячної системи в ієрархічній структурі Чумацького Шляху.

Динаміка великих космічних циклів та їх відображення в геологічній історії Землі.

Системний підхід у моделюванні еволюції Всесвіту.

#### 6. Стратегії виживання та живі системи

Механізми адаптації екстремофілів до умов вакууму та радіації.

Стратегії виживання мікроорганізмів у метеоритах: теорія та практика.

Біологічна стійкість вищих рослин у контексті створення «космічних городів».

Порівняльний аналіз стратегій виживання в океанічних глибинах та космічному просторі.

Життєздатність спор та насіння в екстремальних середовищах: ліміти витривалості

#### 7. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі

Вплив 11-річних циклів сонячної активності на динаміку популяцій комах-шкідників.

Роль космічного іонізуючого випромінювання у формуванні мутаційного фону біосфери.

Геомагнітні бурі та їхній вплив на системи орієнтації перелітних птахів і морських ссавців.

Космічні чинники як тригери глобальних кліматичних змін у геологічній історії Землі.

Механізми адаптації наземних екосистем до варіацій ультрафіолетового фону Сонця.

#### 8. Закономірності взаємодії організмів із середовищем

Закон оптимуму та межі витривалості видів у екстремальних екологічних нішах.

Біоморфи (життєві форми) як результат конвергентної еволюції в різних кліматичних зонах.

Кооперація та симбіоз як стратегії виживання в умовах обмежених ресурсів.

Екологічна пластичність видів та її роль у заселенні антропогенних ландшафтів.

Трофічні зв'язки як основа стійкості біоценозів.

#### 9. Енергетика екосистем та потоки енергії

Закон піраміди енергій Р. Ліндемана та його значення для функціонування популяцій.

Енергетичний бюджет біосфери: від фотосинтезу до розсіювання тепла.

Потоки енергії в глибоководних екосистемах (хемосинтез) як аналог екзобіосфер.

Термодинаміка відкритих систем у застосуванні до аналізу екосистем.

Ефективність перетворення енергії на різних трофічних рівнях у штучних біоценозах.

#### 10. Динаміка екосистем та моделювання

Екологічна сукцесія: закономірності формування клімакських угруповань.

Біоритми організмів як механізм синхронізації з космічними циклами Землі.

Математичне моделювання динаміки популяцій за допомогою рівнянь Лотки – Вольтерри.

Флуктуації та еволюційні перетворення в екосистемах під впливом змін середовища.

Прогнозування стійкості екосистем за допомогою комп'ютерних моделей.

#### 11. Екосистеми штучних космічних об'єктів та екзобіосфери

Принципи створення замкнених циклів життєзабезпечення для міжпланетних перельотів.

Мікробіологічний моніторинг та екологічна безпека на борту МКС.

Проблеми упаковки екологічних ніш у малооб'ємних штучних екосистемах.

Моделювання структури ймовірних екзобіосфер на планетах земного типу.

Використання вищих рослин та комах у біорегенеративних системах життєзабезпечення.

#### 12. Біоморфи як спосіб адаптації до умов середовища

Конвергентна еволюція біоморф: як подібні умови середовища формують однакові життєві форми у віддалених групах організмів.

Еволюція біоморф екстремофілів: морфологічні адаптації організмів до життя в умовах надвисоких температур та тиску.

Система життєвих форм Раункієра: придатність класичних класифікацій для опису екосистем екстремальних середовищ.

Біоморфологічна структура антропогенно змінених ландшафтів: зміна домінуючих життєвих форм під впливом урбанізації.

Перспективи формування нових біоморф у штучних екосистемах тривалих космічних місій.

#### 13. Потоки енергії в екосистемах

Трофодинаміка замкнених систем: особливості передачі енергії в обмежених космічних біоценозах.

Другий закон термодинаміки в екології: ефективність використання енергії на різних трофічних рівнях.

Енергетична інверсія в глибоководних екосистемах: роль хемосинтезу як альтернативного джерела первинної енергії.

Антропогенний вплив на енергетичний бюджет біосфери: глобальне потепління та перерозподіл теплової енергії.

Математичне обґрунтування енергетичних пірамід у стабільних та нестабільних екосистемах.

#### 14. Екосистема як упаковка еконіш

Концепція багатовимірної ніші Хатчінсона: візуалізація та моделювання «упаковки» видів у біоценозі.

Принцип конкурентного виключення Гаузе: межі щільності упаковки еконіш у дефіцитних середовищах.

Диференціація ніш як механізм стійкості: як біорізноманіття забезпечує стабільність екосистеми.

Проблема «порожніх ніш» при формуванні біосфери на штучних космічних об'єктах.

Перекриття екологічних ніш в умовах інвазій чужорідних видів: загроза для локальних екосистем.

#### 15. Динаміка екосистем: біоритми, сукцесія, флуктуації, еволюція

Вплив космічних циклів на біоритми організмів: синхронізація земного життя з місячними та сонячними ритмами.

Первинна сукцесія на вулканічних островах та льодовиках: природні моделі для майбутнього тераформування.

Екологічні флуктуації та їх зв'язок із кліматичними осциляціями: прогнозування спалахів чисельності видів.

Коеволюція видів усередині екосистеми: як динамічні зміни одного компонента трансформують усю систему.

Механізми досягнення клімаксного стану в природних та штучних екосистемах.

#### 16. Моделювання динаміки екосистем

Комп'ютерне моделювання екосистем «хижак-жертва»: застосування систем диференціальних рівнянь в екології.

Імітаційне моделювання глобальних біогеохімічних циклів (карбону та нітрогену) за допомогою сучасного ПЗ.

Прогнозування стійкості екосистем до екстремальних подій за допомогою стохастичних моделей.

Цифрові двійники екосистем: використання Big Data для моніторингу та управління заповідними територіями.

Графове моделювання трофічних мереж: аналіз критичних вузлів, вразливих до зникнення видів.

#### 17. Моделювання динаміки та структури екзобіосфер

Моделювання біосфери на планетах біля червоних карликів: спектральний аналіз можливого фотосинтезу.

Термодинамічні обмеження для життя на «крижаних світах»: моделювання екосистем Європи та Енцелада.

Геохімічне моделювання ранньої Землі як ключ до розуміння структури первісних екзобіосфер.

Ймовірнісні моделі виживання земних екстремофілів у реголіті Марса та хмарах Венери.

Математичні сценарії еволюції життя в умовах альтернативної біохімії (наприклад, кремнієвої або аміачної).

#### 18. Пошук позаземного життя

Методологія пошуку життя на крижаних супутниках: порівняльний аналіз перспектив Європи (Юпітер) та Енцелада (Сатурн).

Марс як об'єкт астробіологічних досліджень: еволюція уявлень про населеність Червоної планети від місії «Вікінг» до ровера «Perseverance».

Життя в екстремальних умовах: земні екстремофіли як моделі для прогнозування біосфер на екзопланетах.

Технологічні виклики виявлення життя в підповерхневих океанах: проекти кріоботів та автономних підводних апаратів.

Вплив планетарного захисту на місії з пошуку життя: як запобігти біологічному забрудненню інших світів.

#### 19. Історія пошуків позаземного життя

Від античного множинності світів до наукової революції: філософські витоки ідеї позаземного життя.

«Канали» Марса та початок наукової астробіології: аналіз помилок та досягнень Персівалія Ловелла та Джованні Скіапареллі.

Радіоастрономія та перші спроби міжзоряного зв'язку: історичне значення проєкту «Озма» Френка Дрейка.

Роль Карла Сагана у популяризації та науковому обґрунтуванні пошуку позаземного розуму.

Еволюція інструментарію: від оптичних телескопів минулого до орбітальних обсерваторій нового покоління (Hubble, Kepler, James Webb).

#### 20. Біосигнатури

Атмосферні біосигнатури: виявлення кисню, метану та фосфіну як індикаторів біологічної активності на екзопланетах.

Спектроскопія високої роздільної здатності: як сучасні телескопи «читають» хімічний склад далеких світів.

Проблема «хибнопозитивних» результатів: небіологічні процеси, що можуть імітувати ознаки життя.

Техносигнатури як особливий вид біосигнатур: пошук ознак інженерної діяльності розвинених цивілізацій (сфери Дайсона, лазерні імпульси).

Поверхневі біосигнатури: можливість виявлення фотосинтетичних пігментів («червоний край» рослинності) на планетах біля інших зірок.

#### 21. Програма SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence)

Парадокс Фермі та рівняння Дрейка: математичні та логічні засади пошуку позаземного розуму.

Радіопошук SETI: аналіз «магічних частот» (лінія водню 21 см) та сучасні алгоритми обробки сигналів.

Сигнал «Wow!»: історія виявлення, спроби пояснення та вплив на подальші стратегії пошуку.

Оптичне SETI: переваги та перспективи пошуку коротких лазерних імпульсів замість радіохвиль.

Соціальні та етичні аспекти SETI: що станеться з людством у разі успішного виявлення сигналу.

#### 22. Програма Breakthrough Initiatives

Проєкт Breakthrough Starshot: концепція надлегких вітрильників на лазерній тязі для польоту до Альфи Центавра.

Breakthrough Listen: наймасштабніша програма з пошуку техносигнатур за допомогою найбільших радіотелескопів світу.

Breakthrough Message: етична дискусія навколо надсилання повідомлень (METI) – чи варто людству заявляти про себе?

Breakthrough Watch: розробка нових технологій для прямого спостереження за екзопланетами земного типу в найближчих зоряних системах.

Роль приватних інвестицій та відкритої науки у реалізації проєктів Breakthrough Initiatives.

#### 23. Гіпотеза унікальної Землі (Rare Earth Hypothesis)

Астрофізичні параметри «галактичної зони придатності для життя»: аналіз розташування Сонячної системи.

Роль Місяця та гігантів-планет у стабілізації земної біосфери: захисні механізми та припливні сили.

Геологічні передумови виникнення складного життя: тектоніка плит як регулятор вуглецевого циклу.

Критичний аналіз книги П. Ворда та Д. Браунлі: аргументи «за» та «проти» у світлі нових відкриттів екзопланет.

Ймовірність збігу факторів для появи еукаріотів: біологічні «вузькі місця» в історії Землі.

#### 24. Парадокс Фермі

Класичне формулювання «Де всі?»: історія виникнення парадоксу та його значення для сучасної астробіології.

Гіпотеза «Великого фільтра»: на якому етапі розвитку цивілізації частіше за все зникають?

Часовий масштаб Всесвіту проти швидкості міжзоряної експансії: чому колонізація Галактики мала б уже відбутися.

Антропоцентризм у вирішенні парадоксу Фермі: чи можемо ми розпізнати життя з

кардинально іншою біохімією?

Технологічна сингулярність як можливе пояснення відсутності видимих слідів цивілізацій.

#### 25. Парадокс «Великого мовчання»

Інформаційні бар'єри міжзоряного зв'язку: чому радіосигнали можуть бути неефективними на великих відстанях.

Гіпотеза зоопарку та планетарію: чи є людство об'єктом спостереження без права на контакт?

Гіпотеза «Темного лісу» (за Лю Цисінем): еволюційні та стратегічні причини приховування цивілізацій.

Межі детектування техносигнатур: аналіз потужності сучасних телескопів у спробах почути «мовчання» космосу.

Психологічні та соціальні аспекти «Великого мовчання»: як тривала відсутність контакту впливає на розвиток науки.

#### 26. Рівняння Дрейка

Математична структура рівняння Дрейка: аналіз кожної змінної від астрофізичних до соціологічних.

Статистична невизначеність параметрів  $f_i$  та  $f_f$ : проблема оцінки ймовірності появи життя та розуму.

Змінна  $L$  (тривалість життя цивілізації): фактори, що впливають на самознищення або виживання техносфер.

Модифікації рівняння Дрейка для пошуку техносигнатур у сучасних програмах Breakthrough Initiatives.

Критика рівняння Дрейка: чи є воно науковим інструментом чи лише способом структурування нашого невігластва?

#### 27. Проблема контакту

Антропоцентризм у моделях першого контакту: критичний аналіз очікувань людства щодо позаземного розуму.

Лінгвістичні бар'єри міжзоряної комунікації: математичні мови та семіотика як засоби порозуміння.

Культурний шок та психологічна готовність соціуму до підтвердження існування інопланетних цивілізацій.

Рівні технологічного розвитку (Шкала Кардашова): вплив енергетичних можливостей цивілізацій на характер контакту.

Радіопослання людства (METI): аналіз змісту та потенційних наслідків повідомлень «Arecibo» та «Cosmic Call».

#### 28. Протоколи контакту із позаземним життям на Землі

Декларація принципів SETI (1989): процедури верифікації сигналу та сповіщення світової спільноти.

Роль Комітету з космічних досліджень (COSPAR) у розробці правил поведінки з позаземними зразками.

Правовий статус позаземного сигналу: кому належить інформація з космосу згідно з міжнародним правом?

Протоколи карантину та планетарного захисту (Category V): запобігання біологічному зараженню Землі під час місій повернення ґрунту.

Механізми координації ООН у разі виявлення штучних об'єктів позаземного походження в межах Земної орбіти.

29. Протоколи контакту із позаземним життям за межами Землі

Дипломатія «на місці»: правила поведінки астронавтів при зустрічі з біологічними формами на інших планетах.

Автономні роботизовані протоколи: як ШІ має реагувати на ознаки життя під час дослідження Марса чи Європи?

Еволюція Договору про космос (1967): необхідність оновлення юридичних норм для регулювання контактів у глибокому космосі.

Зони особливого наукового інтересу: обмеження діяльності людей у місцях можливого існування інопланетної біоти.

Протоколи невтручання: етичні та технічні аспекти спостереження за примітивними позаземними екосистемами.

30. Безпекові питання контакту із інопланетними розумними істотами

Кібербезпека та цифрова загроза: ризики отримання програмного коду або інформаційних вірусів із міжзоряних сигналів.

Асиметрія сил при першому контакті: аналіз ризиків технологічної переваги позаземної цивілізації.

Біологічна безпека та ксенонози: теоретичні моделі патогенності позаземних мікроорганізмів для земної біосфери.

Військовий вимір першого контакту: аналіз існуючих оборонних стратегій та ролі космічних сил різних держав.

Гіпотеза «Темного лісу» як безпекова дилема: чи є приховування техносигнатур стратегічною необхідністю?

31. Етика першого контакту

Моральний статус позаземних істот: розширення поняття «суб'єкт права» на неземні форми життя.

Етика METI: чи має право окрема група вчених надсилати сигнали від імені всього людства?

Ксеноетика та повага до інакшості: принципи нешкідливості та справедливості у відносинах з інопланетянами.

Відповідальність перед іншими цивілізаціями: запобігання культурній чи екологічній деградації позаземних світів.

Філософський аналіз «Золотого правила» у контексті міжзоряних відносин.

32. Облаштування співіснування в космічному просторі

Галактична юриспруденція: концепції прав власності та розподілу ресурсів у мультицивілізаційному просторі.

Створення спільних наукових хабів: перспективи наукового обміну між людством та іншими розумними видами.

Екологія космічного простору: норми запобігання забрудненню орбіт та планетарних систем у процесі співіснування.

Міжзоряна торгівля та обмін технологіями: економічні моделі взаємодії з високорозвиненими цивілізаціями.

Соціальна інтеграція в космічне суспільство: сценарії мирного об'єднання та запобігання міжпланетним конфліктам.

### 33. Алгоритми колонізації космічного простору

Математичне моделювання фон Нейманівських зондів: алгоритми самовідтворення роботів для дослідження глибокого космосу.

Оптимізація траєкторій багатоетапних місій: алгоритмічний підхід до створення міжпланетних транспортних коридорів.

Автономні системи управління штучними біосферами: ШІ-алгоритми підтримання гомеостазу в замкнених екосистемах.

Алгоритми ройового інтелекту в будівництві позаземних баз: використання груп автономних роботів для зведення інфраструктури з реголіту.

Стратегії розселення людства: імітаційне моделювання динаміки росту позаземних поселень залежно від ресурсів.

### 34. Колонізація космічного простору

Концепція орбітальних поселень (Циліндри О'Нілла): проектування штучних середовищ проживання з імітацією гравітації.

Колонізація Марса: порівняльний аналіз планів NASA, SpaceX та ESA щодо створення постійних баз.

Місяць як «сьомий континент»: роль проекту «Artemis» у створенні плацдарму для подальшої експансії.

Хмари Венери та супутники газових гігантів: альтернативні напрямки колонізації в межах Сонячної системи.

Правові та соціальні аспекти життя поза Землею: розробка конституцій та систем управління для перших колоністів.

### 35. Причини космічної колонізації

Екзистенційні ризики як рушій експансії: захист людства від глобальних катастроф (астероїдна загроза, пандемії, супервулкани).

Економіка космічних ресурсів: видобуток рідкісноземельних металів на астероїдах та енергетика на основі Гелію-3.

Демографічний тиск та екологічна криза: космос як шлях до розвантаження екосистем Землі.

Науково-пізнавальний імператив: колонізація як інструмент пошуку відповідей на фундаментальні питання походження життя.

Геополітичне лідерство та м'яка сила: роль космічних досягнень у міжнародному статусі сучасних держав.

### 36. Сучасний етап освоєння космічного простору

Епоха «NewSpace»: вплив приватних компаній на зниження вартості виведення корисного навантаження.

Міжнародна космічна станція (МКС) як лабораторія: підсумки 25-річного досвіду вивчення впливу мікрогравітації на людину.

Розвиток багаторазових ракетно-космічних систем: технологічний прорив Starship та його значення для масових польотів.

Сучасна місячна гонка: стратегічне суперництво США, Китаю та Індії в дослідженні південного полюса Місяця.

Роль малих супутників (CubeSat) у демократизації доступу до космічних досліджень.

### 37. Технологічні бар'єри на шляху колонізації

Проблема космічної радіації: методи захисту екіпажів та біологічних об'єктів під час тривалих перельотів.

Відсутність замкнених регенеративних систем: технологічні складнощі повної переробки води, повітря та відходів.

Психофізіологічні виклики тривалої ізоляції: вплив обмеженого простору та сенсорної депресії на здоров'я колоністів.

Енергетичний бар'єр: обмеженість сонячної енергії в глибокому космосі та перспективи ядерних ракетних двигунів.

Проблема планетарного карантину: бар'єри, пов'язані з ризиком взаємного біологічного забруднення Землі та інших планет.

#### 38. Тераформування (Тератрансформація)

Концепція планетарної інженерії: етичні та технологічні аспекти перетворення Марса на населену планету.

Роль ціанобактерій у створенні кисневої атмосфери: біологічні методи тератрансформації екзопланет.

Моделювання парникового ефекту: використання штучних газів для підвищення температури на крижаних світах.

Параосмічна тератрансформація: створення локальних життєпридатних куполів як альтернатива повній зміні атмосфери.

Вплив планетарного магнітного поля на збереження атмосфери: створення штучної магнітосфери для тераформованих об'єктів.

#### 39. Експансійні стратегії популяцій

Стратегії r та K в екстремальних середовищах: як швидкість розмноження впливає на колонізацію нових ареалів.

Механізми розселення організмів: роль пасивного та активного транспорту в глобальній експансії видів.

Генетичні аспекти популяційної експансії: ефект засновника та адаптивна радіація в ізольованих екосистемах.

Експансія популяцій за межі Землі: біологічні виклики для земних видів у мікрогравітації та підвищеній радіації.

Поведінкові адаптації соціальних тварин як фактор успішної експансії в нові екологічні ніші (на прикладі приматів та комах).

#### 40. Популяції едифікаторів

Роль видів-едифікаторів у формуванні ландшафтів: від лісових масивів до коралових рифів.

Мікроорганізми як первинні едифікатори при тераформуванні реголіту на Місяці та Марсі.

Вплив бобрів на гідрологічний режим та біорізноманіття: класичний приклад зоогенного едифікаторства.

Едифікатори в агрофітоценозах: як культурні рослини трансформують середовище для супутньої біоти.

Відновлення популяцій ключових видів як стратегія регенерації пошкоджених екосистем.

#### 41. Популяції інвазійних видів трансформерів

Екологічні наслідки впровадження видів-трансформерів: зміна структури та функціонування аборигенних біоценозів.

Механізми успіху інвазійних комах: аналіз розповсюдження видів-трансформерів у лісових екосистемах (на прикладі шкідників дуба).

Біологічне забруднення та його вплив на енергетичні потоки в популяціях.

Стратегії контролю інвазійних видів: від хімічних методів до біологічного стримування.

Моделювання розповсюдження трансформерів в умовах глобальних кліматичних змін.

#### 42. Тератрансформація та рекультивация

Рекультивация порушених земель як земний аналог тератрансформації: відновлення ґрунтової родючості після гірничих робіт.

Використання рослин-сидератів та мікробіологічних добрив у процесах фіторекультивации.

Відновлення замкнених екосистем: досвід рекультивации територій промислового забруднення для створення паркових зон.

Трансформація пустельних ландшафтів: методи боротьби з ерозією та створення стійких рослинних угруповань.

Технологічна конвергенція методів рекультивации та планетарної інженерії.

#### 43. Алгоритми тератрансформації

Поетапний алгоритм біологічної колонізації Марса: від бактерій до вищих рослин.  
Автоматизовані системи управління кліматом: алгоритми підтримки гомеостазу в штучних біосферах.  
Математичне моделювання сукцесійних процесів при створенні екзобіосфер.  
Алгоритми вибору оптимальних видів-піонерів для початкових етапів тератрансформації.  
Ітераційні моделі зворотного зв'язку в управлінні глобальними біогеохімічними циклами на інших планетах.

44. Методологія космічної експансії  
Системний аналіз етапів освоєння далекого космосу: від автоматичних станцій до автономних поселень.  
Методологічні підходи до вибору об'єктів колонізації у Сонячній системі на основі ресурсної доступності.  
Роль міждисциплінарних досліджень (біології, геології, фізики) у формуванні стратегії космічної експансії.  
Математичне моделювання стійкості штучних екосистем як фундаментальний метод космічної методології.  
Порівняльний аналіз стратегій «швидкої експансії» та «поступового обживання» космічного простору.

45. Космічна експансія  
Біосфера за межами Землі: можливості та обмеження перенесення земного життя на інші планети.  
Економічні моделі космічної експансії: від державних дотацій до комерційного прибутку.  
Видобуток корисних копалин на астероїдах як матеріальна основа для розширення присутності людства в космосі.  
Вплив тривалого перебування в невагомості на фізіологію людини: головний біологічний бар'єр експансії.  
Перспективи використання космічних ресурсів для вирішення екологічних проблем на Землі.

46. Етичні проблеми колонізації космічного простору  
Етика «планетарного суверенітету»: кому належать ресурси Місяця та Марса?  
Проблема збереження позаземних мікроорганізмів: етична дилема між дослідженням та колонізацією.  
Соціальна справедливість у космосі: питання рівного доступу різних націй до можливостей колонізації.  
Моральна відповідальність перед майбутніми поколіннями при створенні ізольованих космічних соціумів.  
Етичні аспекти генетичної модифікації людини для адаптації до умов низької гравітації та радіації.

47. Космічна експансія – стратегічні задачі сьогодення  
Розробка багаторазових транспортних систем як ключовий пріоритет сучасного етапу освоєння космосу.  
Створення постійно діючих місячних баз: стратегічне значення програми «Артеміда».  
Розвиток космічної енергетики: перспективи орбітальних сонячних електростанцій для потреб Землі та колоній.  
Міжнародне право у космосі: необхідність оновлення «Договору про космос» 1967 року в сучасних умовах.  
Захист Землі від астероїдної небезпеки як стратегічна задача збереження цивілізації.

Есеї  
Ось повний перелік тем есеїв для кожного з 34 розділів курсу «Основи астроекології». Для кожного розділу запропоновано по 5 варіантів, що охоплюють філософські, наукові, етичні та прикладні аспекти.

I. Вступ до астроекології та її науковий статус

1. Структура астроекології та її місце в системі природничих наук  
 Астроекологія як міст між біосферою та космосом: нова наукова революція.  
 Чому класична екологія більше не може існувати без префікса «астро-»?  
 Ієрархія знань: як астроекологія синтезує фізику зірок та біологію клітини.  
 Межі дисципліни: де закінчується астрономія і починається екологія?  
 Астроекологія в системі освіти: підготовка фахівців для життя поза Землею.
2. Предмет і завдання астроекології  
 Головне завдання астроекології: виживання виду чи збереження життя як явища?  
 Об'єкт дослідження – Всесвіт: чи не занадто амбітні цілі у нової науки?  
 Проектування техносфери: астроекологія як інженерна дисципліна майбутнього.  
 Моніторинг Землі з космосу: пріоритетне завдання сучасної астроекології.  
 Роль астроекології у запобіганні біологічним конфліктам при контакті світів.
3. Історія астроекології  
 Від космізму Вернадського до марсіанських планет Маска: еволюція ідей.  
 Як «холодна війна» прискорила народження астроекологічної думки.  
 Забуті піонери: внесок українських вчених у розвиток космічної біології.  
 Еволюція уявлень про замкнені системи: від перших оранжерей до МКС.  
 Філософське коріння астроекології: чому ми завжди шукали дім серед зірок?
- II. Фундаментальні основи життя у Всесвіті
4. Життя як космічне явище  
 Життя як термодинамічний протест проти ентропії Всесвіту.  
 Біосфера як планетарна сила: чи здатне життя «захопити» Галактику?  
 Космічна роль інтелекту: чи є розум неминучим етапом розвитку матерії?  
 Життя – це випадкова помилка хімії чи фундаментальна властивість фізики?  
 Антропний принцип: чи був Всесвіт створений для того, щоб ми його спостерігали?
5. Всесвіт – динамічна ієрархічна система  
 Людина в макро- та мікросвіті: пошук гармонії в ієрархії систем.  
 Динаміка зоряних систем як фундамент для екологічної стабільності планет.  
 Чи є Всесвіт живим організмом? Системний погляд на космологію.  
 Ентропія та порядок: як ієрархія Всесвіту протидіє хаосу.  
 Місце Сонячної системи в Галактиці: привілейована позиція чи рядова околиця?
6. Стратегії виживання живих систем  
 Чому бактерії витриваліші за людей: уроки космічного виживання.  
 Біологічна адаптація vs Технологічний захист: що надійніше в космосі?  
 Екстремофіли як взірці для майбутніх колоністів інших планет.  
 Стратегія «спокою»: анабіоз як ключ до міжзоряних подорожей.  
 Еволюційна пластичність: чи зможе людина змінитися швидше, ніж її вб'є космос?
- III. Екологічна енергетика та структура ніш
7. Потоки енергії в екосистемах  
 Енергетична ціна незалежності: чи можлива екосистема без Сонця?  
 Фотосинтез під чужими зорями: як зміниться енергетика рослин на екзопланетах.  
 Енергоефективність космічного поселення: боротьба за кожен джоуль.  
 Тепло як ворог: проблема відведення енергії в замкнених системах.  
 Харчові ланцюги в космосі: як мінімізувати втрати енергії.
8. Енергетичні потоки через популяцію  
 Метаболізм космічного екіпажу: розрахунок енергетичного бюджету виживання.  
 Чи може популяція стати енергонезалежною в умовах глибокого космосу?  
 Вплив енергетичного дефіциту на соціальну структуру космічної колонії.  
 Енергетика мікросвітів: як мікроби забезпечуватимуть ресурсами людей.  
 Кібернетика енергопотоків: автоматичне управління ресурсами популяції.
9. Екосистема як упаковка еконіш

Екологічна ніша людини в капсулі: як не зійти з розуму в обмеженому просторі.

Штучна упаковка ніш: проектування ідеального біоценозу для Марса.

Конфлікт ніш при колонізації: чи виживе інопланетна біота поруч із нами?

Проблема «порожніх ніш» у штучних системах: ризики та можливості.

Стиснення екосистем: чи можна помістити ліс у вантажний відсік корабля?

IV. Динаміка та моделювання екосистем

10. Динаміка екосистем: біоритми, сукцесія, флуктуації

24-годинний ритм без Землі: як обманути біологічний годинник астронавта.

Штучна сукцесія: етапи заселення безжиттєвого реголіту.

Флуктуації в замкнених системах: чому маленька помилка веде до катастрофи.

Еволюція екосистеми в умовах ізоляції: чи стане марсіанська оранжерея новим видом біома?

Психологічні біоритми: соціальна динаміка в умовах тривалого польоту.

11. Моделювання динаміки екосистем

Математична модель «Гея»: чи можна прорахувати майбутнє планети?

Цифрові двійники космічних баз: навіщо моделювати кожен вдих екіпажу.

Грані ймовірності: чому ШІ має керувати екосистемою на Марсі.

Моделювання колапсу: як вчасно помітити загибель штучної біосфери.

Від рівнянь до життя: як перетворити цифрову модель на реальний сад.

12. Моделювання динаміки та структури екзобіосфер

Уявні світи: моделювання життя на планетах біля червоних карликів.

Хімія екзобіосфер: чи можливе життя без вуглецю та води?

Атмосферні моделі екзопланет: як колір неба впливає на еволюцію рослин.

Гравітаційне моделювання: як виглядатиме екосистема на «суперземлях».

Екзобіосфери під льодом: моделювання життя в океанах Європи та Енцелада.

13. Екосистеми штучних космічних об'єктів

МКС як перша штучна екосистема: здобутки та провали.

Космічний корабель – це герметичний акваріум: проблеми біологічної рівноваги.

Створення «замкненого кола»: як перетворити відходи на ресурси в реальному часі.

Ризики мікробіологічного забруднення на борту космічних станцій.

Побудова екосистеми для польоту до зірок: виклик на тисячу років.

V. Вплив космічних факторів та адаптація

14. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі

Сонячні бурі та їхній невидимий вплив на здоров'я землян.

Магнітне поле Землі – наш головний екологічний щит від космосу.

Місячні цикли в біології: міфи vs наукова реальність.

Астероїдна небезпека як екологічний фактор планетарного масштабу.

Вплив космічних променів на частоту мутацій у земній біосфері.

15. Закономірності взаємодії організмів із середовищем

Життя в умовах низької гравітації: виклик для кісткової та м'язової систем.

Радіаційна адаптація: чи можемо ми навчити клітини самовідновлюватися?

Температурний режим космосу: як зберегти життя при абсолютних перепадах.

Біохімічна відповідь на невагомість: зміни на рівні генів.

Психологія середовища: як відсутність горизонту впливає на мозок.

16. Біоморфи як спосіб адаптації

Номо Sraciens: як зміниться вигляд людини після 100 років у космосі.

Біоморфологія рослин-колоністів: чому марсіанські дерева будуть карликовими.

Конвергентна адаптація: чи будуть інопланетяни схожі на нас?

Створення нових біоморф за допомогою генної інженерії для колонізації.

Архітектура живого: як мікрогравітація змінює форму клітин.

VI. Пошук позаземного життя та сигналів

17. Пошук позаземного життя та його історія

Від «каналів» Марса до супутників Юпітера: 150 років надій.  
Чому ми досі нікого не знайшли? Історія наших розчарувань.  
Місія «Вікінг»: як один експеримент змінив стратегію пошуку життя.  
Філософія пошуку: чи зміниться людство, знайшовши чужий розум?  
Історія астробіологічних місій: від мрій до високих технологій.

18. Біосигнатури  
Метан в атмосфері: незаперечний доказ життя чи помилка інтерпретації?  
Спектроскопія як детектор брехні для далеких планет.  
Текно-сигнатури: пошук слідів промисловості в інших зоряних системах.  
Оптичні біосигнатури: чи можна побачити ліси на екзопланетах?  
Проблема хибноопозитивних результатів: як не оголосити про відкриття життя передчасно.

19. Програма SETI та Breakthrough Initiatives  
Проект «Озма»: як почалася ера прослуховування космосу.  
Breakthrough Listen: найбільший пошук у світі – що ми сподіваємося почути?  
Чи варто нам надсилати повідомлення у відповідь (METI)? Ризики та етика.  
SETI@home: як мільйони людей шукали інопланетян на своїх ПК.  
Роль приватного капіталу в пошуку позаземного розуму.

VII. Парадокси та ймовірності

20. Гіпотеза унікальної Землі  
Земля – щасливий квиток у лотереї Всесвіту: аналіз гіпотези Уорда та Браунлі.  
Чи є Місяць обов'язковою умовою для виникнення розумного життя?  
Юпітер як «щит»: чи можливе життя в системах без планет-гігантів?  
Магнітосфера та тектоніка плит: рідкісні фактори придатності планет.  
Чи робить нас «унікальна Земля» відповідальними за весь живий Всесвіт?

21. Парадокс Фермі та «Велике мовчання»  
Де всі? Чому ми бачимо пустий Всесвіт при мільярдах зірок.  
Гіпотеза «Великого фільтра»: чи ми вже пройшли точку неповернення?  
Гіпотеза зоопарку: чи є ми об'єктом спостереження без права на контакт?  
Чи є «Велике мовчання» ознакою того, що розум завжди самознищується?  
Темний ліс: чи є мовчання стратегією виживання в космосі?

22. Рівняння Дрейка  
Математика ймовірності: чи можна вирахувати кількість цивілізацій?  
Змінна «L»: скільки років живе технологічна цивілізація до краху?  
Критика рівняння Дрейка: чому воно більше схоже на філософію, ніж на науку.  
Нові змінні: як відкриття екзопланет змінило наші розрахунки.  
Рівняння Сейгана vs Рівняння Дрейка: чи є ми оптимістами щодо космосу?

VIII. Етика та протоколи контакту

23. Проблема контакту та етика першого контакту  
Етичний кодекс астробіолога: що робити, знайшовши чужу біосферу.  
Чи маємо ми право втручатися в еволюцію інших світів?  
Перший контакт: тріумф науки чи початок кінця людської ідентичності.  
Ксеноетика: чи існують універсальні норми моралі для різних видів?  
Чи є «мирний контакт» ілюзією: історичні паралелі земних колонізацій.

24. Протоколи контакту на Землі та за її межами  
Протокол SETI: хто має право першим сказати «Привіт» від імені Землі?  
Роль ООН у регулюванні контактів з інопланетними цивілізаціями.  
Юридичний статус сигналу з космосу: кому належать авторські права на послання?  
Протоколи після виявлення: як уникнути паніки на планеті.  
Дипломатія за межами Землі: як поводитися астронавтам при зустрічі з «чужим».

25. Безпекові питання контакту  
Біологічна загроза: ризики принесення інопланетних патогенів на Землю.  
Інформаційна зброя: чи може міжзоряний сигнал містити комп'ютерний вірус?

Захист планети: мілітаризація космосу як відповідь на потенційний контакт.  
 Асиметрія технологій: ризики контакту з цивілізацією на мільйон років старішою.  
 Планетарний карантин: як зберегти Землю стерильною після повернення з Марса.

26. Облаштування співіснування в космосі  
 Космічне право майбутнього: як ділити територію на Місяці та Марсі.  
 Договір про космос 1967 року: чи готовий він до епохи приватної колонізації?  
 Космічна демократія: як управлятимуться перші поселення поза Землею.  
 Екологічний кодекс космосу: запобігання перетворенню орбіти на смітник.  
 Ресурси астероїдів: право на власність чи загальне надбання людства?

IX. Експансія та колонізація

27. Причини та стратегії космічної колонізації  
 Експансія як біологічний імператив: чому ми не можемо сидіти вдома.  
 Космос як «план Б»: колонізація як страховка від загибелі Землі.  
 Економіка колонізації: чи стане видобуток ресурсів головним двигуном експансії?  
 Науковий романтизм чи прагматизм: що насправді штовхає нас до зірок.  
 Колонізація як шлях до об'єднання людства: чи можливий мир перед обличчям космосу.

28. Сучасний етап та методологія експансії  
 Ера SpaceX: як багаторазові ракети змінили правила гри.  
 Програма «Артеміда»: повернення на Місяць як початок великої подорожі.  
 Роль роботів-розвідників у підготовці до прибуття людей.  
 Міжнародні наукові хаби на орбіті: модель майбутньої експансії.  
 Бюджет космосу: скільки коштує майбутнє людства.

29. Технологічні бар'єри на шляху колонізації  
 Проблема космічної радіації: чи є свинець і вода надійним щитом?  
 Психологія ізоляції: як витримати 3 роки польоту в тісному кораблі.  
 Гравітаційна деградація: як повернути здоров'я після років невагомості.  
 Енергетичний глухий кут: чому нам потрібні ядерні двигуни для польотів.  
 Замкнені цикли: технологія 100% переробки води та їжі.

30. Етичні проблеми колонізації  
 Космічний імперіалізм: чи маємо ми право привласнювати інші світи?  
 Відповідальність перед колоністами: чи етично відправляти людей «в один кінець»?  
 Забруднення інших планет земним сміттям: етичний вимір досліджень.  
 Справедливість у доступі до космосу: чи не стане він притулком лише для багатих?  
 Права дітей, народжених у космосі: право на Землю чи право на вибір?

X. Тератрансформація (Планетарна інженерія)

31. Тератрансформація та алгоритми її впровадження  
 Гра в бога: чи етично змінювати клімат цілої планети?  
 Алгоритм «Озеленення Марса»: від прогріву атмосфери до появи лісів.  
 Введення парникових газів як інструмент планетарної інженерії.  
 Терміни тераформування: чи готові ми чекати на результат тисячу років?  
 Технологічні ризики: що робити, якщо тератрансформація піде не за планом.

32. Популяції едифікаторів у тератрансформації  
 Ціанобактерії – архітектори майбутніх світів.  
 Генетично модифіковані лишайники як першовідкривачі марсіанського ґрунту.  
 Використання земних едифікаторів для створення гумусу на Місяці.  
 Біоінженерія «піонерних» видів для екстремальних умов.  
 Етичне ставлення до мікроорганізмів-едифікаторів: інструменти чи життя?

33. Популяції інвазійних видів-трансформерів  
 Людина як найбільш небезпечний інвазійний вид у Сонячній системі.  
 Ризики знищення інопланетного мікросвіту земними бактеріями.  
 Чи можемо ми контролювати поширення земного життя після висадки на Марс?  
 Інвазійні трансформації: як не перетворити інші планети на звалище земної біоти.

Біо-безпека при тераформуванні: запобігання неконтрольованим мутаціям.

34. Тератрансформація та рекультивация

Уроки Марса для Землі: як досвід тератрансформації допоможе врятувати Сахару.

Спільні алгоритми відновлення ґрунтів на Землі та формування їх у космосі.

Фіторе mediaція в космосі та на забруднених територіях України.

Технології очищення води в космічних базах для земних потреб.

Тератрансформація як глобальна школа сталого розвитку для людства.

## Розрахунково-графічні роботи

Розрахунково-графічна робота (РГР) з астроекології – це вид індивідуального навчально-дослідного завдання, що поєднує математичне моделювання екологічних процесів із візуалізацією отриманих результатів. На відміну від реферату, Розрахунково-графічна робота вимагає від студента розв'язання конкретної задачі за допомогою формул, графіків та програмних засобів.

Розрахунково-графічна робота має декілька характеристик, які вирізняють її від інших різновидів самостійної роботи здобувача. Сюди можна віднести такі характеристики:

1. Міждисциплінарність: Ви виконуєте обчислення, що стосуються фізики (радіація), біології (метаболізм) та екології (стійкість систем).
2. Об'єкт дослідження: Найчастіше це моделі замкнених систем життєзабезпечення (ЗСЖЗ), умови на екзопланетах або параметри впливу сонячної активності на біосферу.
3. Структура: Зазвичай складається з вступу, вихідних даних (варіанта), розрахункової частини (алгоритм розв'язання), графічної частини (діаграми, графіки функцій) та висновків.
4. Мета: Навчити студента прогнозувати стан екосистеми на основі кількісних показників.

Під час виконання розрахунково-графічних робіт слід дотримуватися таких рекомендацій:

1. Уважно аналізуйте вихідні дані та одиниці вимірювання

В астроекології часто використовуються специфічні одиниці: астрономічні одиниці (а.о.), парсеки, люкси або парціальний тиск газів. Переводьте все в систему СІ на початку роботи.

- Приклад: Якщо дана відстань до зорі в а.о., переведіть її в метри для розрахунку світлового потоку.

2. Використовуйте енергетичний підхід

Будь-яка екосистема – це потік енергії. При розрахунку штучних систем завжди починайте з балансу енергії, що надходить (від зорі або реактора) та споживається.

- Приклад: Розрахунок площі сонячних панелей для марсіанської теплиці залежно від сонячної сталої Марса ( $590 \text{ Вт/м}^2$ ).

3. Моделюйте зацикленість ресурсів

В астроекологічних РГР ключовим є коефіцієнт замкненості системи. Він показує, яка частина речовини регенерується.

- Приклад: Якщо екіпажу потрібно 26 кг води на добу, а система відновлює 95%, розрахуйте об'єм запасу води для експедиції на 500 днів.

4. Враховуйте закони лімітуючих факторів (Закон Лібіха)

При моделюванні росту рослин у космосі звертайте увагу на те, який ресурс є в дефіциті (світло,  $\text{CO}_2$  чи мікроелементи).

- Приклад: Навіть при ідеальному освітленні ріст рослин у реголіті може зупинитися через нестачу доступного азоту.

5. Будуйте динамічні графіки (залежність від часу)

Екосистеми не статичні. Показуйте на графіках, як змінюється концентрація кисню або чисельність популяції протягом циклу.

- Приклад: Побудова кривої сукцесії мікроорганізмів у новому біореакторі протягом перших 30 діб.

6. Оцінюйте вплив радіаційного фону

Розрахунок поглиненої дози радіації є критичним для біологічних об'єктів. Використовуйте закони експоненціального ослаблення випромінювання захисним шаром.

- Приклад: Розрахунок товщини шару марсіанського ґрунту (23 м), необхідного для зниження радіації до земного рівня.

7. Використовуйте програмне забезпечення для графіки

Замість ручного малювання використовуйте MS Excel, Origin, Python (Matplotlib) або Mathcad. Це підвищує точність та якість оформлення.

- Приклад: Побудова 3D-моделі зони придатності до життя (Habitable Zone) навколо зорі певного спектрального класу.

## 8. Перевіряйте результати на здоровий глузд (верифікація)

Якщо в результаті розрахунку площа оранжереї для однієї людини вийшла  $1000 \text{ м}^2$  або  $0,1 \text{ м}^2$  – шукайте помилку в коми або формулі.

- Приклад: Норма споживання кисню людиною – близько  $0,8 \text{ кг}$  на добу. Розрахункова площа фотосинтезуючої поверхні має відповідати цьому об'єму (зазвичай  $8,12 \text{ м}^2$  інтенсивної культури хлорели).

## 9. Формулюйте висновки через «екологічний прогноз»

У висновках РГР недостатньо просто написати цифри. Потрібно пояснити, що вони означають для виживання системи.

- Приклад: «Отримані дані свідчать, що при поточному рівні регенерації система вийде з рівноваги через 45 діб через накопичення токсичних метаболітів».

## 10. Оформлюйте роботу згідно з ДСТУ або АРА

Використовуйте правила цитування джерел, про які ми говорили раніше. Таблиці та рисунки повинні мати наскрізну нумерацію та назви.

- Приклад: «Табл. 1. Параметри атмосфери штучного об'єкта за результатами моделювання».

Нижче наведено заразки типових завдань для кожної теми курсу «Основи астроекології».

### Блок 1. Теоретичні основи та структура науки

#### Тема 1. Предмет і завдання астроекології

1. Баланс маси ЗСЖЗ: Розрахуйте необхідну масу запасів води та кисню для екіпажу з 4 осіб на 200 днів при коефіцієнті замкненості системи 0.85. Побудуйте кругову діаграму розподілу мас ресурсів.

2. Прогнозування техносферного тиску: Розрахуйте об'єм відходів, що накопичуються на місячній базі за рік. Побудуйте графік зростання маси відходів залежно від часу.

3. Оцінка біорегенерації: Обчисліть необхідну площу фотосинтезуючої поверхні (хлорела) для забезпечення киснем 1 людини. Побудуйте схему потоків речовини в системі «людина – рослина».

4. Ресурсний моніторинг: Розрахуйте енерговитрати на видобуток 1 тонни льоду з місячного реголіту. Побудуйте гістограму порівняння енерговитрат на видобуток ресурсів на Землі та Місяці.

5. Ефективність еконіш: Обчисліть індекс Шеннона для штучного біоценозу з 5 видів. Побудуйте діаграму упаковки ніш у гермооб'ємі.

#### Тема 2. Місце астроекології в системі природничих наук

1. Міждисциплінарні зв'язки: Складіть матрицю взаємодії астроекології з біофізикою, геохімією та астрономією. Побудуйте діаграму Ейлера-Венна для цих наук.

2. Геохімічний аналог: Розрахуйте подібність хімічного складу реголіту та земного ґрунту за методом Евклідової відстані. Побудуйте графік-порівняння концентрацій макроелементів.

3. Енергетична інтеграція: Розрахуйте частку сонячної енергії, що поглинається біосферою Землі порівняно з енергією, що доходить до орбіти Марса. Побудуйте схему розподілу енергії.

4. Біосферні межі: Визначте критичні значення радіації для 5 різних класів організмів. Побудуйте графік залежності виживання від дози (радіобіологічний аспект).

5. Методологічний синтез: Розрахуйте точність прогнозування стану екосистеми двома методами (статистичним та імітаційним). Побудуйте графік кореляції результатів.

#### Тема 3. Структура астроекології

1. Ієрархія підсистем: Розрахуйте інформаційну ємність трьох рівнів астроекології (мікро-, мезо-, макро-). Побудуйте ієрархічну піраміду структури науки.

2. Функціональні блоки: Обчисліть пропускну здатність каналів зв'язку між блоком «біосфера» та блоком «космічне середовище». Побудуйте блок-схему взаємодії.

3. Трофічна структура: Розрахуйте трофічні рівні в експериментальній системі «Біос-3». Побудуйте графік потоку енергії через ці рівні.

4. Аналіз зворотних зв'язків: Розрахуйте коефіцієнт стабілізації системи при зміні температури на  $2^{\circ}\text{C}$ . Побудуйте схему позитивних та негативних зворотних зв'язків.

5. Часова структура: Розрахуйте періодичність технічного обслуговування біофільтрів. Побудуйте циклограму функціонування системи на 1 рік.

Тема 4. Історія астроекології

1. Динаміка публікацій: Проаналізуйте кількість праць з астробіології за останні 50 років (за даними NASA ADS). Побудуйте експоненціальну криву зростання знань.

2. Хронологічний масштаб: Розрахуйте тривалість основних етапів розвитку космічної біології. Побудуйте «часову шкалу» (Timeline) ключових місій.

3. Географія досліджень: Розрахуйте відносну частку внеску різних країн у розвиток ЗСЖЗ. Побудуйте картограму наукових центрів.

4. Ефективність космічних програм: Порівняйте вартість 1 кг корисного навантаження ракет Сатурн-5 та Starship. Побудуйте стовпчикову діаграму прогресу.

5. Біометричний аналіз: Обчисліть індекс цитованості 5 фундаментальних праць (наприклад, Вернадського, Ціолковського). Побудуйте радарну діаграму їхнього впливу.

Блок 2. Життя у космічних масштабах

Тема 5. Життя як космічне явище

1. Біогенна міграція атомів: Розрахуйте масу карбону, що переміщується біосферою за 100 років. Побудуйте схему великого космічного кругообігу речовин.

2. Ентропійний баланс: Розрахуйте зміну ентропії при формуванні живої клітини з неорганічних сполук. Побудуйте графік залежності ентропії від упорядкованості системи.

3. Ймовірність абіогенезу: Використовуючи спрощену модель, розрахуйте ймовірність випадкового складання білка. Побудуйте логарифмічну шкалу складності біосистем.

4. Зона придатності (Habitable Zone): Розрахуйте межі Зони життя для зорі спектрального класу К. Побудуйте графік інтенсивності випромінювання залежно від відстані.

5. Хімічна еволюція: Обчисліть співвідношення Н, С, N, О у всесвіті та в живому організмі. Побудуйте порівняльну пелюсткову діаграму.

Тема 6. Всесвіт – динамічна ієрархічна система

1. Гравітаційне моделювання: Розрахуйте силу тяжіння на поверхні 5 різних екзопланет. Побудуйте графік залежності ваги об'єкта від маси планети.

2. Світловий тиск: Обчисліть тиск сонячного світла на площу  $100\text{ м}^2$ . Побудуйте векторну діаграму сил, що діють на космічний апарат.

3. Масштабування систем: Порівняйте розміри атомів, клітин, планет та галактик у логарифмічному масштабі. Побудуйте лінійний графік ієрархії розмірів.

4. Температурні градієнти: Розрахуйте рівноважну температуру планети без атмосфери на відстані 2 а.о. Побудуйте криву охолодження тіла.

5. Орбітальна динаміка: Розрахуйте тривалість сезонів на планеті з великим нахилом осі. Побудуйте діаграму інсоляції поверхні.

Тема 7. Стратегії виживання

1. Радіаційна стійкість: Розрахуйте товщину захисного екрана (алюміній/поліетилен) для зниження дози в 10 разів. Побудуйте графік ослаблення випромінювання.

2. Енергетика анабіозу: Обчисліть зниження швидкості метаболізму при гіпотермії (за правилом Вант-Гоффа). Побудуйте графік залежності V від T.

3. Адаптація до гіпоксії: Розрахуйте парціальний тиск кисню в штучній атмосфері при  $P = 50$ , кПа. Побудуйте діаграму складу газів.

4. Кінетика популяції: Розрахуйте час подвоєння популяції бактерій у космосі при підвищеній мутагенності. Побудуйте експоненту росту.

5. Водний стрес: Розрахуйте осмотичний тиск у клітинах рослин при поливі рециркульованою водою. Побудуйте графік тургору.

Тема 8. Живі системи і їхні стратегії

1. Коефіцієнт розмноження ( $r$  та  $K$ ): Розрахуйте параметри логістичного рівняння росту для колонії комах. Побудуйте S-подібну криву росту.

2. Оптимізація живлення: Розрахуйте раціон для екіпажу, мінімізуючи масу продуктів при збереженні калорійності. Побудуйте гістограму БЖУ (білки, жири, вуглеводи).

3. Фотосинтетичний вихід: Обчисліть ККД перетворення енергії світла в біомасу в умовах світлодіодного освітлення. Побудуйте спектральну криву поглинання хлорофілу.

4. Стійкість до вібрацій: Розрахуйте власні частоти коливань високої рослини. Побудуйте амплітудно-частотну характеристику (АЧХ).

5. Генетичний вантаж: Розрахуйте ймовірність прояву шкідливих мутацій у малій ізольованій популяції (10 осіб). Побудуйте дерево ймовірностей.

Ось комплекс завдань для розрахунково-графічних робіт (РГР) із другої частини курсу астроекології. Кожне завдання передбачає математичний розрахунок на основі екологічних законів та візуалізацію результатів.

Блок 3. Екофізіологія та енергетика систем

Тема 9. Закономірності взаємодії організмів із середовищем

1. Моделювання закону оптимуму: Побудуйте графік життєдіяльності організму залежно від температури, використовуючи функцію Гаусса. Розрахуйте ширину зони толерантності та критичні точки (мінімум/максимум).

2. Закон Лібіха в штучній системі: Дано концентрації п'яти мікроелементів у гідропонному розчині. Розрахуйте, який із них є лімітуючим для росту салату. Побудуйте діаграму «Бочка Лібіха».

3. Вплив тиску на метаболізм: Розрахуйте швидкість дифузії газів у легенях при зниженому тиску (60%атм). Побудуйте графік залежності насичення крові киснем від зовнішнього тиску.

4. Терморегуляція в космосі: Обчисліть втрати тепла тілом астронавта шляхом випромінювання (закон Стефана-Больцмана). Побудуйте теплову карту (діаграму) енергетичних втрат організму.

5. Екологічна валентність: Порівняйте стенобіонтні та еврибіонтні види за їхніми діапазонами виживання в умовах радіації. Побудуйте порівняльну пелюсткову діаграму толерантності.

Тема 10. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі

1. Цикли сонячної активності: Використовуючи статистичні дані чисел Вольфа за останні 22 роки, побудуйте графік сонячної активності та накладіть на нього криву чисельності будь-якої земної популяції (наприклад, комах).

2. Ультрафіолетовий індекс: Розрахуйте поглинання УФ-випромінювання озоновим шаром при його зменшенні на 15%. Побудуйте графік залежності інтенсивності випромінювання від товщини озонового шару.

3. Геомагнітні бурі: Обчисліть силу Лоренца, що діє на іони в клітинах при зміні магнітного поля під час бурі. Побудуйте векторну діаграму збурення магнітосфери.

4. Радіаційний бюджет Землі: Розрахуйте альbedo поверхні при таненні льодовиків на 20%. Побудуйте схему енергетичного балансу планети (приплив/відплив енергії).

5. Космічний пил: Обчисліть масу пилу, що осідає на 1км<sup>2</sup> лісу за рік. Побудуйте гістограму накопичення осадів залежно від висоти над рівнем моря.

Тема 11. Біоморфи як спосіб адаптації до умов середовища

1. Коефіцієнт компактності: Розрахуйте відношення площі поверхні до об'єму (S/V) для трьох біоморф (куляста, циліндрична, пласка). Обґрунтуйте вибір форми для збереження тепла. Побудуйте графік S/V від лінійних розмірів.

2. Біомеханіка скелета: Обчисліть навантаження на опорні структури (кістки/стебла) при зміні сили тяжіння ( $g=0.38$  на Марсі та  $g=1$  на Землі). Побудуйте діаграму деформації біоструктур.

3. Еволюція листової пластинки: Розрахуйте ефективність транспірації для різних форм листка в умовах штучної вентиляції. Побудуйте схему-класифікацію біоморф за типом водообміну.

4. Архітектоніка корневих систем: Розрахуйте площу поглинання коренів у пористому реголіті. Побудуйте графічну модель розгалуження коренів (фрактальну модель).

5. Конвергентна схожість: Розрахуйте індекс подібності (коефіцієнт Жаккара) для життєвих форм пустель Землі та гіпотетичних форм Марса. Побудуйте дендрограму подібності біоморф.

#### Тема 12. Енергетичні потоки через популяцію

1. Енергетичне рівняння популяції: Розрахуйте чисту продукцію популяції за формулою:  $P=C-(R+F+U)$ , де  $C$  – спожита енергія,  $R$  – дихання,  $F+U$  – екскременти. Побудуйте потокову діаграму енергії.

2. Ефективність трофічного ланцюга: Розрахуйте втрати енергії при переході від продуцентів до консументів 2-го порядку (закон 10%). Побудуйте піраміду енергій Ліндемана.

3. Динаміка споживання кисню: Обчисліть зміну швидкості обміну речовин популяції мікроорганізмів при підвищенні температури. Побудуйте графік залежності  $Q_{10}$ .

4. Розрахунок біомаси: Визначте запас енергії в популяції пшениці площею 100м<sup>2</sup> за період вегетації. Побудуйте графік накопичення біомаси залежно від часу (сигмоїдальна крива).

5. Енергетична ціна репродукції: Розрахуйте частку енергії, яку популяція витрачає на розмноження при стресових факторах. Побудуйте секторну діаграму витрат енергії.

#### Тема 13. Енергетика екосистем

1. ККД екосистеми: Обчисліть частку сонячної енергії, що перетворюється на первинну продукцію в оранжереї. Побудуйте графік спектральної ефективності фотосинтезу.

2. Ентропійний аналіз: Розрахуйте потік ентропії, що скидається екосистемою в зовнішнє середовище як тепло. Побудуйте діаграму Санкея для потоків енергії.

3. Баланс хемосинтезу: Обчисліть вихід енергії при окисненні сірководню для екосистем «чорних курців» (модель для Європи). Побудуйте схему хемоавтотрофного живлення.

4. Швидкість обертання енергії: Розрахуйте час повного оновлення біомаси в замкненій системі. Побудуйте графік циклічності енергетичних потоків.

5. Антропогенний внесок: Порівняйте природний енергетичний потік сонячного світла з енергією від штучного освітлення (LED) у фітотроні. Побудуйте порівняльну гістограму.

#### Блок 4. Моделювання та проектування складних систем

##### Тема 14. Потоки енергії в екосистемах

1. Термодинамічний баланс: Обчисліть кількість сонячної енергії, що поглинається листовою поверхнею площею 50м<sup>2</sup>, та кількість енергії, що витрачається на транспірацію. Побудуйте діаграму Санкея для розподілу енергії.

2. Продуктивність фотосинтезу: Розрахуйте чисту первинну продукцію (NPP) оранжереї за 30 діб, якщо відома інтенсивність освітлення та дихання рослин. Побудуйте графік добового ходу фотосинтезу.

3. Енергетична інверсія: Моделюйте потік енергії в екосистемі на основі хемосинтезу (наприклад, для супутника Європа). Обчисліть вихід АТФ на моль окисненої речовини. Побудуйте схему потоку енергії від геотермальних джерел.

4. Коефіцієнт експлуатації: Розрахуйте частку енергії, що вилучається людиною з штучної екосистеми як урожай. Побудуйте піраміду енергій для тривірневої трофічної мережі.

5. Енергетичний бюджет біосфери: Проаналізуйте зміну енергетичного потоку при збільшенні концентрації CO<sub>2</sub> на 20%. Побудуйте модель парникового ефекту як затримки теплового випромінювання.

##### Тема 15. Екосистема як упаковка еконіш

1. Матриця перекриття ніш: Розрахуйте індекс конкуренції між трьома видами за спільний ресурс (наприклад, азот). Побудуйте 2D-модель упаковки ніш у просторі ресурсів.

2. Об'єм ніші Хатчінсона: Обчисліть багатовимірний об'єм екологічної ніші для виду, обмеженого температурою, вологістю та концентрацією кисню. Побудуйте 3D-візуалізацію еконіші.

3. Щільність пакування: Розрахуйте максимальну кількість видів, які можуть співіснувати в замкненому об'ємі  $100 \text{ м}^3$  без виснаження ресурсів. Побудуйте графік залежності біорізноманіття від об'єму середовища.

4. Диференціація ніш: Моделюйте процес розходження ніш двох видів-конкурентів. Побудуйте графіки розподілу видів за градієнтом фактора середовища до і після зміщення.

5. Проблема порожньої ніші: Розрахуйте стійкість системи до інвазії чужорідного виду при наявності вільного ресурсу. Побудуйте діаграму заповнення екологічного простору.

Тема 16. Динаміка екосистем: біоритми, сукцесія, флуктуації, еволюція

1. Моделювання сукцесії: Розрахуйте зміну видового багатства та біомаси на п'яти етапах сукцесії (від піонерів до клімаксу). Побудуйте графіки сукцесійних трендів (за Одумом).

2. Аналіз біоритмів: Використовуючи дані про освітленість на МКС, розрахуйте десинхроноз (зсув фаз) циркадних ритмів людини. Побудуйте актограму активності.

3. Амплітуда флуктуацій: Розрахуйте стабільність популяції при випадкових коливаннях температури в межах  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Побудуйте графік коливань чисельності навколо ємності середовища.

4. Еволюційний дрейф: Розрахуйте зміну частоти алелей у малій ізольованій космічній популяції (ефект засновника). Побудуйте генеалогічне дерево з імовірністю мутацій.

5. Клімаксна стабільність: Визначте час досягнення рівноваги в штучній екосистемі після зовнішнього збурення. Побудуйте фазову діаграму стійкості системи.

Тема 17. Моделювання динаміки екосистем

1. Модель Лотки-Вольтерри: Розрахуйте динаміку системи «хижак-жертва» для замкненого біома. Побудуйте графіки коливань чисельності обох популяцій у часі.

2. Логістичне рівняння росту: Обчисліть час досягнення ємності середовища (K) для популяції з заданим коефіцієнтом росту (r). Побудуйте S-подібну криву росту.

3. Моделювання колообігу елементів: Розрахуйте швидкість циклу Нітрогену в гідропонній установці. Побудуйте динамічну модель концентрації нітратів.

4. Стохастичне моделювання: Розрахуйте ймовірність вимирання популяції при ймовірності загибелі особини 0.1. Побудуйте гістограму розподілу часу виживання.

5. Чутливість моделі: Проаналізуйте, як зміна одного параметра (наприклад, інтенсивності світла) впливає на всю екосистему. Побудуйте діаграму чутливості (торнадо-діаграму).

Тема 18. Екосистеми штучних космічних об'єктів

1. Проектування ЗСЖЗ: Розрахуйте баланс газів для екіпажу з 3 осіб та оранжереї площею  $30 \text{ м}^2$ . Побудуйте схему циркуляції  $\text{O}_2$  та  $\text{CO}_2$ .

2. Водний цикл: Обчисліть об'єми води для технічних потреб, пиття та поливу при 98% регенерації. Побудуйте блок-схему системи водоочищення.

3. Мікробіологічна безпека: Розрахуйте швидкість накопичення бактеріальної маси на внутрішніх поверхнях станції. Побудуйте графік росту біоплівки.

4. Енергозабезпечення біотопа: Розрахуйте площу сонячних батарей для підтримки фітосвітла потужністю  $400 \text{ Вт/м}^2$ . Побудуйте графік енергобалансу за добу.

5. Харчова мережа станції: Складіть раціон, використовуючи лише 5 видів вищих рослин та 1 вид комах. Побудуйте трофічну схему штучного біоценозу.

Тема 19. Моделювання динаміки та структури екзобіосфер

1. Модель «Маргаритковий світ» (Daisyworld): Розрахуйте температуру планети при зміні площі чорних та білих квітів. Побудуйте класичний графік саморегуляції планетарної температури.

2. Спектральний аналіз екзорослин: Розрахуйте ефективність фотосинтезу для рослин під світлом зірки класу M (червоний карлик). Побудуйте гіпотетичну криву поглинання пігментів.

3. Атмосферна структура: Розрахуйте висоту однорідної атмосфери для планети з масою  $1.5 \text{ M}_{\text{Earth}}$ . Побудуйте графік зміни тиску з висотою.

4. Глобальний колообіг на екзопланеті: Моделюйте цикл води на планеті з океаном, що займає 90% поверхні. Побудуйте схему гідросфери.

5. Детектування життя: Розрахуйте концентрацію озону, необхідну для появи стійкої біосигнатури в спектрі планети. Побудуйте синтетичний спектр поглинання атмосфери.

Блок 5. Астробіологічні пошуки та техносигнатури

Тема 20. Історія пошуків позаземного життя

1. Аналіз «каналів» Марса: Використовуючи історичні дані Персівалія Ловелла, розрахуйте необхідну пропускну здатність мережі каналів для зрошення екваторіальних зон Марса. Побудуйте картосхему (реконструкцію) передбачуваної мережі каналів за описами XIX ст.

2. Експеримент Міллера-Юрі: Розрахуйте вихід амінокислот (у грамах) залежно від тривалості електричних розрядів у модельному середовищі ранньої Землі. Побудуйте графік накопичення органічних сполук у часі.

3. Місії «Вікінг»: аналіз результатів: Обчисліть динаміку виділення міченого вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) у марсіанському ґрунті за даними 1976 року. Побудуйте порівняльні графіки для стерилізованого та контрольного зразків.

4. Статистика відкриття екзопланет: Проаналізуйте темпи відкриття планет різними методами (транзитним, доплерівським) з 1995 року. Побудуйте експоненціальну криву зростання кількості підтверджених екзопланет.

5. Еволюція «зони придатності»: Розрахуйте, як змінювалися межі придатності для життя Сонячної системи протягом 4 млрд років через зростання світності Сонця. Побудуйте динамічну діаграму зміщення зони життя.

Тема 21. Біосигнатури

1. Спектральний аналіз атмосфери: Розрахуйте глибину ліній поглинання метану та кисню в спектрі екзопланети. Побудуйте модельний спектр пропускання атмосфери з чітким виділенням біосигнатур.

2. Червоний край рослинності (Red Edge): Обчисліть відбивну здатність (альbedo) планети з різним відсотком покриття хлорофільною рослинністю. Побудуйте графік спектральної відбивної здатності для Землі та гіпотетичної «зеленої» планети.

3. Термодинамічна нерівновага: Розрахуйте ступінь хімічної нерівноваги атмосфери за одночасної наявності метану та вільного кисню. Побудуйте діаграму станів газів, що вказують на біологічну активність.

4. Виявлення техносигнатур (Сфера Дайсона): Обчисліть інфрачервоне перевищення (надлишок тепла) зорі, оточеної штучною структурою. Побудуйте спектральну енергетичну діаграму (SED) для звичайної зорі та зорі з техносигнатурою.

5. Пошук фосфіну: Розрахуйте необхідну концентрацію фосфіну в хмарах Венери для його детектування радіотелескопом ALMA. Побудуйте графік залежності амплітуди сигналу від концентрації газу.

Тема 22. Програма SETI

1. Рівняння Дрейка: Використовуючи оптимістичний та песимістичний сценарії, розрахуйте кількість цивілізацій (N) у нашій Галактиці. Побудуйте порівняльну гістограму впливу кожного параметра на кінцевий результат.

2. Загасання сигналу: Розрахуйте максимальну відстань (у світлових роках), на якій земний радіосигнал потужністю 1 МВт може бути зафіксований антеною типу «Arecibo». Побудуйте графік залежності потужності сигналу від квадрата відстані.

3. Аналіз сигналу «Wow!»: Обчисліть частотний зсув та інтенсивність сигналу «Wow!» відносно природного шуму лінії водню (1420 МГц). Побудуйте графік амплітудно-часової характеристики сигналу.

4. Шкала Ріу: На основі заданого сценарію (наприклад, випадковий сигнал без повторення) розрахуйте значення за шкалою Ріу для оцінки важливості відкриття. Побудуйте радарну діаграму параметрів сигналу.

5. Об'єм пошуку (Cosmic Haystack): Обчисліть частку «космічної копиці сіна», яку людство вже встигло просканувати за 60 років SETI. Побудуйте 3D-діаграму об'єму параметрів (частота, час, небо, чутливість).

### Тема 23. Програма Breakthrough Initiatives

1. Breakthrough Starshot: розрахунок вітрила: Обчисліть масу лазерного вітрила та потужність лазера, необхідну для розгону наноапарата до 20% швидкості світла. Побудуйте графік прискорення апарата залежно від часу роботи лазера.
2. Гальмівний шлях у системі Альфа Центавра: Розрахуйте можливості гравітаційного маневру та світлового тиску зорі для сповільнення зонда біля Проксими b. Побудуйте векторну схему гальмування.
3. Breakthrough Listen: обробка Big Data: Розрахуйте обсяг даних (у петабайтах), що генерується телескопом Green Bank за 24 години спостережень. Побудуйте схему потоку даних від антени до серверного кластера.
4. Роздільна здатність Breakthrough Watch: Обчисліть кутову роздільну здатність, необхідну для прямого спостереження екзопланети земного типу в системі Альфа Центавра. Побудуйте графік залежності якості зображення від діаметра дзеркала телескопа.
5. Breakthrough Message: структура послання: Розробіть бінарний код для передачі інформації про біологічну структуру людини (за зразком послання Аресібо). Побудуйте растрову сітку (матрицю) вашого повідомлення.

### Блок 6. Статистика та ймовірність позаземного розуму

#### Тема 24. Гіпотеза унікальної Землі (Rare Earth Hypothesis)

1. Ймовірнісний добуток факторів: Використовуючи параметри Гіпотези унікальної Землі (наявність Юпітера, Місяця, тектоніки плит, металічності зорі), розрахуйте загальну ймовірність виникнення життя на довільній планеті. Побудуйте діаграму впливу кожного фактора на зниження ймовірності.
2. Галактична зона придатності для життя: Розрахуйте межі Галактичної придатної зони (GHZ) для Чумацького Шляху на основі градієнта металічності та частоти вибухів наднових. Побудуйте 2D-карту Галактики з виділенням безпечних та небезпечних зон.
3. Стабілізуюча роль Місяця: Обчисліть амплітуду коливань земної осі (прецесії) за умови відсутності Місяця. Побудуйте графік залежності стабільності клімату від маси супутника.
4. Частота зіткнень з астероїдами: Розрахуйте захисну ефективність планети-гіганта (Юпітера) для внутрішньої планети земного типу. Побудуйте модельний графік кількості імпактних подій з Юпітером та без нього.
5. Тектонічна активність та вуглецевий цикл: Розрахуйте час «замерзання» планети при зупинці тектоніки плит та припиненні дегазації CO<sub>2</sub>. Побудуйте криву падіння планетарної температури залежно від часу.

#### Тема 25. Парадокс Фермі

1. Геометрія міжзоряної експансії: Виходячи зі швидкості зондів 0,1c (20% швидкості світла) та часу на колонізацію однієї системи (500 років), розрахуйте час повного заселення Галактики. Побудуйте графічну модель розширення сфери колонізації (фронт хвилі).
2. Рівняння Гіфта (поширення життя): Використовуючи модифіковану модель дифузії, розрахуйте ймовірність того, що дві цивілізації зустрінуться у межах 1000 світлових років. Побудуйте ймовірнісну карту розподілу цивілізацій.
3. Аналіз «Великого фільтра»: Розрахуйте ймовірність подолання дев'яти основних еволюційних етапів (від абіогенезу до міжзоряних перельотів). Побудуйте стовпчикову діаграму, що ілюструє, на якому етапі може знаходитися «Фільтр».
4. Енергетичні межі (Сфера Дайсона): Обчисліть час, необхідний цивілізації для переходу від споживання ресурсів планети (Тип I) до енергії зорі (Тип II). Побудуйте графік експоненціального зростання енергоспоживання.
5. Статистика нульового результату: Розрахуйте довірчий інтервал для твердження «Ми самотні в Галактиці» на основі того, що ми просканували 10<sup>6</sup> зірок і не знайшли сигналів. Побудуйте графік функції правдоподібності.

## Тема 26. Парадокс «Великого мовчання»

1. Загасання інформаційного сигналу: Розрахуйте «радіо-горизонт» Землі – відстань, на якій наші повсякденні теле- та радіопередачі стають невідрізними від фонового шуму Всесвіту. Побудуйте графік падіння відношення сигнал/шум.
2. Часовий розрив (Синхронізація): Розрахуйте ймовірність того, що періоди існування двох технологічних цивілізацій перетнуться в часі, якщо  $L$  (час життя цивілізації) складає 1000 років. Побудуйте часову вісь існування цивілізацій за методом Монте-Карло.
3. Гіпотеза «Темного лісу»: Змодельуйте стратегію виживання цивілізації: розрахуйте ризик детектування техносигнатури при різній потужності випромінювання. Побудуйте «матрицю ризику» для стратегій мовчання та активного METI.
4. Пропускна здатність каналів SETI: Обчисліть ймовірність пропуску вузькосмугового сигналу через невідповідність частотної сітки приймача. Побудуйте схему частотного перекриття «вікна прозорості» атмосфери.
5. Гіпотеза зоопарку (Зона спостереження): Розрахуйте радіус сфери, яку може контролювати розвинена цивілізація за допомогою мережі зондів фон Неймана. Побудуйте графік щільності зондів у навколосонячному просторі.

## Тема 27. Рівняння Дрейка

1. Параметричне моделювання: Розрахуйте значення  $N$  для трьох сценаріїв: «Рідкісна Земля» (песимістичний), «Середньостатистичний» та «Галактика кишить життям» (оптимістичний). Побудуйте порівняльну гістограму.
2. Аналіз змінної  $L$  (Тривалість життя): Розрахуйте, як змінюється кількість цивілізацій  $N$ , якщо  $L$  зростає лінійно, а швидкість зореутворення  $R$  падає. Побудуйте графік залежності  $N(L)$ .
3. Критична відстань: Виходячи з отриманого значення  $N$ , розрахуйте середню відстань між двома найближчими цивілізаціями в Галактиці. Побудуйте візуалізацію об'ємної щільності цивілізацій у диску Галактики.
4. Внесок екзопланет ( $f_p$  та  $n_e$ ): Оновіть рівняння Дрейка, використовуючи останні дані місії Kepler про частку планет земного типу в зоні придатності. Побудуйте діаграму розподілу значень  $n_e$  для різних спектральних класів зірок.
5. Індекс невизначеності: Проведіть аналіз чутливості рівняння Дрейка: визначте, зміна якого параметра найбільше впливає на кінцевий результат. Побудуйте «торнадо-діаграму» чутливості моделі.

## Блок 7. Ксеносоціологія, право та безпека

### Тема 28. Проблема контакту

1. Інформаційна місткість послання: Розрахуйте мінімальну кількість біт, необхідну для передачі фундаментальних констант (число  $p_i$ , маса електрона, швидкість світла) з точністю до 10 знака. Побудуйте бінарну матрицю візуалізації цього повідомлення.
2. Затримка сигналу (Latency): Розрахуйте час очікування відповіді для 10 найближчих зіркових систем. Побудуйте графік залежності тривалості «діалогу» від відстані (у роках).
3. Ефект доплерівського зміщення: Обчисліть зсув частоти сигналу для цивілізації, що знаходиться на планеті, яка обертається зі швидкістю 30 км/с. Побудуйте графік корекції частоти для успішного прийому вузькосмугового сигналу.
4. Енергетична вартість сигналу: Розрахуйте витрати енергії на відправку всеспрямованого сигналу, який був би помітний на відстані 50 світлових років. Побудуйте діаграму порівняння цієї енергії з річним споживанням енергії Землею.
5. Ймовірність випадкового детектування: Обчисліть ймовірність того, що випадковий радіосплеск буде зафіксований телескопом з полем зору 1. Побудуйте схему охоплення небесної сфери засобами SETI.

### Тема 29. Протоколи контакту із позаземним життям на Землі

1. Алгоритм верифікації сигналу: Розробіть блок-схему (алгоритм) дій наукової групи від моменту фіксації аномального сигналу до офіційного підтвердження. Розрахуйте час на перевірку за участю незалежних обсерваторій.

2. Масштабування паніки: Використовуючи модель розповсюдження інформації в соцмережах, розрахуйте час охоплення 90% населення планети новиною про контакт. Побудуйте логістичну криву поширення інформації.

3. Локалізація джерела: Розрахуйте точність визначення координат джерела сигналу методом триангуляції між радіотелескопами на різних континентах. Побудуйте схему бази ліній інтерферометра.

4. Протокол сповіщення: Складіть матрицю пріоритетності сповіщення державних та міжнародних інституцій (ООН, уряди, наукові союзи). Побудуйте мережевий графік комунікацій.

5. Аналіз «помилкових спрацювань»: Розрахуйте ймовірність того, що сигнал земного походження (супутник) буде прийнятий за позаземний. Побудуйте діаграму розподілу перешкод у радіодіапазоні.

Тема 30. Протоколи контакту із позаземним життям за межами Землі

1. Радіус карантинної зони: Розрахуйте безпечну відстань для орбітальної станції від планети з виявленою біотою, щоб уникнути випадкового зараження. Побудуйте схему орбітальних ешелонів захисту.

2. Автономний протокол зонда: Розробіть логічну схему ШІ для автоматичного прийняття рішення про вступ у контакт при виявленні техносигнатур. Розрахуйте дерево рішень за критерієм мінімізації ризику.

3. Пропускна здатність «міжзоряного інтернету»: Розрахуйте обсяг даних, який можна передати через лазерний зв'язок між Марсом та Альфа Центавра за 1 годину. Побудуйте графік деградації сигналу через міжзоряне середовище.

4. Протокол відбору зразків: Розрахуйте необхідну кількість ступенів біологічного захисту для повернення зразка з Європи (супутник Юпітера). Побудуйте схему герметизації контейнера.

5. Психологічна стійкість екіпажу: Оцініть час прийняття рішення екіпажем в умовах когнітивного дисонансу при першому візуальному контакті. Побудуйте графік зміни стресового навантаження.

Тема 31. Безпекові питання контакту із інопланетними розумними істотами

1. Моделювання ксеновірусу: Розрахуйте швидкість потенційного поширення позаземного патогену в замкненій системі МКС. Побудуйте SIR-модель (Susceptible-Infected-Recovered) для епідемії в космосі.

2. Енергетична асиметрія: Розрахуйте руйнівну силу кінетичного удару об'єкта масою 1кг, що рухається зі швидкістю 0.5с. Побудуйте діаграму порівняння з потужністю ядерної зброї.

3. Ризики радіо-детектування: Обчисліть, на якій відстані техносфера Землі стає видимою для цивілізації з телескопом діаметром 1 км. Побудуйте «сферу помітності» людства.

4. Інформаційна безпека (Trojan Horse): Розрахуйте ймовірність прихованого шкідливого коду в складному бінарному повідомленні. Побудуйте схему рівнів ізоляції при дешифруванні сигналу.

5. Стратегія «відповідного мовчання»: Розрахуйте виграш у безпеці при відмові від METI (Active SETI) за теорією ігор. Побудуйте платіжну матрицю для сценарію «Світи-мисливці».

Тема 32. Етика першого контакту

1. Індекс антропоцентризму: Проведіть кількісну оцінку змісту послання «Agesibo» на наявність специфічно людських (неуніверсальних) понять. Побудуйте радарну діаграму універсальності повідомлення.

2. Право на представництво: Розрахуйте вагу голосів різних країн світу при прийнятті рішення про відповідь на сигнал (за критеріями населення/ВВП/внеску в науку). Побудуйте картограму голосування.

3. Етика втручання: Розрахуйте потенційну шкоду для культури менш розвиненої цивілізації при отриманні технологій майбутнього. Побудуйте графік соціальної дестабілізації.

4. Моральний статус ШІ: Розрахуйте ймовірність того, що першим контактером буде машина, а не біологічний вид. Побудуйте діаграму еволюційних шляхів розуму.

5. Цінність біоти: Розрахуйте економічні витрати на зміну траєкторії зонда для уникнення зіткнення з планетою, де можливе життя. Побудуйте графік «вартість vs етика».

### Тема 33. Облаштування співіснування в космічному просторі

1. Делімітація ресурсів: Розрахуйте зони впливу навколо астероїдів у поясі Койпера для двох різних цивілізацій за принципом «рівної доступності». Побудуйте діаграму Вороного для розподілу космічного простору.

2. Міжзоряна торгівля: Розрахуйте рентабельність обміну інформацією (технологіями) порівняно з фізичним транспортуванням рідкісних ізотопів. Побудуйте графік «вартість біта vs вартість грама».

3. Екологічні норми космосу: Розрахуйте критичну щільність «сміття» на орбіті навколо спільно освоєної планети. Побудуйте модель ефекту Кесслера для позаземних систем.

4. Часовий стандарт: Розробіть універсальну шкалу часу, що базується на періодах пульсарів, для координації дій різних видів. Побудуйте схему синхронізації «Галактичного часу».

5. Модель космічної федерації: Розрахуйте стабільність багатостороннього союзу цивілізацій при збільшенні кількості учасників (за формулами мережевої стійкості). Побудуйте топологічну схему міжзоряної мережі.

### Блок 8. Практика та бар'єри космічної експансії

#### Тема 34. Колонізація космічного простору

1. Проектування штучної гравітації: Розрахуйте радіус та кутову швидкість обертання циліндра О'Нілла, необхідні для створення сили тяжіння  $1g$ . Побудуйте графік залежності відцентрового прискорення від відстані до осі обертання.

2. Розрахунок інсоляції поселення: Обчисліть площу дзеркальних концентраторів, необхідних для освітлення житлової зони площею  $5 \text{ км}^2$  на орбіті навколо Юпітера. Побудуйте схему ходу променів у системі світловодів.

3. Масовий баланс колонії: Розрахуйте необхідну масу азоту для створення атмосфери в гермооб'ємі об'ємом  $10^6 \text{ м}^3$  при земному тиску. Побудуйте діаграму співвідношення компонентів атмосфери (азот, кисень, аргон, вуглекислий газ).

4. Логістика поселення: Розрахуйте вантажопотік (тонн/рік) для підтримки життєдіяльності 1000 осіб при рівні регенерації ресурсів 90%. Побудуйте графік залежності маси зовнішніх поставок від ефективності ЗСЖЗ.

5. Термальний режим: Обчисліть площу радіаторів-випромінювачів для відведення 500 МВт тепла, що генерується інфраструктурою бази. Побудуйте енергетичну діаграму теплового балансу колонії.

#### Тема 35. Причини космічної колонізації

1. Моделювання вичерпання ресурсів: Розрахуйте рік повного вичерпання запасів літію або кобальту на Землі за умови експоненціального зростання споживання (3-5% на рік). Побудуйте графік порівняння земних запасів та ресурсів поясу астероїдів.

2. Демографічний тиск: Обчисліть необхідну швидкість виведення людей у космос, щоб стабілізувати населення Землі на рівні 10 млрд осіб при поточному прирості. Побудуйте порівняльну гістограму динаміки населення.

3. Економіка «космічного металу»: Розрахуйте собівартість 1 кг платини, видобутої на астероїді класу M, враховуючи витрати на запуск та доставку. Побудуйте графік точки беззбитковості (ROI) проекту.

4. Аналіз екзистенційних ризиків: Розрахуйте ймовірність виживання цивілізації протягом 1000 років за умови наявності 1, 2 та 5 автономних колоній на різних планетах. Побудуйте дерево ризиків (Fault Tree Analysis).

5. Енергетичний перехід (Тип I за Кардашовим): Розрахуйте площу орбітальних сонячних електростанцій, необхідних для подвоєння поточної світової генерації енергії. Побудуйте схему передачі енергії на Землю за допомогою НВЧ-випромінювання.

### Тема 36. Сучасний етап освоєння космічного простору

1. Ефективність багаторазових систем: Порівняйте вартість виведення 1 кг корисного навантаження для ракет Falcon 9, Falcon Heavy та Starship. Побудуйте діаграму питомої вартості запуску.
2. Розрахунок «вікна старту»: Визначте дати найбільш енергетично вигідних вікон для польоту на Марс на найближчі 10 років (гомановська траєкторія). Побудуйте графік зміни необхідної характеристичної швидкості ( $\Delta v$ ).
3. Аналіз супутникових констеляцій: Розрахуйте кількість супутників у системі Starlink, необхідну для 100% покриття поверхні Землі при висоті орбіти 550 км. Побудуйте схему орбітальних площин.
4. Бюджетна декомпозиція: Проаналізуйте структуру витрат програми «Artemis» (ракета SLS, корабель Orion, посадкові модулі). Побудуйте секторну діаграму розподілу фінансування.
5. Оцінка наукового виходу: Обчисліть обсяг даних (ТБ), отриманих телескопом James Webb за 1 рік спостережень, та швидкість їх передачі на Землю. Побудуйте графік заповнення пам'яті бортового комп'ютера.

### Тема 37. Технологічні бар'єри на шляху колонізації

1. Екранування від ГКВ (Галактичних космічних променів): Розрахуйте товщину шару води та алюмінію, необхідну для зниження річної дози радіації до 50 мЗв (норма для працівників АЕС). Побудуйте криву поглинання частинок.
2. Затримка сигналу (Time Delay): Розрахуйте мінімальну та максимальну затримку зв'язку з Марсом. Моделюйте вплив цієї затримки на швидкість дистанційного керування ровером. Побудуйте графік «дистанція – час відповіді».
3. Ерозія матеріалів: Обчисліть швидкість зносу ілюмінаторів через мікрометеороїдне бомбардування на орбіті. Побудуйте графік залежності кількості мікрократерів від тривалості перебування в космосі.
4. Агресивність марсіанського пилу: Розрахуйте час абразивного руйнування ущільнювачів шлюзу при потраплянні пилу з вмістом перхлоратів. Побудуйте діаграму механічного зносу матеріалів.
5. Психологічна ізоляція: Проведіть статистичний аналіз конфліктних ситуацій у замкнених групах на основі експерименту «Марс-500». Побудуйте кореляційну матрицю між тривалістю ізоляції та рівнем групової напруги.

### Блок 9. Планетарна інженерія та популяційна екологія

#### Тема 38. Тератрансформація (Тераформування)

1. Розрахунок парникового ефекту: Обчисліть масу фторованих газів ( $\text{SF}_6$ ), яку необхідно викинути в атмосферу Марса для підвищення середньої температури на 10. Побудуйте графік залежності температури поверхні від концентрації парникових газів.
2. Фотосинтетична трансформація: Розрахуйте час, необхідний для створення атмосфери з парціальним тиском кисню 21 кПа за допомогою ціанобактерій, покриваючи 50% поверхні планети. Побудуйте експоненціальну криву накопичення  $\text{O}_2$ .
3. Енергетика сублімації полярних шапок: Обчисліть потужність орбітальних дзеркал, необхідну для повного випаровування твердого  $\text{CO}_2$  на південному полюсі Марса протягом 20 років. Побудуйте енергетичну схему «дзеркало – полюс».
4. Водний баланс планети: Розрахуйте товщину глобального океану, який утвориться при таненні підповерхневого льоду заданого об'єму. Побудуйте гіпсографічну криву (розподіл висот) Марса з нанесеним рівнем нового океану.
5. Розрахунок штучної магнітосфери: Визначте силу струму в соленоїді, розташованому в точці Лагранжа L1, для відхилення сонячного вітру від атмосфери планети. Побудуйте схему захисної магнітної каверни.

### Тема 39. Експансійні стратегії популяцій

1. Моделювання швидкості розселення: Обчисліть радіус розповсюдження колонії лишайників на реголіті за 50 років, якщо швидкість приросту становить 5 мм/рік. Побудуйте картосхему експансії з ізохронами.
2. Аналіз r та K стратегій: Порівняйте виживання популяції бактерій (r-стратегі) та вищих рослин (K-стратегі) в умовах нестабільного середовища бази. Побудуйте графіки динаміки чисельності для обох типів.
3. Ефект засновника: Розрахуйте втрату генетичного різноманіття (гетерозиготності) у популяції з 20 особин через 50 поколінь. Побудуйте графік зниження генетичної варіативності.
4. Колонізація островів (теорія МакАртура-Вілсона): Моделюйте динаміку видів у системі «Земля – Місяць – Марс» як архіпелагу. Розрахуйте рівноважну кількість видів залежно від «відстані». Побудуйте графік швидкості імміграції та вимирання.
5. Енергетична ціна експансії: Обчисліть частку енергії біомаси, що витрачається на міграцію (розселення), порівняно з підтримкою гомеостазу. Побудуйте діаграму розподілу енергії популяції.

### Тема 40. Популяції едифікаторів

1. Розрахунок біогенного ґрунтоутворення: Визначте масу органічної речовини, яку додають лишайники-едифікатори в 1 м<sup>2</sup> реголіту за 10 років. Побудуйте профіль формування штучного ґрунту.
2. Трансформація мікроклімату: Обчисліть зміну вологості повітря всередині рослинного масиву (едифікатора) порівняно з відкритим простором купола. Побудуйте графік температурно-вологісного градієнта.
3. Конкурентне виключення: Розрахуйте, як домінуючий вид-едифікатор впливає на чисельність супутніх видів через затінення. Побудуйте діаграму флористичного складу біоценозу.
4. Відновлення після стресу: Обчисліть час відновлення популяції едифікатора після розгерметизації модуля. Побудуйте фазову траєкторію відновлення системи.
5. Біогенна інженерія: Розрахуйте необхідну щільність посадки «рослин-піонерів» для закріплення пилових наносів на площі 1 га. Побудуйте схему оптимального просторового розміщення.

### Тема 41. Популяції інвазійних видів трансформерів

1. Прогноз біологічної інвазії: Обчисліть ймовірність захоплення штучної екосистеми пліснявими грибами при порушенні роботи вентиляції. Побудуйте модель «хижак – ресурс» для грибів та субстрату.
2. Зміна енергетичних потоків: Розрахуйте, на скільки відсотків знижується продуктивність культурних рослин при появі бур'яну-трансформера. Побудуйте порівняльну піраміду енергій до та після інвазії.
3. Математична модель витіснення: Розрахуйте час повного витіснення аборигенного (місцевого марсіанського або проектного) виду інвазійним видом-трансформером. Побудуйте графік конкуренції Лотки-Вольтерри.
4. Економічні збитки від інвазії: Оцініть витрати енергії та ресурсів на дезінфекцію модуля після зараження інвазійним видом. Побудуйте діаграму витрат «контроль vs шкода».
5. Стійкість до інвазій: Розрахуйте індекс біорізноманіття, необхідний для того, щоб екосистема могла чинити опір проникненню трансформерів. Побудуйте графік залежності інвазивності від складності системи.

### Тема 42. Тератрансформація та рекультивация

1. Фіторекультивация токсичних ґрунтів: Розрахуйте час очищення реголіту від перхлоратів за допомогою спеціалізованих бактерій. Побудуйте графік зниження концентрації токсинів.
2. Відновлення родючості: Обчисліть необхідну кількість біогумусу для перетворення 1 тонни інертного ґрунту на родючий субстрат. Побудуйте кругову діаграму хімічного складу ґрунту до і після рекультивации.

3. Ерозійне моделювання: Розрахуйте швидкість вітрової ерозії на рекультивованій ділянці при різному ступені рослинного покриття. Побудуйте графік залежності втрат ґрунту від швидкості вітру.

4. Водний цикл рекультивованої ділянки: Обчисліть норми поливу для відновленого ландшафту в умовах низького атмосферного тиску. Побудуйте схему водного балансу (опаді – випаровування – поглинання).

5. Комплексний індекс відновлення: Розрахуйте інтегральний показник стану екосистеми на основі біомаси, біорізноманіття та швидкості колообігу речовин. Побудуйте радарну діаграму успішності рекультивациі.

Тема 43. Алгоритми тератрансформації

1. Покроковий мережевий графік: Розробіть критичний шлях (PERT-діаграму) тератрансформації Венери, розраховуючи тривалість кожного етапу (охолодження, осадження CO<sup>2</sup>, внесення води).

2. Алгоритм біологічного старту: Складіть логічну схему послідовного введення видів-піонерів у нове середовище. Розрахуйте інтервали між введенням нових трофічних рівнів.

3. Оптимізаційне управління кліматом: Розрахуйте параметри зворотного зв'язку для алгоритму підтримки стабільної температури при зміні альбедо. Побудуйте блок-схему системи автоматичного регулювання (САР).

4. Алгоритм вибору «планети-кандидата»: Розрахуйте вагові коефіцієнти для параметрів (маса, відстань від зірки, наявність води) для автоматизації вибору цілі трансформації. Побудуйте матрицю пріоритетів.

5. Моделювання сценарію катастрофи: Розробіть алгоритм дій системи при різкому падінні тиску (аварія на виробництві газів). Розрахуйте час до критичної деградації біосфери. Побудуйте графік «виживання vs час реакції».

Блок 10. Стратегія та етика космічного майбутнього

Тема 44. Космічна експансія (моделі поширення)

1. Модель «хвилі заселення»: Розрахуйте швидкість розширення фронту людської присутності в Сонячній системі, якщо кожна нова колонія засновує наступну через 30 років. Побудуйте графік залежності кількості поселень від часу.

2. Розрахунок логістичного плеча: Обчисліть затримку в постачанні критичних ресурсів між Землею та поселенням у поясі астероїдів при використанні іонних двигунів. Побудуйте графік зміни енергетичних витрат залежно від конфігурації планет.

3. Демографічна ємність Сонячної системи: Розрахуйте максимальну кількість населення, яку може підтримати Сонячна система, виходячи з сумарного потоку сонячної енергії та ефективності її перетворення (0.1%). Побудуйте піраміду розподілу населення за типами об'єктів (планети, супутники, орбітальні станції).

4. Коефіцієнт автономності: Визначте мінімально необхідну масу обладнання для створення замкнутого циклу виробництва на Місяці «з нуля». Побудуйте графік зростання ступеня автономності колонії від ввезеної маси.

5. Еволюція транспортних мереж: Розрахуйте оптимальну кількість проміжних станцій (хабів) для мінімізації витрат палива при польоті до супутників Юпітера. Побудуйте топологічну схему транспортної мережі Сонячної системи.

Тема 45. Етичні проблеми колонізації космічного простору

1. Індекс антропогенного втручання: Розробіть кількісну шкалу оцінки шкоди, якої завдає наукова база незайманому середовищу астероїда. Побудуйте радарну діаграму етичних ризиків для різних типів космічних тіл.

2. Математика «Космічного права»: Розрахуйте справедливий розподіл ресурсів астероїда між 10 країнами на основі індексу їхнього вкладу в космічні дослідження (модель за теоремою Шаплі). Побудуйте секторну діаграму розподілу власності.

3. Етика ризику (Життя vs Знання): Розрахуйте допустимий рівень смертності екіпажу для місій різної наукової важливості за методом аналізу ієрархій (АНР). Побудуйте графік «етичного порогу» для пілотованих польотів.

4. Права майбутніх поколінь: Розрахуйте накопичену генетичну деградацію в ізольованій популяції за 200 років. Побудуйте дерево прийняття рішень щодо етичності народження дітей в умовах низької гравітації та радіації.

5. Моральна вартість стерильності: Обчисліть витрати енергії на повну стерилізацію посадкового модуля для захисту марсіанської біоти порівняно з ризиком втрати наукових даних. Побудуйте діаграму балансу «витрати – безпека – етика».

Тема 46. Космічна експансія – стратегічні задачі сьогодення

1. Пріоритетність цілей: Використовуючи метод багатокритеріальної оцінки (відстань, ресурси, складність), розрахуйте рейтинг привабливості об'єктів для колонізації на найближчі 50 років. Побудуйте гістограму стратегічних пріоритетів.

2. Економічний мультиплікатор: Розрахуйте непрямий прибуток для економіки Землі від вкладення 1 долара в космічні технології (телекомунікації, матеріалознавство). Побудуйте графік окупності космічних інвестицій у часі.

3. Прогноз енергетичного переходу: Обчисліть обсяг видобутку Гелію-3 на Місяці, необхідний для заміщення всієї вуглеводневої енергетики Землі. Побудуйте прогнозну криву зміни структури світового енергобалансу.

4. Стратегія планетарного захисту: Розрахуйте час на підготовку місії з відхилення астероїда діаметром 500 м при різних термінах виявлення. Побудуйте графік залежності успіху місії від часу попередження.

5. Розвиток «NewSpace»: Проаналізуйте динаміку зростання частки приватних компаній у запусках корисного навантаження за останні 10 років. Побудуйте лінійний графік прогнозу розподілу ринку між державними та приватними гравцями до 2050 року.

Для того, щоб ваша робота відповідала високим академічним стандартам, дотримуйтесь наступних правил:

Титульний аркуш: Має містити назву дисципліни, тему РГР, дані про студента та викладача.

Розрахунковий блок: Всі формули мають бути набрані в редакторі формул. Обов'язково вказуйте розшифровку символів та одиниці вимірювання.

Графічний блок: Графіки мають бути чіткими, з підписаними осями. Використовуйте різні кольори або типи ліній для різних сценаріїв моделювання.

Висновок: У висновку дайте відповідь на головне питання завдання: «Який екологічний або стратегічний наслідок мають отримані цифри?».

Кожна робота має супроводжуватися стислим теоретичним вступом (1 стор.), розрахунковою частиною (з наведенням використаних формул) та якісно оформленим графічним матеріалом. Для виконання розрахунків рекомендується використовувати MS Excel, Mathcad або Python (NumPy/Matplotlib). Графічні схеми можуть бути виконані у draw.io, Canva або спеціалізованих інженерних редакторах.

## Курсові роботи та проекти

Для студентів, які вивчають «Основи астроекології», важливо поєднувати фундаментальну теорію з прикладним моделюванням. Нижче наведено розгорнутий перелік тем для дослідницьких проектів, орієнтованих на прикладні аспекти астроекології та курсових робіт, орієнтованих на теоретичну астроекологію.

### 1. Предмет і завдання астроекології

Дослідницькі проекти:

- Аналіз ефективності замкнених циклів життєзабезпечення: порівняння систем «Біос-3» та МКС.
- Розробка моделі мінімізації антропогенного впливу техносфери на навколопланетне середовище.
- Оцінка потенціалу реголіту як субстрату для вирощування вищих рослин в умовах ізоляції.
- Проектування системи моніторингу екологічного стану автономного космічного поселення.
- Дослідження методів утилізації біологічних відходів у герметичних екосистемах.

Теми курсових робіт:

- Філософські та наукові аспекти визначення предмета астроекології.
- Роль астроекології у вирішенні глобальної екологічної кризи на Землі.
- Екологічна безпека космічної діяльності: правові та наукові завдання.
- Концепція «Космічного дому» в сучасній екологічній парадигмі.
- Класифікація завдань астроекології в контексті підготовки до колонізації Марса.

### 2. Місце астроекології в системі природничих наук

Дослідницькі проекти:

- Міждисциплінарний аналіз: кореляція між сонячною активністю та врожайністю зернових культур.
- Моделювання геохімічних циклів на Землі як основи для розуміння екосистем екзопланет.
- Порівняльний біофізичний аналіз адаптації клітинних культур до умов мікрогравітації.
- Розробка алгоритму використання методів астрономії в біологічному моніторингу.
- Вивчення спектральних характеристик земної рослинності для створення еталонів пошуку життя.

Теми курсових робіт:

- Астроекологія як синтез біосферології та космології.
- Взаємозв'язок астроекології з астробіологією та космічною медициною: спільне та відмінне.
- Методологічне значення системного підходу в астроекологічних дослідженнях.
- Екологізація сучасного природознавства через призму космічних досліджень.
- Вплив космічного світогляду на розвиток класичної екології в XX–XXI століттях.

### 3. Структура астроекології

Дослідницькі проекти:

- Моделювання ієрархічної структури енергетичних потоків у штучному біогеоценозі.
- Аналіз взаємодії технічного та біологічного блоків у структурі космічної станції.
- Розробка структурної схеми трофічних зв'язків для поселення на Місяці.
- Дослідження інформаційних потоків у системі «Екіпаж – Біосфера – Техносфера».
- Оцінка стійкості різних рівнів організації астроекологічних систем до зовнішніх збурень.

Теми курсових робіт:

- Рівні організації матерії в астроекології: від молекулярного до галактичного.
- Функціональна структура штучних екосистем тривалого функціонування.

- Біосфероцентричний підхід у структурі космічних досліджень.
- Аналіз компонентів астроекології: природне середовище, техносфера, людина.
- Теоретичні засади формування стійкої структури екзобіосфери.

#### 4. Історія астроекології

Дослідницькі проекти:

- Реконструкція експериментів з космічної ботаніки 1960–70-х років: порівняльний аналіз.
- Біометричний аналіз наукових публікацій з астроекології за останні 50 років.
- Дослідження еволюції ідей К. Ціолковського та В. Вернадського в сучасних проєктах NASA.
- Аналіз динаміки розвитку міжнародного космічного права в екологічному аспекті.
- Вивчення історії створення наземних експериментальних комплексів (LSS).

Теми курсових робіт:

- Вчення В. Вернадського про біосферу та ноосферу як фундамент астроекології.
- Етапи становлення космічної екології: від перших супутників до Марсоходів.
- Українська школа космічної біології та екології: персоналії та внесок.
- Історія пошуку позаземного життя: від міфів до радіотелескопів.
- Розвиток концепції «Космічного ковчега» в науковій фантастиці та реальності.

#### 5. Життя як космічне явище

Дослідницькі проекти:

- Моделювання виникнення органічних молекул у міжзоряному середовищі (лабораторна модель).
- Розрахунок термодинамічної ймовірності існування життя на супутниках Юпітера.
- Аналіз біосигнатур у спектрах атмосфер планет земного типу.
- Дослідження стійкості ДНК до іонізуючого випромінювання відкритого космосу.
- Оцінка ролі життя у формуванні сучасного газового складу атмосфери Землі.

Теми курсових робіт:

- Антропний принцип та умови виникнення життя у Всесвіті.
- Панспермія: аргументи «за» і «проти» у світлі сучасної астроекології.
- Життя як механізм дисипації енергії в космосі.
- Універсальність біологічних законів: чи можливе невуглецеве життя?
- Космічна роль розуму в еволюції живої речовини.

#### 6. Всесвіт – динамічна ієрархічна система

Дослідницькі проекти:

- Моделювання динаміки зони придатності до життя навколо зірок різних спектральних класів.
- Розрахунок впливу прецесії планетарної осі на кліматичну стабільність біосфери.
- Аналіз гравітаційних впливів планет-гігантів на стабільність орбіти планет земного типу.
- Дослідження розподілу важких елементів у Галактиці як фактор виникнення складних екосистем.
- Побудова моделі теплового балансу планети з різною щільністю атмосфери.

Теми курсових робіт:

- Гіпотеза «Геї» Джеймса Лавлока у космічному масштабі.
- Динамічна рівновага Всесвіту та межі існування живих систем.
- Екологічне значення космічних катастроф (наднових, астероїдів) в історії Землі.
- Ієрархія систем у Всесвіті: від планетних систем до надскупчень галактик.
- Часові масштаби космічної еволюції та біологічний час.

#### 7. Стратегії виживання

Дослідницькі проекти:

- Експериментальне вивчення криптобіозу у тихоходів при екстремальних температурах.

- Розробка математичної моделі виживання популяції в умовах обмежених енергоресурсів.
- Аналіз ефективності радіопротекторів природного походження на модельних об'єктах.
- Дослідження стратегій адаптації фотосинтезуючих організмів до низької інтенсивності світла.
- Оцінка стійкості мікробних спільнот до циклічних змін тиску.

Теми курсових робіт:

- Еволюційні стратегії життя в екстремальних умовах: земні аналоги космосу.
- Механізми репарації ДНК як ключовий фактор космічного виживання.
- Анабіоз та гібернація як стратегії збереження життя під час тривалих перельотів.
- Біологічна пластичність та межі адаптації живих систем.
- Роль симбіозу у виживанні складних екосистем у агресивному середовищі.

## 8. Живі системи і їхні стратегії

Дослідницькі проекти:

- Порівняння r- та K-стратегій популяцій у гермооб'ємах малої ємності.
- Моделювання трофічних взаємодій у мініатюрних екосистемах (екосферах).
- Дослідження впливу магнітного поля на орієнтацію та ріст корневих систем.
- Розробка стратегії самовідновлення біофільтрів у системах регенерації води.
- Аналіз соціальних стратегій комах (мурах, бджіл) як моделі для космічних колоній.

Теми курсових робіт:

- Гомеостаз живих систем в умовах космічного стресу.
- Співвідношення індивідуальних та групових стратегій виживання в ізольованих екосистемах.
- Еволюція стратегій живих систем під впливом мікрогравітації.
- Екологічна ніша людини в космічному просторі: стратегія експансії.
- Інформаційна складність живих систем як показник їхньої адаптивності в космосі.

## 9. Закономірності взаємодії організмів із середовищем

Дослідницькі проекти:

- Експериментальне визначення лімітів толерантності: Дослідження виживання мікроорганізмів-екстремофілів у симульованому марсіанському реголіті.
- Фотосинтез у неземному спектрі: Оцінка продуктивності вищих рослин при освітленні, що імітує спектр зірки класу М (червоний карлик).
- Адаптація до гіпобарії: Вивчення морфологічних змін листка рослин при зниженому атмосферному тиску (до 10 кПа).
- Синергія факторів: Аналіз комбінованого впливу іонізуючого випромінювання та низької гравітації на швидкість проростання насіння.
- Біогенна детоксикація: Використання бактерій для очищення субстратів від перхлоратів у замкнених системах.

Теми курсових робіт:

- Закон оптимуму та межі виживання живих систем у космічному просторі.
- Екологічна валентність видів як критерій відбору для штучних екосистем.
- Специфіка абіотичних факторів на планетах земного типу: порівняльний аналіз.
- Роль стресових білків у механізмах адаптації організмів до космічних польотів.
- Вплив зміненої гравітації на тропізми та таксиси живих організмів.

## 10. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі

Дослідницькі проекти:

- Геліобіоритми: Кореляційний аналіз між циклами сонячної активності та річними кільцями дерев у різних кліматичних зонах.
- Магніторецепція: Дослідження впливу штучних геомагнітних бурь на орієнтаційну поведінку дрібних безхребетних.

- УФ-радіація та планктон: Оцінка швидкості деградації фітопланктону при збільшенні інтенсивності жорсткого ультрафіолету.

- Космічний пил як добриво: Аналіз хімічного складу метеорної речовини та її потенційного впливу на океанічну продуктивність.

- Моделювання інсоляції: Розрахунок впливу прецесії земної осі на зміну кордонів природних зон.

Теми курсових робіт:

- Сонячна активність та її роль у динаміці епізоотій та епідемій на Землі.

- Екологічні наслідки зміни магнітного поля Землі для мігруючих видів.

- Космічні катастрофи (наднової, астероїди) як чинники масових вимирань у палеоекології.

- Механізми захисту біосфери від жорсткого космічного випромінювання.

- Вплив космічних чинників на хмарний покрив та альбедо Землі.

## 11. Біоморфи як спосіб адаптації до умов середовища

Дослідницькі проекти:

- Архітектоніка в невагомості: Побудова 3D-моделі зміни структури крони рослин в умовах тривалої мікрогравітації.

- Компактність як захист: Порівняльний аналіз терморегуляції подушкоподібних рослин та одиночних форм у високогір'ї (аналог Марса).

- Ксеноморфологія: Розробка теоретичної моделі життєвої форми для планет з високою гравітацією (суперземлі).

- Еволюція сукулентності: Вивчення ефективності збереження вологи різними біоморфами в умовах штучного космічного вакууму.

- Біонічний дизайн: Проектування штучних фотосинтезуючих структур на основі морфології лишайників.

Теми курсових робіт:

- Концепція життєвих форм І. Серебрякова в контексті космічної біології.

- Морфологічна конвергенція організмів у екстремальних умовах Землі та космосу.

- Роль скелетних структур у адаптації тварин до різних гравітаційних режимів.

- Біоморфи-ефемери як стратегія виживання в умовах коротких періодів придатності середовища.

- Вплив спектрального складу світла на морфогенез рослин у замкнених системах.

## 12. Енергетичні потоки через популяцію

Дослідницькі проекти:

- Енергетичний бюджет популяції: Розрахунок витрат енергії на метаболізм та ріст популяції комах у штучному біотопі.

- Продуктивність фотоавтотрофів: Оцінка чистої первинної продукції мікроводоростей при різних режимах інтенсивності космічного світла.

- Теплові втрати: Розрахунок енергетичного ККД популяції дрібних ссавців у гермооб'ємі при зміні складу газового середовища.

- Енергетика репродукції: Порівняння витрат енергії на відтворення у популяцій «космічних» та «земних» ліній *Drosophila*.

- Динаміка ентальпії: Моделювання потоку енергії через детритний ланцюг штучної екосистеми.

Теми курсових робіт:

- Закономірності трансформації енергії в популяціях при екстремальних навантаженнях.

- Енергетична ціна адаптації організмів до космічних чинників середовища.

- Методи оцінки енергетичного балансу популяцій у замкнених екосистемах.

- Роль популяційних циклів у перерозподілі енергії всередині біоценозу.

- Енергетична ефективність хемосинтезу як альтернативи фотосинтезу в позаземних умовах.

### 13. Енергетика екосистем

Дослідницькі проекти:

- ККД штучної біосфери: Розрахунок загальної ефективності перетворення сонячної енергії в біомасу для системи «Біос-3».
- Антропогенна енергетика: Оцінка впливу додаткового енергетичного потоку (штучного освітлення) на стабільність замкненої екосистеми.
- Ентропійний баланс: Моделювання розсіювання тепла екосистемою космічної станції за допомогою радіаторів.
- Трофічні ланцюги: Порівняльний аналіз енергетичних втрат у коротких (рослина-людина) та довгих трофічних ланцюгах у космосі.
- Енергетика регенерації: Розрахунок енерговитрат на біологічне відновлення води та повітря в екосистемі марсіанської бази.

Теми курсових робіт:

- Другий закон термодинаміки та проблема ентропії в астроекологічних системах.
- Енергетичні піраміди Ліндемана в контексті проектування космічних поселень.
- Порівняльна енергетика біосфери Землі та моделей екзобіосфер.
- Роль автотрофних та гетеротрофних блоків у стабілізації енергообміну екосистем.
- Еволюція енергетичних потоків у біосфері під впливом астрономічних циклів.

### 14. Потоки енергії в екосистемах

Теми дослідницьких проектів:

- Аналіз ефективності перетворення сонячної енергії фотосинтезуючими організмами в умовах зміненого спектрального складу (імітація зірок класу М).
- Експериментальне дослідження енерговитрат безхребетних на підтримку метаболізму в умовах тривалої мікрогравітації.
- Дослідження ролі хемолітоавтотрофних угруповань як альтернативного джерела енергії для підповерхневих екзобіосфер.
- Оцінка енергетичного балансу замкненої гідропонної системи при використанні штучного світлодіодного освітлення різної інтенсивності.
- Розробка методів мінімізації втрат енергії при рециркуляції біомаси в автономних біотехнічних системах.

Теми курсових робіт:

- Трофічні ланцюги та піраміди енергії в умовах обмеженого об'єму космічного поселення.
- Порівняльний аналіз термодинамічних показників земних екосистем та замкнених штучних екосистем.
- Вплив космічного іонізуючого випромінювання на ефективність перенесення енергії між трофічними рівнями.
- Енергетичний підхід до оцінки стійкості екосистеми космічного корабля.
- Використання термоелектричних градієнтів планет як джерела енергії для локальних еконіш.

### 15. Екосистема як упаковка еконіш

Теми дослідницьких проектів:

- Моделювання процесу «упаковки» екологічних ніш мікроорганізмів у закритому об'ємі з метою максимізації переробки відходів.
- Дослідження конкурентних відносин між вищими рослинами при обмеженні кореневого простору в космічних оранжереях.
- Оцінка пластичності фундаментальної екологічної ніші екстремофільних бактерій в умовах марсіанського реголіту.

- Експериментальне визначення ємності екологічного простору для змішаних культур водоростей у фотобіореакторах.
- Аналіз перекриття екологічних ніш симбіотичної мікрофлори людини та рослин у герметичних об'єктах.

Теми курсових робіт:

- Проблема заповнення вільних екологічних ніш в екосистемах штучних космічних об'єктів.
- Диференціація ніш як механізм стабілізації біорізноманіття в обмежених біосферах.
- Теорія екологічної ніші в контексті відбору видів для систем життєзабезпечення (LSS).
- Зміна параметрів екологічної ніші під впливом факторів космічного польоту.
- Концепція ніші в астробіології: визначення меж потенційного існування життя на екзопланетах.

16. Динаміка екосистем: біоритми, сукцесія, флуктуації, еволюція

Теми дослідницьких проєктів:

- Вплив відсутності природного добового ритму на репродуктивні цикли водних організмів у модельних екосистемах.
- Дослідження мікробної сукцесії на полімерних матеріалах внутрішнього оздоблення космічних станцій.
- Експериментальне моделювання стохастичних флуктуацій газового складу та їх вплив на стабільність фітоценозу.
- Спостереження за мікроеволюційними змінами популяцій швидковиращуваних рослин у декількох поколіннях в умовах хронічного опромінення.
- Аналіз динаміки відновлення закритої екосистеми після штучного вилучення ключового виду ланки.

Теми курсових робіт:

- Синхронізація біологічних ритмів різних компонентів замкненої екосистеми в умовах позаземних поселень.
- Закономірності вторинної сукцесії в аварійних ситуаціях усередині космічних об'єктів.
- Еволюційні адаптації земних організмів до гіпергравітації та мікрогравітації: екологічний аспект.
- Роль біологічного зворотного зв'язку в гасінні флуктуацій параметрів середовища в космосі.
- Прогнозування еволюційної траєкторії ізолюваних екосистем на інших планетах.

17. Моделювання динаміки екосистем

Теми дослідницьких проєктів:

- Створення програмної моделі стабільності кругообігу речовин у системі «людина – рослина – мікроорганізми».
- Математичне моделювання впливу токсичних виділень (VOC) на динаміку росту біомаси в замкненому модулі.
- Розробка алгоритму прогнозування кризових станів екосистеми на основі моніторингу концентрації кисню.
- Імітаційне моделювання динаміки популяцій комах-запилувачів у космічній оранжереї.
- Побудова графічної моделі потоків маси в екосистемі за умов часткової розгерметизації.

Теми курсових робіт:

- Застосування методів нелінійної динаміки для аналізу стійкості астроекосистем.
- Порівняльний аналіз детермінованих та стохастичних моделей динаміки біосфери.
- Математичне моделювання процесів самоорганізації в мікробних консорціумах космічного призначення.

- Використання концепції «світового динамізму» для моделювання планетних екосистем.
- Моделювання процесів деградації та відновлення замкнених циклів у критичних умовах.

#### 18. Екосистеми штучних космічних об'єктів

Теми дослідницьких проєктів:

- Дослідження мікробіологічної чистоти регенованої води в замкненій системі за участю вищих рослин.
- Оцінка ефективності використання різних типів штучного реголіту як субстрату для вирощування овочевих культур.
- Розробка біологічного фільтра на основі мохів для очищення повітря космічних апаратів від аерозолів.
- Дослідження впливу магнітного поля низької напруженості на розвиток фітопланктону в бортових аквасистемах.
- Аналіз стабільності харчових ланцюгів за участю дрібних гризунів в умовах герметичного об'єкта.

Теми курсових робіт:

- Проєктування багатоланкових біотехнічних систем життєзабезпечення для тривалих міжпланетних експедицій.
- Проблема біологічної корозії обладнання космічних станцій та методи її запобігання.
- Екологічна роль грибів та мікроміцетів у штучних середовищах існування.
- Принципи формування «екологічного буфера» у малих закритих системах.
- Історія та перспективи розвитку радянських та американських проєктів замкнених екосистем (БІОС, Biosphere 2).

#### 19. Моделювання динаміки та структури екзобіосфер

Теми дослідницьких проєктів:

- Моделювання вертикальної структури екзобіосфери на планетах із високою густиною атмосфери.
- Розрахунок потенційної продуктивності біосфер на планетах, що обертаються навколо подвійних зірок.
- Дослідження впливу припливного захоплення планети на формування кліматичних біомів («денна» та «нічна» сторони).
- Моделювання біосигнатур (спектральних маркерів життя) для планет із домінуванням пурпурових бактерій.
- Оцінка можливості існування стабільної екосистеми в підповерхневих океанах крижаних супутників.

Теми курсових робіт:

- Класифікація екзобіосфер за типом використання джерел вільної енергії.
- Моделювання динаміки кисневої катастрофи як етапу еволюції планетних біосфер.
- Вплив планетарних характеристик (гравітація, магнітне поле) на граничну складність структури екосистем.
- Концепція «жилої зони» з позиції екосистемного підходу та моделювання клімату.
- Перспективи тераформування Марса: екологічні етапи та прогнозована динаміка біоти.

#### 20. Історія пошуків позаземного життя

Теми дослідницьких проєктів:

- Реконструкція історичних експериментів місії «Вікінг» з використанням сучасних аналітичних методів моделювання.
- Аналіз еволюції наукових поглядів на концепцію «жилих зон» від античності до сучасної астроекології.
- Дослідження ролі метеоритів (на прикладі ALH84001) у зміні парадигми пошуку життя на Марсі.

- Порівняльний аналіз методологій виявлення органіки в історичних космічних програмах США та СРСР.
- Вплив філософських та релігійних концепцій на розвиток перших наукових програм пошуку позаземного життя.

Теми курсових робіт:

- Внесок Карла Сагана у становлення астробіології як фундаментальної науки.
- Хронологія та результати марсіанських дослідницьких програм у контексті пошуку води та життя.
- Антропоцентризм у ранніх теоріях про населеність планет Сонячної системи.
- Аналіз помилок та хибних відкриттів у історії астрономічних спостережень за «каналами» на Марсі.
- Еволюція технологічного інструментарію для виявлення мікробіологічного життя на інших небесних тілах.

## 21. Біосигнатури

Теми дослідницьких проєктів:

- Моделювання спектральних сигнатур екзопланет з атмосферами, багатими на метан та кисень біогенного походження.
- Дослідження «червоного краю» (Red Edge) як дистанційного маркера наявності фотосинтезуючої рослинності.
- Аналіз стабільності складних органічних молекул в умовах жорсткого ультрафіолетового випромінювання на поверхні екзопланет.
- Розробка алгоритмів розпізнавання біогенних структур у мінеральних відкладеннях на прикладі земних строматолітів.
- Оцінка «хибнопозитивних» сигналів: розрізнення абіотичного та біотичного кисню в атмосферах екзопланет.

Теми курсових робіт:

- Класифікація біосигнатур: від атмосферних газів до хіральної асиметрії молекул.
- Термодинамічна нерівновага атмосфери як універсальний індикатор наявності життя.
- Методи виявлення техногенних забруднень (техносигнатур) в атмосферах далеких світів.
- Використання космічного телескопа «Джеймс Вебб» для аналізу складу атмосфер екзопланет системи TRAPPIST-1.
- Проблема збереження та виявлення ліпідних біомаркерів у стародавніх осадових породах.

## 22. Програма SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence)

Теми дослідницьких проєктів:

- Аналіз «радіошуму» Землі як моделі для виявлення аналогічних витоків сигналу від інших цивілізацій.
- Математичне моделювання ймовірності виявлення сигналу за допомогою рівняння Дрейка з урахуванням сучасних астрофізичних даних.
- Розробка протоколу першої відповіді у разі виявлення підтвердженого сигналу штучного походження.
- Дослідження можливості використання гравітаційного лінзування зірок для посилення сигналів SETI.
- Оцінка ефективності використання нейромереж для фільтрації земних перешкод у радіосигналах з глибокого космосу.

Теми курсових робіт:

- Радіотелескопи «Аресібо» та «FAST»: їхня роль та внесок у розвиток програми SETI.
- Історія та наукове обґрунтування сигналу «Wow!»: гіпотези та спростування.
- Оптичне SETI: перспективи пошуку лазерних сигналів від позаземних цивілізацій.
- Парадокс Фермі в контексті сучасних нульових результатів радіопошуків.
- Соціальні та етичні аспекти передачі повідомлень (METI) у відкритий космос.

## 23. Програма Breakthrough Initiatives

Теми дослідницьких проєктів:

- Розрахунок динаміки розгону світлового вітрила для проєкту Breakthrough Starshot в умовах міжзоряного середовища.
- Оцінка впливу міжзоряного пилу на цілісність нанозондів при польоті до системи Альфа Центавра на релятивістських швидкостях.
- Моделювання процесу передачі даних з нанозонда Starshot назад на Землю з використанням лазерного зв'язку.
- Аналіз результатів Breakthrough Listen у пошуку радіосигналів від об'єкта 'Оумуамуа.
- Проєктування систем орієнтації мікроапаратів у глибокому космосі без використання палива.

Теми курсових робіт:

- Breakthrough Listen: найбільша в історії програма збору даних для SETI.
- Проєкт Breakthrough Message: розробка універсальної мови для спілкування з інопланетним розумом.
- Наукове обґрунтування та технічні виклики проєкту Breakthrough Watch (пошук планет біля найближчих зірок).
- Роль приватного фінансування та ініціативи Юрія Мільнера в активізації астробіологічних досліджень.
- Майбутнє міжзоряних перельотів: порівняння концепції Starshot з класичними ракетними двигунами.

#### 24. Гіпотеза унікальної Землі

Теми дослідницьких проєктів:

- Оцінка ролі Юпітера як «гравітаційного щита» та його вплив на частоту імпактних подій у зоні життя.
- Дослідження впливу стабільності нахилу земної осі (завдяки Місяцю) на формування стійких кліматичних біомів.
- Моделювання частоти виникнення планет з тектонікою плит як необхідної умови для довгострокового вуглецевого циклу.
- Аналіз металічності зірок у галактичній зоні життя та її зв'язок із формуванням планет земного типу.
- Експериментальна перевірка виживання складних багатоклітинних організмів в умовах, що імітують ранню атмосферу «Землі-сніжка».

Теми курсових робіт:

- Антропний принцип та гіпотеза унікальної Землі: філософський та науковий аспекти.
- Геодинамічні та астрономічні чинники, що забезпечили тривалість біологічної еволюції на Землі.
- Критичний аналіз факторів Пітера Ворда та Дональда Браунлі у контексті сучасних відкриттів екзопланет.
- Магнітосфера як екологічний фактор захисту біосфери від жорсткого космічного випромінювання.
- Значення периферичного розташування Сонячної системи в Галактиці для біологічної безпеки.

#### 25. Парадокс Фермі

Теми дослідницьких проєктів:

- Розрахунок часових рамок колонізації Галактики при використанні зондів фон Неймана на дорелятивістських швидкостях.
- Моделювання «гіпотези зоопарку»: математична ймовірність повної ізоляції спостережуваної ділянки космосу.
- Дослідження впливу гамма-спалахів на стерилізацію окремих секторів Галактики як вирішення парадоксу.
- Аналіз енергетичних потреб цивілізацій II та III типу за шкалою Кардашова та їх детектування за тепловим випромінюванням.

- Симуляція поширення техносигнатур в умовах обмеженого часу життя цивілізацій.

Теми курсових робіт:

- Класифікація основних розв'язань парадоксу Фермі: від соціологічних до астрофізичних гіпотез.
- Екологічні межі росту цивілізацій та їх вплив на можливість міжзоряної експансії.
- Парадокс Фермі в епоху «Великого фільтра»: на якому етапі перебуває людство?
- Порівняльний аналіз стратегій пошуку позаземного розуму (SETI) та причин їхньої нульової результативності.
- Вплив штучного інтелекту та сингулярності на видимість цивілізацій у всесвіті.

## 26. Парадокс Великого мовчання

Теми дослідницьких проєктів:

- Розробка моделі «Темного лісу» (за Лю Цісінем): аналіз виживаності цивілізацій при активній передачі сигналів.
- Оцінка ефективності прихованих техносигнатур (наприклад, нейтринний зв'язок), які неможливо детектувати сучасними засобами.
- Дослідження «гіпотези літньої сплячки» (Aestivation hypothesis) для цивілізацій, що працюють на межі обчислювальної потужності.
- Аналіз частотного діапазону «водневого вікна» (Water Hole) та обґрунтування його вибору для міжзоряної комунікації.
- Експериментальне вивчення розсіювання сигналів у міжзоряному середовищі як фактора природного «замовчування».

Теми курсових робіт:

- Інформаційна ентропія та проблема розпізнавання штучного сигналу на фоні космічного шуму.
- Гіпотеза «Першої крові»: чи може бути людство найпершою технологічною цивілізацією в Галактиці?
- Культурні та психологічні бар'єри у сприйнятті «Великого мовчання».
- Вплив розвитку віртуальних світів на втрату інтересу цивілізацій до зовнішньої експансії (гіпотеза внутрішнього розвитку).
- Технічні обмеження сучасної радіоастрономії у детектуванні сигналів рівня Землі на міжзоряних відстанях.

## 27. Рівняння Дрейка

Теми дослідницьких проєктів:

- Статистичне уточнення параметра  $f_p$  (частка зірок із планетами) на основі останніх даних місії Kepler та TESS.
- Оцінка коефіцієнта  $f_i$  (ймовірність виникнення розумного життя) через аналіз конвергентної еволюції на Землі.
- Моделювання параметра  $L$  (час життя цивілізації) з урахуванням екологічних та техногенних ризиків (глобальне потепління, ядерна зима).
- Обчислення ймовірної кількості цивілізацій у Чумацькому Шляху за допомогою методу Монте-Карло.
- Дослідження кореляції між типом зірки та тривалістю існування стабільної біосфери ( $n_e$ ).

Теми курсових робіт:

- Рівняння Дрейка як інструмент структурування нашого незнання: від астрономії до соціології.
- Модифікації рівняння Дрейка для пошуку мікробного життя та техносигнатур.
- Проблема оцінки біологічних параметрів рівняння ( $f_i$ ,  $f_e$ ,  $f_c$ ) за відсутності даних позаземного походження.
- Використання баєсівської статистики для аналізу невизначеностей у параметрах рівняння Дрейка.

- Рівняння Дрейка проти рівняння Зеагера: порівняльний аналіз підходів до пошуку життя на екзопланетах.

## 28. Проблема контакту та протоколи на Землі

Теми дослідницьких проєктів:

- Моделювання психологічної реакції різних соціальних груп на офіційне підтвердження детектування сигналу позаземного походження.

- Аналіз ефективності існуючих алгоритмів дешифрування невідомих сигналів на основі універсальних математичних констант.

- Розробка моделі інфодемічного поширення фейкових повідомлень про контакт у цифровому середовищі.

- Експериментальна оцінка лінгвістичних труднощів при створенні повідомлень для суб'єктів з принципово іншою біологією сенсорних систем.

- Дослідження ролі ООН та міжнародних правових інститутів у верифікації першого контакту на Землі.

Теми курсових робіт:

- Аналіз «Протоколу дій після виявлення позаземного інтелекту» (IAA) та його актуальність у XXI столітті.

- Проблема семантичного хаосу: як інтерпретувати повідомлення, що не мають спільного соціокультурного контексту.

- Історія та перспективи передачі сигналів METI (Messaging to Extraterrestrial Intelligence): ризики та переваги.

- Вплив першого контакту на світові релігії та філософські системи: сценарії трансформації.

- Медійна стратегія уряду у разі виявлення артефакту позаземного походження на території держави.

## 29. Протоколи контакту за межами Землі

Теми дослідницьких проєктів:

- Розробка автономного протоколу поведінки для штучного інтелекту міжпланетної місії у разі випадкової зустрічі з неземним об'єктом.

- Моделювання процедури дистанційного привітання з використанням лазерних імпульсів та візуальних патернів.

- Дослідження методів мінімізації біологічного забруднення (пряма та зворотна панспермія) під час фізичного контакту в космосі.

- Аналіз стабільності каналів зв'язку на міжзоряних відстанях при спробі встановлення діалогу в реальному часі.

- Проєктування мобільного «комунікаційного хаба» для автоматизованих зондів-дослідників.

Теми курсових робіт:

- Правовий статус астронавта як «посла людства» при безпосередньому контакті за межами навколоразомної орбіти.

- Порівняльний аналіз процедур першого контакту в науковій фантастиці та реальних рекомендаціях аерокосмічних агентств.

- Технічні аспекти передачі фізичних артефактів (на прикладі пластин «Піонера» та золотих дисків «Вояджера»).

- Роль ШІ як посередника у першому контакті: переваги швидкості обробки даних проти етичних ризиків.

- Протоколи безпеки при дослідженні океанів Європи та Енцелада: виявлення нерозумних біоформ.

## 30. Безпекові питання та етика першого контакту

Теми дослідницьких проєктів:

- Оцінка біологічної загрози (ксеновірусологія) при потраплянні неземних органічних сполук у закриту екосистему космічного корабля.

- Математичне моделювання сценарію «агресивного контакту» та стратегій пасивного захисту орбітальних поселень.

- Аналіз кібербезпеки: ризик впровадження шкідливого коду через отриманий складний радіосигнал.

- Дослідження етичних меж втручання в екосистеми планет, де виявлено життя на ранніх стадіях розвитку.

- Розробка критеріїв оцінки «рівня ворожості» позаземного суб'єкта на основі його енергоспоживання та маневрування.

Теми курсових робіт:

- Етичний імператив «не зашкодь»: застосування принципів біоетики до позаземних форм життя.

- Концепція планетарного карантину: правові та технічні механізми ізоляції Землі у разі загрози з космосу.

- Позаземний інтелект як суб'єкт права: чи поширюються «права людини» на нелюдський розум?

- Моральні дилеми «Великого фільтра»: чи маємо ми право знищувати потенційну загрозу до її прояву?

- Екологічна етика космічної експансії: боротьба за ресурси проти збереження недоторканості екзобіосфер.

### 31. Облаштування співіснування в космічному просторі

Теми дослідницьких проектів:

- Моделювання багатосторонньої економічної системи в космосі за участю автономних робототехнічних комплексів та людей.

- Розробка концепції «нейтральних територій» у Сонячній системі для спільного наукового використання.

- Дослідження методів створення стабільних культурних мостів через обмін науковими знаннями та мистецтвом у цифровому форматі.

- Аналіз можливості симбіозу земних та позаземних технологій у сфері енергетики (на основі гіпотетичних моделей).

- Проектування архітектури «дипломатичних станцій» для проведення переговорів у глибокому космосі.

Теми курсових робіт:

- Космічне право майбутнього: від «Договору про космос» 1967 року до міжзоряної конституції.

- Проблема розподілу астероїдних ресурсів: запобігання конфліктам у масштабах Сонячної системи.

- Екологічний менеджмент спільних космічних трас: боротьба зі сміттям та техногенним забрудненням вакууму.

- Соціальна інженерія довготривалих багатовидових поселень: психологічні та екологічні аспекти співіснування.

- Формування загальнопланетарної ідентичності людства як передумова для виходу на рівень міжзоряної цивілізації.

### 32. Колонізація космічного простору та її причини

Теми дослідницьких проектів:

- Оцінка ризиків виснаження земних ресурсів та моделювання термінів переходу до видобутку копалин на астероїдах.

- Дослідження демографічного тиску як стимулу для створення автономних орбітальних міст-бубликів (торів Стенфорда).

- Порівняльний аналіз стратегій колонізації: постійна база на Місяці проти автономного поселення на Марсі.

- Моделювання економічної доцільності експорту енергії з космічних сонячних електростанцій на Землю.

- Дослідження концепції «запасного плану» для людства: збереження генетичного біорізноманіття Землі в місячних сховищах.

Теми курсових робіт:

- Екологічні кризи на Землі як головний драйвер сучасної космічної експансії.
- Історія ідей колонізації космосу: від К. Ціолковського та Дж. О'Нілла до сучасних концепцій SpaceX.
- Філософські та етичні аспекти перетворення людства на мультипланетарний вид.
- Аналіз концепції «космічного громадянства» та правові основи заснування перших позаземних колоній.
- Геополітичне суперництво та міжнародна співпраця у питаннях заселення Сонячної системи.

33. Сучасний етап освоєння космічного простору

Теми дослідницьких проєктів:

- Моніторинг екологічного стану навколоземної орбіти та розробка методів активного видалення космічного сміття.
- Аналіз ефективності програми «Артеміда» (Artemis) у створенні сталої інфраструктури на південному полюсі Місяця.
- Дослідження ролі приватних космічних компаній у зниженні вартості виведення корисного навантаження на орбіту.
- Оцінка впливу запусків важких ракет-носіїв на стан озонового шару та верхніх шарів атмосфери Землі.
- Експериментальне моделювання використання 3D-друку з реголіту для будівництва перших житлових модулів.

Теми курсових робіт:

- Роль Міжнародної космічної станції як випробувального майданчика для технологій глибокого космосу.
- Економіка «Нового космосу» (NewSpace): зміна парадигми від державних замовлень до комерційних сервісів.
- Сучасний стан розробки систем замкненого циклу для довготривалого перебування людей на орбіті.
- Аналіз правового режиму використання ресурсів Місяця за угодами Artemis Accords.
- Перспективи використання ядерних теплових двигунів для скорочення часу міжпланетних перельотів.

34. Технологічні бар'єри на шляху колонізації

Теми дослідницьких проєктів:

- Розробка та тестування нових композитних матеріалів для захисту екіпажу від важких іонів космічного випромінювання.
- Дослідження впливу тривалої низької гравітації на фізіологію людини та методи створення штучної сили тяжіння.
- Моделювання систем екстреного життєзабезпечення при відмові критичних вузлів замкненої екосистеми.
- Аналіз проблем психологічної сумісності та ізоляції у малих групах під час багаторічних автономних місій.
- Дослідження методів стабілізації мікробіому поселення та запобігання поширенню патогенів у герметичних об'ємах.

Теми курсових робіт:

- Проблема космічної радіації: біологічні ефекти та інженерні рішення для захисту поселенців.
- Енергетичний бар'єр: порівняння ядерної, сонячної та хімічної енергії для підтримки життєдіяльності колоній.
- Труднощі створення 100% замкнених екосистем: чому експеримент «Біосфера-2» зазнав невдачі?

- Проблема затримки зв'язку при управлінні складними екосистемами на значних відстанях від Землі.
- Технологічні виклики видобутку та очищення води на Марсі та Місяці для потреб астроекології.

### 35. Тератрансформація: основи та концепції

Теми дослідницьких проєктів:

- Моделювання динаміки парникового ефекту при введенні штучних фторованих газів в атмосферу Марса.
- Оцінка потенціалу ціанобактерій-екстремофілів у зниженні концентрації перхлоратів у марсіанському реголіті.
- Дослідження швидкості акумуляції кисню в замкнених водно-біологічних системах під впливом інтенсивного УФ-випромінювання.
- Аналіз можливості створення локальних «парасолькових» магнітосфер для захисту трансформованих ділянок поверхні.
- Експериментальне випробування кріостійких лишайників як первинних агентів біогенної трансформації мінеральних субстратів.

Теми курсових робіт:

- Гіпотеза «Гайя» в контексті штучного керування планетарними екосистемами.
- Порівняльна характеристика методів розігріву полярних шапок Марса: орбітальні дзеркала проти альbedo-модифікації.
- Геохімічні бар'єри тератрансформації планет земної групи.
- Роль атмосферного тиску як лімітуючого фактора для стабільності рідкої води на трансформованих об'єктах.
- Етичні та філософські контраргументи щодо повної тератрансформації небесних тіл.

### 36. Експансійні стратегії популяцій та популяції едифікаторів

Теми дослідницьких проєктів:

- Математичне моделювання r- та K-стратегій виживання популяцій у первинних поселеннях на Місяці.
- Дослідження ролі мохів як популяцій-едифікаторів у формуванні первинних ґрунтоподібних субстратів у космічних оранжереях.
- Аналіз механізмів популяційної стійкості корисних комах-запилювачів в умовах обмеженого генетичного різноманіття.
- Оцінка швидкості експансії мікробних матів у штучних аквасистемах при зміні гравітаційного вектора.
- Розробка критеріїв відбору видів-конструкторів (едифікаторів) для створення стійких позаземних біоценозів.

Теми курсових робіт:

- Популяційна структура та генетичний дрейф у малих ізольованих екосистемах космічних апаратів.
- Концепція біологічної інженерії: використання видів-едифікаторів для стабілізації мікроклімату поселень.
- Адаптивний потенціал популяцій вищих рослин при переході до умов іншої планети.
- Стратегії управління чисельністю популяцій у замкнених циклах відтворення біомаси.
- Біонічні аспекти експансії: як природні стратегії поширення насіння надихають на дизайн космічних зондів.

### 37. Популяції інвазійних видів-трансформерів

Теми дослідницьких проєктів:

- Прогнозування наслідків випадкової інтродукції земної мікрофлори в екосистеми з наявним ксенобіологічним життям.
- Дослідження агресивності мікроскопічних грибів-деструкторів як інвазійних видів у закритих технічних системах.

- Експериментальне моделювання витіснення нативних мікробних спільнот штучно модифікованими штамми-трансформерами.

- Аналіз ризиків «біологічного вибуху» популяцій комах-шкідників у стерильних умовах космічних поселень.

- Розробка методів біологічного контролю інвазійних видів у замкнених екосистемах без використання хімічних пестицидів.

Теми курсових робіт:

- Проблема планетарного захисту: інвазійні види як загроза автентичності екзобіосфер.

- Механізми трансформації середовища інвазійними видами: від зміни хімічного складу ґрунту до модифікації атмосфери.

- Історія інвазій на Землі як модель для прогнозування екологічних катастроф у космосі.

- Правові та технічні регламенти запобігання міжпланетному перенесенню біологічних агентів.

- Критерії класифікації видів як «трансформерів» у контексті цілеспрямованої тератрансформації.

38. Алгоритми тератрансформації та рекультиваци

Теми дослідницьких проєктів:

- Розробка покрокового алгоритму рекультиваци територій після відкритого видобутку копалин на астероїдах.

- Моделювання послідовності введення біотичних компонентів (від прокариотів до ссавців) у процесі тератрансформації Марса.

- Оцінка часових масштабів самопідтримки біосфери після припинення штучного підживлення атмосфери.

- Дослідження ефективності сорбційних методів рекультиваци реголіту від важких металів та солей.

- Проєктування автоматизованих систем висадки біологічних десантів на поверхню планет-кандидатів.

Теми курсових робіт:

- Алгоритмізація процесів екологічного відновлення: від земних пустель до космічних об'єктів.

- Технологічні етапи створення гідросфери на планетах з дефіцитом летких сполук.

- Порівняльний аналіз стратегій «швидкої» (техногенної) та «повільної» (біогенної) тератрансформації.

- Роль штучного інтелекту в управлінні глобальними параметрами екосистем у ході рекультиваци.

- Економічне обґрунтування та енерговитрати різних етапів алгоритму тератрансформації.

39. Космічна експансія: теорія та практика

Теми дослідницьких проєктів:

- Аналіз динаміки розширення «техносфери» людства в межах Сонячної системи на основі темпів росту супутникових угруповань.

- Дослідження біологічних обмежень міжзоряної експансії: моделювання генетичної стабільності популяції в космічному ковчезі.

- Оцінка потенціалу використання ресурсів навколоземних астероїдів для створення орбітальної інфраструктури без вивезення маси з Землі.

- Моделювання автономності поселень на Марсі: розрахунок мінімально необхідного біорізноманіття для самовідтворення екосистеми.

- Розробка критеріїв придатності екзопланет для експансії з урахуванням енергетичних витрат на переліт.

Теми курсових робіт:

- Концепція «сфер Дайсона» та цивілізацій за Кардашовим: астроекологічний погляд на споживання енергії.
- Історичні аналогії земних великих географічних відкриттів у контексті сучасної космічної експансії.
- Роль штучного інтелекту та робототехніки як авангарду в освоєнні далекого космосу.
- Трансгуманізм та космічна експансія: біологічна модифікація людини для життя в умовах низької гравітації.
- Стратегії виживання людства: космос як засіб подолання «планетарної пастки».

#### 40. Етичні проблеми колонізації космічного простору

Теми дослідницьких проєктів:

- Розробка етичного кодексу поведінки з потенційними мікробними екосистемами на об'єктах Сонячної системи (Європа, Енцелад).
- Анкетоване дослідження суспільної думки щодо пріоритетності витрат на екологію Землі порівняно з колонізацією Марса.
- Моделювання конфліктних сценаріїв між приватними корпораціями та державними агенціями за право власності на космічні ресурси.
- Оцінка етичних ризиків «зворотної інвазії»: наслідки випадкового занесення неземних організмів у біосферу Землі.
- Дослідження концепції «екологічного імперіалізму» в космосі: чи маємо ми право змінювати ландшафти інших світів?

Теми курсових робіт:

- Антропоцентризм проти екоцентризму в астроекології: кому належить Всесвіт?
- Моральна відповідальність перед майбутніми поколіннями космічних колоністів: право на повернення та вибір.
- Юридичний та етичний статус штучних екосистем: чи мають вони внутрішню цінність?
- Проблема соціальної нерівності в доступі до космічної експансії: ризик формування «космічної еліти».
- Етика тераформування: знищення первісного середовища заради створення людської оселі.

#### 41. Космічна експансія – стратегічні задачі сьогодення

Теми дослідницьких проєктів:

- Розробка системи моніторингу та запобігання зіткненням з потенційно небезпечними астероїдами (планетарна оборона як екологічна задача).
- Техніко-економічне обґрунтування створення логістичного вузла «Земля – Місяць» (проєкт Gateway).
- Оцінка впливу супутникових сузір'їв (Starlink та ін.) на астрономічні спостереження та екологію навколосезонного простору.
- Дослідження методів біологічної регенерації повітря та води для тривалих пілотованих місій до Марса.
- Аналіз перспектив використання космічної сонячної енергетики для вирішення енергетичної кризи на Землі.

Теми курсових робіт:

- Міжнародна кооперація у космосі: від МКС до міжнародних місячних станцій.
- Стратегія перенесення шкідливого виробництва за межі Землі: шлях до екологічного відновлення планети.
- Космічна логістика: виклики створення регулярного транспортного сполучення між планетами.
- Роль України в сучасних стратегічних космічних проєктах та програмі «Артеміда».
- Підготовка кадрів для астроекології: нові професії в умовах космічної експансії.

## Проектно-конструкторські задачі

Проектно-конструкторські задачі – це особливий тип навчальних або професійних завдань, результатом яких є створення нового продукту, пристрою, системи або технічного рішення. На відміну від типових розрахункових задач, де є одна правильна відповідь, ПКЗ мають творчий, відкритий характер і потребують інтеграції знань із різних галузей. У астроекології, такі задачі спрямовані на розробку систем, що здатні підтримувати життя та екологічну стабільність у космосі або на інших планетах. Астроекологічні системи – це найскладніші об'єкти для проектування, оскільки вони поєднують крихкість живих організмів із жорсткістю космічних умов. Проектно-конструкторські задачі орієнтовані на інженерне мислення, розрахунки та створення прототипів систем. Ці завдання вимагають від студентів не лише теоретичних знань, а й інженерного підходу до створення захисних систем та моделювання біологічних процесів.

Проектно-конструкторські задачі мають кілька рис, які вирізняють їх з поміж інших видів завдань. Вони включають в себе такі компоненти.

1. Технічне завдання – чітко визначені умови (наприклад, «екіпаж із 3 осіб», «гравітація 0,38g», «тривалість 2 роки»).

2. Обмеження: ресурси (маса, енергія, фінанси), закони фізики, біологічні потреби організмів.

3. Пошук рішення: вибір матеріалів, розробка схем, розрахунок параметрів.

4. Результат: проектна документація, креслення, 3D-модель або прототип.

Для успішного розв'язання проектно-конструкторських задач із астроекології слід дотримуватися таких рекомендацій:

1. Пріоритет замкненості циклів (LSS)

У космосі ресурси обмежені. Ваше рішення має прагнути до 100% регенерації.

• Порада: Завжди шукайте, як відходи одного процесу зробити ресурсом для іншого. Наприклад, вуглекислий газ від дихання екіпажу – це «їжа» для оранжереї, а конденсат із кондиціонерів – джерело питної води після фільтрації.

2. Враховуйте принцип «вузького місця»

Будь-яка система життєзабезпечення настільки міцна, наскільки міцна її найслабша ланка.

• Порада: Визначте критичний ресурс. Якщо у вас надлишок кисню, але закінчується азот для буферного газу, система вийде з ладу. Проектуйте резервні ємності для найбільш дефіцитних елементів.

3. Модульність та масштабованість

Космічні проекти дорогі. Конструкція повинна мати можливість розширення.

• Порада: Розробляйте систему так, щоб її можна було доповнювати новими модулями без повної зупинки роботи. Використовуйте стандартні інтерфейси з'єднань.

4. Гнучкість та стресостійкість (Resilience)

Живі системи в космосі неминуче стикатимуться з флуктуаціями (зміни температури, радіаційні спалахи).

• Порада: Передбачте «буферні зони». Наприклад, збільшений об'єм повітря в оранжереї дасть екіпажу більше часу на ремонт системи вентиляції у разі поломки, перш ніж концентрація CO<sub>2</sub> стане небезпечною.

5. Розрахунок енергетичних витрат

Будь-яка екологічна дія в космосі потребує енергії (на освітлення, насоси, терморегуляцію).

• Порада: Завжди складайте енергетичний баланс. Перевірте, чи вистачить площі сонячних панелей для живлення вашого біореактора під час «місячної ночі» або пилової бурі на Марсі.

6. Автоматизація та «цифрові двійники»

Людина в космосі – це дорогий і обмежений ресурс. Вона не повинна витратити весь час на полив рослин вручну.

- Порада: Інтегруйте в проєкт датчики та системи штучного інтелекту. Опишіть алгоритм, за яким система сама регулюватиме подачу поживного розчину залежно від стану рослин.

#### 7. Використання місцевих ресурсів (ISRU)

Транспортування вантажів із Землі коштує мільйони доларів за кілограм.

- Порада: Якщо задача дозволяє, використовуйте реголіт (як ґрунт або захист від радіації) або полярний лід. Це значно підвищує «життєздатність» вашого конструкторського рішення.

Іншими словами слід дотримуватися певного алгоритму. Він включає в себе такі кроки: 1. Проаналізуйте умови 2. Побудуйте схему потоків речовини та енергії 3. Виберіть технічні засоби 4. Перевірте систему на критичні відмови 5. Оформіть креслення або схему.

Розглянемо декілька прикладів поширених типових проєктно-конструкторських задач до основних тем навчальної компоненти «Основи астроекології».

##### 1. Предмет і завдання астроекології

- Задача 1. Розробити концептуальну схему автоматизованої системи моніторингу екологічних параметрів (радіація, температура, склад реголіту) для автономного зонда на поверхні Марса.

- Задача 2. Спроекувати блок-схему взаємодії між біотичними та технічними компонентами в системі «людина – замкнена екосистема» для місячної бази.

- Задача 3. Розрахувати необхідні обсяги рециркуляції води та кисню для підтримки життєдіяльності екіпажу з 4 осіб протягом 500-денної місії.

- Задача 4. Сформулювати технічне завдання на створення «екологічного паспорта» космічного апарата, що включає оцінку ризиків біологічного забруднення інших планет.

- Задача 5. Розробити алгоритм дій для системи штучного інтелекту щодо стабілізації екосистеми при різкій зміні концентрації вуглекислого газу в гермомодулі.

##### 2. Місце астроекології в системі природничих наук

- Задача 1. Спроекувати міждисциплінарну модель прогнозування стану здоров'я астронавта, що об'єднує дані з радіобіології, астрофізики та психоекології.

- Задача 2. Розробити схему перенесення методів дистанційного зондування Землі для аналізу біосигнатур на екзопланетах земного типу.

- Задача 3. Створити модель енергетичного балансу екосистеми, що базується на законах термодинаміки та астрофізичних параметрах випромінювання зірки класу G.

- Задача 4. Конструкторське обґрунтування використання геологічних особливостей місячних лавових трубок для створення радіаційно-захищеного еко-житла.

- Задача 5. Розробити порівняльну таблицю та графічну схему методів дослідження, які астроекологія запозичує у геохімії та екзобіології для аналізу реголіту.

##### 3. Структура астроекології

- Задача 1. Розробити структурно-функціональну схему підрозділу «Космічна екологічна безпека» для управління польотами.

- Задача 2. Спроекувати макет бази даних для накопичення результатів експериментів у галузях екзоекології, екології космічних польотів та планетарної еконістики.

- Задача 3. Створити модель ієрархічної структури астроекологічних об'єктів: від мікроорганізму в біореакторі до глобальної техносфери навколоземного простору.

- Задача 4. Розробити проєкт експериментального модуля для вивчення впливу хронічного іонізуючого випромінювання на стабільність мікробних консорціумів.

- Задача 5. Схематично зобразити зв'язки між теоретичною астроекологією та прикладною інженерією замкнених циклів життєзабезпечення.

##### 4. Історія астроекології

- Задача 1. Реконструювати схему замкненої системи «БІОС-3» та запропонувати 5 інженерних рішень для її модернізації на основі сучасних технологій.

- Задача 2. Розробити проєкт віртуального музею астроекології, виділивши ключові етапи: від ідей К. Ціолковського до сучасних експериментів на МКС.

- Задача 3. На основі аналізу історичних даних проєкту «Біосфера-2» розрахувати помилки в балансі кисню та запропонувати конструкцію системи аварійної регенерації.
- Задача 4. Спроекувати інфографіку еволюції конструкцій космічних оранжерей: від перших радянських «Оазисів» до сучасних Veggie та Advanced Plant Habitat.
- Задача 5. Провести порівняльний інженерний аналіз систем життєзабезпечення кораблів «Аполлон» та «Starship» з точки зору екологічної автономності.

#### 5. Життя як космічне явище

- Задача 1. Спроекувати біореактор для вирощування ціанобактерій, що працює виключно на відфільтрованому сонячному світлі та місцевому реголіті (імітація умов Марса).
- Задача 2. Розробити модель «Землі в мініатюрі» (мікроекосистему) в герметичній капсулі для тестування гіпотези панспермії при тривалих перельотах.
- Задача 3. Розрахувати критичну масу біосфери, необхідну для підтримання стабільного хімічного складу атмосфери планети за умов відсутності тектоніки плит.
- Задача 4. Спроекувати датчик детектування низьких концентрацій складних органічних молекул (амінокислот) у кріовулканічних викидах супутників планет-гігантів.
- Задача 5. Розробити концепцію «біологічного вітрила» – мікросупутника, що використовує тиск світла для транспортування стійких спор у міжзоряному просторі.

#### 6. Всесвіт – динамічна ієрархічна система

- Задача 1. Створити програмний алгоритм, що моделює стійкість трофічної мережі космічного поселення при зміні гравітаційної ієрархії (наприклад, перехід від 1 g до 1/6 g).
- Задача 2. Розробити схему розподілу енергетичних потоків у багаторівневій системі «Зірка – Планета – Екосистема – Біосфера».
- Задача 3. Спроекувати багаторівневу систему захисту космічної бази, що враховує ієрархію загроз: від мікрометеоритів до спалахів на Сонці.
- Задача 4. Побудувати графічну модель термодинамічної нерівноваги живої системи в космосі порівняно з навколишнім вакуумом (ентропійний аналіз).
- Задача 5. Розробити концепцію «розумного» поселення, де кожен рівень (від кімнати до всього купола) має власну ієрархічну систему автономного контролю клімату.

#### 7. Стратегії виживання

- Задача 1. Спроекувати систему пасивного захисту (екранування) для популяції насіння, що забезпечить його виживання протягом 100 років перебування у відкритому космосі.
- Задача 2. Розробити конструкцію автоматичного інкубатора, що використовує стан анабіозу для транспортування ембріонів тварин між планетами.
- Задача 3. Створити модель «стратегії диверсифікації» для космічної ферми: розрахувати оптимальне співвідношення видів рослин для мінімізації ризику повної втрати врожаю.
- Задача 4. Спроекувати адаптивну систему освітлення для рослин, яка підлаштовується під непередбачувані флуктуації сонячної активності.
- Задача 5. Розробити прототип автономного робота-фермера, здатного ідентифікувати та ізолювати хворі рослини в замкненій оранжерей без втручання людини.

#### 8. Живі системи і їхні стратегії

- Задача 1. Спроекувати «цифровий двійник» живої системи (наприклад, колонії мікроводоростей) для прогнозування її реакції на втрату герметичності модуля.
- Задача 2. Розробити інженерне рішення для «екологічного метаболізму» космічного корабля, де продукти життєдіяльності людини є ресурсом для 3D-друку біополімерами.
- Задача 3. Спроекувати систему автономного живлення біосфери, що використовує різницю температур між освітленою та тіньовою сторонами космічного об'єкта.
- Задача 4. Розробити механічну модель «штучного листка» для інтеграції в обшивку космічної станції з метою додаткової регенерації кисню.
- Задача 5. Створити сценарій адаптації популяції комах-запилювачів до умов мікрогравітації, розробивши конструкцію спеціальних літальних камер.

#### 9. Закономірності взаємодії організмів із середовищем

- Задача 1. Спроекувати «розумний» кліматрон для вирощування салатних культур, який автоматично коригує інтенсивність мінерального живлення залежно від рівня іонізуючого випромінювання (закон лімітуючих факторів).
- Задача 2. Розробити конструкцію контейнера для транспортування лишайників на зовнішній обшивці космічного апарата з системою регульованих заслінок для пошуку порогу витривалості видів.
- Задача 3. Створити інженерну модель «екологічного демпфера» – системи, що здатна компенсувати різкі коливання температури в гермооб'ємі за допомогою фазового переходу речовин (наприклад, парафінів).
- Задача 4. Розрахувати та спроекувати оптимальну площу поверхні газообміну для мікробного консорціуму, що має переробляти фіксований об'єм CO<sub>2</sub> в умовах низького атмосферного тиску.
- Задача 5. Розробити алгоритм управління світловим режимом у космічній оранжереї, що базується на принципі екологічного оптимуму для забезпечення максимального виходу вітамінів у біомасі.

#### 10. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі

- Задача 1. Розробити прототип наземної станції моніторингу стану хвойних лісів, яка корелює дані про річні кільця з циклами сонячної активності (числа Вольфа).
- Задача 2. Спроекувати лабораторну установку «Штучна магнітосфера» для дослідження поведінки перелітних птахів або комах при послабленні геомагнітного поля (імітація інверсії полюсів).
- Задача 3. Створити модель захисного екрана для міських енергомереж, що автоматично розмикає ланцюги при виявленні критичних геомагнітно-індукованих струмів під час сонячних бур.
- Задача 4. Конструкторське рішення для «біологічного годинника» – системи датчиків, що відстежують зміну електричного потенціалу рослин як індикатора наближення жорсткого рентгенівського випромінювання від Сонця.
- Задача 5. Розробити проект автоматизованого аеростатного зонда для збору зразків мікроорганізмів у стратосфері з метою перевірки впливу космічних променів на мутагенез у верхніх шарах біосфери.

#### 11. Біоморфи як спосіб адаптації до умов середовища

- Задача 1. Спроекувати «біоморфний модуль» для вирощування рослин-подушок (кріофітів), що максимально використовує ефект самозатінення та акумуляції тепла в умовах екстремального холоду.
- Задача 2. Розробити концепцію штучної «екологічної пластичності» для гідропонної установки: зміна конфігурації лотків залежно від того, яку біоморфу (ліану, куцц чи траву) необхідно виростити.
- Задача 3. Створити інженерну імітацію структури сукулентів для обшивки житлових модулів, що дозволяє накопичувати технічну воду та одночасно слугувати термобар'єром.
- Задача 4. Розробити модель «робота-ефемера», життєвий цикл якого (активна фаза роботи) жорстко прив'язаний до появи рідкої води або світла на поверхні астероїда.
- Задача 5. Конструкторська розробка системи кріплень для епіфітних рослин у стані невагомості, що імітує їх природну здатність закріплюватися на вертикальних поверхнях без традиційного ґрунту.

#### 12. Енергетичні потоки через популяцію

- Задача 1. Побудувати апаратну модель «енергетичного лічильника» популяції мікроводоростей, що в реальному часі вираховує ККД використання фотонів для нарощування калорійності біомаси.
- Задача 2. Спроекувати дворівневу трофічну систему (продуценти – консументи), де втрати тепла від життєдіяльності тварин (комах) використовуються для підігріву зони росту рослин.

- Задача 3. Розрахувати параметри «енергетичного бюджету» для популяції риб у космічній аквапоніці, враховуючи витрати енергії на рух у тривимірному просторі за відсутності гравітації.

- Задача 4. Розробити проєкт біодизельної установки для переробки неїстівної частини фітомаси космічної оранжереї в паливо, замикаючи енергетичний потік всередині станції.

- Задача 5. Створити систему автоматичного перерозподілу енергії між декількома популяціями в закритій системі: при дефіциті світла енергія спрямовується лише на найбільш ефективні з точки зору калорійності види.

Ось перелік проєктно-конструкторських задач (ПКЗ) для наступних розділів програми. Ці завдання акцентують увагу на інженерному втіленні біологічних процесів та математичному прогнозуванні стабільності позаземних систем.

### 13. Енергетика екосистем. Потоки енергії в екосистемах

- Задача 1. Розробити конструкцію калориметричної камери для автоматичного вимірювання теплових втрат замкненої екосистеми «мікробіоценоз – субстрат» з точністю до 0,1%.

- Задача 2. Спроекувати систему концентраторів світла (дзеркал) для оранжереї на Марсі, що забезпечує компенсацію низької сонячної постійної (590 Вт/м<sup>2</sup>) до земного рівня.

- Задача 3. Створити інженерну схему каскадної утилізації енергії: від фотосинтезу вищих рослин до енергії розкладу органіки грибами-термофілами для підігріву технічних вузлів.

- Задача 4. Розрахувати та змодельовати систему «енергетичного депо» – накопичувача біомаси мікробіодоростей, що має виступати резервним джерелом живлення під час місячної ночі.

- Задача 5. Розробити прототип фотоелектричного фасаду для житлового модуля, який одночасно фільтрує спектр для оптимального фотосинтезу внутрішньої фітостіни.

### 14. Екосистема, як упаковка еконіш

- Задача 1. Розробити багатоярусну конструкцію «ніш-контейнерів» для космічної ферми, що дозволяє сумісне вирощування світлолюбних та тіньовитривалих культур при одному джерелі світла.

- Задача 2. Спроекувати мікрофлюїдний біореактор, у якому реалізовано просторове розділення екологічних ніш для різних видів бактерій-деструкторів.

- Задача 3. Створити алгоритм автоматичного заповнення «порожньої ніші» в закритій системі за допомогою активації сплячих культур (спор) при зміні хімічного складу середовища.

- Задача 4. Конструкторське рішення для «тривимірної упаковки» кореневих систем рослин-аеропоніків з метою мінімізації об'єму модуля при збереженні площі поглинання нутрієнтів.

- Задача 5. Розробити проєкт штучного рифу для аквапонічної системи космічної станції, що забезпечує мікроніші для розвитку корисних бактерій та фільтраторів води.

### 15. Динаміка екосистем: біоритми, сукцесія, флуктуації, еволюція

- Задача 1. Спроекувати систему динамічного освітлення («Штучне небо»), що імітує 24-годинний земний цикл для синхронізації циркадних ритмів рослин і екіпажу на астероїдах.

- Задача 2. Розробити модель керованої сукцесії: конструкція модульної оранжереї, де послідовно змінюються культури від піонерних (мохи) до фінальних (овочеві культури).

- Задача 3. Створити «стабілізатор флуктуацій» – автоматичну систему дозування CO<sub>2</sub>, яка гасить амплітуду коливань концентрації газів між фазами фотосинтезу та дихання.

- Задача 4. Розробити експериментальний стенд для прискореної селекції (мікроеволюції) стійких до радіації штамів хлорели шляхом циклічного опромінення.

- Задача 5. Спроекувати «банк відновлення» – захищене сховище насіння та культур, що автоматично ініціює перезапуск екосистеми після катастрофічного збою.

### 16. Моделювання динаміки екосистем

- Задача 1. Побудувати комп'ютерну модель (цифровий двійник) кругообігу азоту в закритій системі та розробити інтерфейс попередження про накопичення аміаку.

- Задача 2. Розробити алгоритм нейронної мережі, який на основі відеоаналізу листя прогнозує стрес рослин за 48 годин до видимих ознак збою системи.
- Задача 3. Спроекувати імітатор стохастичних подій (витік повітря, спалах на сонці) для тестування гнучкості систем управління життєзабезпеченням.
- Задача 4. Створити математичну модель «хижак-жертва» для біологічного захисту оранжереї від шкідників та визначити критичну кількість корисних комах для випуску.
- Задача 5. Розробити симулятор деградації сонячних панелей та її впливу на продуктивність фітоланки протягом 10-річної місії.

#### 17. Екосистеми штучних космічних об'єктів

- Задача 1. Розробити конструкцію герметичного шлюзу для передачі біомаси з оранжереї в кухонний блок, що мінімізує втрати вологи та кисню.
- Задача 2. Спроекувати систему збору та очищення конденсату зі стінок космічного корабля для його повторного використання в гідропоніці.
- Задача 3. Створити мобільний модуль «екологічного моніторингу», що пересувається вздовж вентиляційних каналів станції для виявлення осередків цвілі.
- Задача 4. Розробити проект біологічного фільтра повітря на основі вертикальних стін з мохами та папороттю для орбітальної станції.
- Задача 5. Конструкторська розробка туалету-мінералізатора, який за допомогою термофільного розщеплення перетворює відходи екіпажу на стерильне добриво.

#### 18. Моделювання динаміки та структури екзобіосфер

- Задача 1. Спроекувати лабораторну камеру «Екзо-Земля» для тестування земних мікроорганізмів у газових сумішах з переважанням метану та аміаку.
- Задача 2. Побудувати модель спектральної сигнатури («відбитку») гіпотетичної лісової екосистеми під світлом червоного карлика для налаштування космічних телескопів.
- Задача 3. Створити алгоритм розрахунку «жилої зони» навколо зірки з урахуванням ефекту саморегуляції планетарної хмарності (модель Daisyworld).
- Задача 4. Розробити проект автономного дрейфуючого зонда для атмосфери Венери, оснащеного датчиками пошуку мікробного життя в краплях сірчаної кислоти.
- Задача 5. Моделювання вертикальної структури екзобіосфери підповерхневого океану (наприклад, Європи) на основі потоків енергії від гравітаційного розігріву ядра.

#### 19. Історія пошуків позаземного життя

- Задача 1. Спроекувати репліку експерименту місії «Вікінг» (Labeled Release) з урахуванням сучасних знань про перхлорати в марсіанському ґрунті для виключення хибнопозитивних результатів.
- Задача 2. Розробити конструкторську схему «стерильної кімнати» для підготовки історичного апарата, що мав би досліджувати крижані шапки Марса без ризику занесення земних мікроорганізмів.
- Задача 3. Реконструювати інженерну модель «камери виживання» для тестування земних екстремофілів у барокамері, що імітує умови тиску та складу атмосфери, які припускалися для Марса на початку ХХ століття.
- Задача 4. Спроекувати концептуальний апарат для аналізу «марсіанських каналів», оснащений інструментами для відбору проб осадових порід на різних глибинах.
- Задача 5. Розробити графічну схему еволюції інструментів детектування органіки: від простих мас-спектрометрів перших зондів до сучасних лазерних деструкторів.

#### 20. Біосигнатури

- Задача 1. Розробити конструкцію космічного спектрополяриметра, здатного виявляти хіральну асиметрію (гомохіральність) у відбитому світлі від поверхні екзопланети.
- Задача 2. Спроекувати модель «атмосферного фільтра» для телескопа, який би фокусувався виключно на лініях поглинання комбінації газів  $O_2$  та  $CH_4$  (термодинамічна нерівновага).

- Задача 3. Створити інженерне рішення для детектування «червоного краю» (Red Edge) рослинності на поверхні планет, що обертаються навколо червоних карликів (зірок класу M).

- Задача 4. Розробити автономний підводний дрон для пошуку непрямих біосигнатур (наприклад, аномальних скупчень мінералів) у підповерхневих океанах Європи.

- Задача 5. Спроекувати систему штучного інтелекту для аналізу спектральних даних екзопланет, яка здатна відрізнити біогенний кисень від кисню, що утворився внаслідок фотолізу води.

#### 21. Програма SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence)

- Задача 1. Спроекувати широкопasmову радіоантену для «прослуховування» космічного простору в діапазоні «водневого вікна» (1420–1720 МГц) з мінімальним рівнем теплового шуму.

- Задача 2. Розробити алгоритм швидкого перетворення Фур'є для обробки терабайтів даних у реальному часі з метою пошуку вузькосmугових сигналів штучного походження.

- Задача 3. Створити конструкторську схему оптичного телескопа для пошуку техносигнатур (коротких лазерних імпульсів наносекундної тривалості).

- Задача 4. Спроекувати систему «підтвердження сигналу» – мережу з трьох віддалених радіотелескопів, що працюють синхронно для виключення земних завад.

- Задача 5. Розробити концепцію «маяка» – радіопередавача, що живиться від сонячної енергії та транслює стабільний математичний код (наприклад, числа Пі) у напрямку найближчих зоряних систем.

#### 22. Програма Breakthrough Initiatives

- Задача 1. Розробити прототип «світлового вітрила» (LightSail) з ультратонкого матеріалу, здатного витримати прискорення лазерним променем потужністю 100 ГВт (проект Starshot).

- Задача 2. Спроекувати нанозонд (StarChip) масою в кілька грамів, що містить камеру, систему навігації та джерело живлення на базі радіоізотопного генератора.

- Задача 3. Створити інженерну схему наземної лазерної решітки для фокусування променя на відстані до 1 млн км для розгону міжзоряного мікроапарата.

- Задача 4. Розробити модель системи зв'язку, що використовує лазерне вітрило як приймально-передавальну антену для надсилання даних назад на Землю з системи Альфа Центавра.

- Задача 5. Спроекувати систему захисту нанозонда від зіткнень з міжзоряним пилом при польоті на швидкості 20 від швидкості світла (наприклад, шляхом створення плазмового щита).

#### 23. Гіпотеза унікальної Землі

- Задача 1. Розробити комп'ютерну модель планетарної системи, що включає «планету-гігант» (аналог Юпітера), та розрахувати оптимальну масу і відстань, за яких вона ефективно захищатиме внутрішню планету від зіткнень з астероїдами.

- Задача 2. Спроекувати інженерну модель «місячного стабілізатора» – розрахувати параметри масивного супутника, необхідного для підтримання стабільного кута нахилу осі обертання екзопланети для запобігання хаотичним змінам клімату.

- Задача 3. Створити схему автоматизованої установки для моделювання циклу «вуглець-силікат» у герметичній камері, що імітує тектонічну активність (рух плит) та її роль у терморегуляції біосфери.

- Задача 4. Розробити концепцію «галактичного фільтра» – алгоритм, що оцінює безпеку розташування планетарної системи в Галактиці залежно від щільності зірок та частоти спалахів наднових у радіусі 50 світлових років.

- Задача 5. Проектування системи магнітного захисту для «суперземлі», що не має власного ядра, яке обертається, за допомогою штучних орбітальних соленоїдів.

#### 24. Парадокс Фермі

- Задача 1. Спроекувати симуляцію «хвилі колонізації» Галактики за допомогою автономних зондів фон Неймана, визначивши час, за який цивілізація досягне кожної зоряної системи при швидкості польоту  $0,01c$ .
- Задача 2. Розробити архітектуру «невидимої цивілізації» – технічне обґрунтування методів приховування теплового випромінювання та радіосигналів планети (наприклад, за допомогою охолоджувальних екранів).
- Задача 3. Створити конструкторську схему «космічного детектора інженерної діяльності» – пристрою для пошуку аномальних інфрачервоних витоків енергії, що можуть свідчити про наявність великих астроінженерних споруд.
- Задача 4. Розробити математичну модель «Великого фільтра», що базується на аналізі ризиків самознищення цивілізації (ядерна війна, ШІ, пандемія) та розраховує ймовірність переходу на міжзоряний рівень.
- Задача 5. Спроекувати концептуальний апарат для дослідження астероїдів Сонячної системи на предмет наявності стародавніх автоматичних станцій (артефактів) інших цивілізацій.

#### 25. Парадокс Великого мовчання

- Задача 1. Розробити прототип системи зв'язку на базі нейтринного випромінювання або гравітаційних хвиль, що дозволило б пояснити відсутність сигналів у звичному радіодіапазоні.
- Задача 2. Спроекувати алгоритм «радіозатемнення» – систему маскування техносигнатур Землі для захисту від потенційно агресивних цивілізацій (реалізація теорії «Темного лісу»).
- Задача 3. Створити модель «інформаційного стиснення» сигналу – розробити метод передачі даних, який неможливо відрізнити від природного фонового шуму зірки без знання ключа дешифрування.
- Задача 4. Розробити інженерне обґрунтування «гіпотези літньої сплячки» – розрахувати умови, за яких високорозвинена цивілізація вимикає енергоспоживання до епохи охолодження Всесвіту для підвищення ефективності обчислень.
- Задача 5. Спроекувати мережу «мовчазних ретрансляторів», що використовують гравітаційне лінзування Сонця для фокусування слабких сигналів із далеких секторів Галактики.

#### 26. Рівняння Дрейка

- Задача 1. Розробити інтерактивний калькулятор рівняння Дрейка з модулем баєсівської статистики для динамічного оновлення ймовірностей на основі даних місії Kepler та James Webb.
- Задача 2. Спроекувати експериментальну установку для уточнення параметра  $f_i$  (ймовірність виникнення життя) шляхом автоматизованого проведення тисяч хімічних реакцій «первинного бульйону» в різних умовах.
- Задача 3. Створити модель оцінки параметра  $L$  (тривалість життя цивілізації) на основі аналізу ресурсного виснаження та розробити технічні рішення для продовження цього терміну (циклічна економіка).
- Задача 4. Розробити алгоритм визначення параметра  $n_e$  (кількість придатних для життя планет) за допомогою аналізу спектральних даних зірок на наявність води та стабільної температури.
- Задача 5. Спроекувати систему «зворотного рівняння Дрейка» – оцінити видимість нашої цивілізації для зовнішнього спостерігача залежно від потужності наших радіопередавачів та часу їх роботи.

#### 27. Проблема контакту та протоколи на Землі

- Задача 1. Спроекувати архітектуру автономної системи «Global Notification», яка забезпечує миттєве та верифіковане оповіщення всіх урядів та наукових центрів у разі виявлення сигналу позаземного походження.
- Задача 2. Розробити конструкцію герметичної лабораторії 4-го рівня біобезпеки (BSL-4), адаптованої для прийому та аналізу фізичних артефактів невідомого походження, знайдених на Землі.

- Задача 3. Створити алгоритм «Лінгвістичного сита» – програмний комплекс для автоматичного пошуку логічних закономірностей у вхідному сигналі та перевірки його на наявність математичних констант.

- Задача 4. Спроекувати мобільний комплекс «Contact Zero» для швидкого розгортання зони карантину навколо місця падіння об'єкта позаземного походження.

- Задача 5. Розробити технічне завдання на створення «Цифрової капсули людства» – архіву знань про Землю, який буде автоматично транслюватися у відповідь після підтвердження контакту.

#### 28. Протоколи контакту за межами Землі

- Задача 1. Спроекувати «Дипломатичний модуль» для міжнародної станції на Місяці, обладнаний системами візуалізації для трансляції універсальних піктограм і символів у відкритий космос.

- Задача 2. Розробити автономний протокол для бортового комп'ютера міжпланетної місії, який автоматично вимикає активні випромінювачі корабля при виявленні невідомого об'єкта (режим пасивного спостереження).

- Задача 3. Створити інженерну схему «Буферного шлюзу» для обміну матеріальними об'єктами в умовах вакууму, що включає багаторівневу дезінфекцію та сканування структури предмета.

- Задача 4. Спроекувати систему «Маяка ідентифікації» для автоматичних зондів, яка транслює інформацію про мирні наміри місії за допомогою лазерних імпульсів.

- Задача 5. Розробити конструкцію робота-парламентаря, здатного функціонувати в широкому діапазоні температур і тисків для фізичної передачі повідомлень на поверхні іншої планети.

#### 29. Безпекові питання та етика першого контакту

- Задача 1. Розробити систему «Cyber Shield» для ізоляції інформаційних мереж космічного корабля від зовнішніх вхідних сигналів з метою запобігання впровадженню невідомого програмного коду.

- Задача 2. Спроекувати «Екологічний монітор» для зондів-дослідників, який блокує посадку апарата, якщо датчики фіксують наявність органічних сполук, що свідчать про наявність місцевої біосфери (етика невтручання).

- Задача 3. Створити модель «Системи аварійного знищення» (Self-destruct) для космічних апаратів, що повертаються до Землі, на випадок виявлення неконтрольованої ксенобіологічної інвазії на борту.

- Задача 4. Розробити конструкторське рішення для дистанційного аналізатора «намірів» – комплексу датчиків, що відстежують енергетичну активність і озброєння невідомого об'єкта без вступу в прямий контакт.

- Задача 5. Спроекувати «Етичний запобіжник» для систем штучного інтелекту, який виключає можливість агресивних дій проти позаземних суб'єктів без прямого наказу людини.

#### 30. Облаштування співіснування в космічному просторі

- Задача 1. Розробити проєкт «Нейтральної зони» – орбітальної платформи для переговорів, оснащеної незалежними системами життєзабезпечення для двох різних типів біологічних видів.

- Задача 2. Спроекувати «Універсальний перекладач енергетичних сигналів» – пристрій для перетворення радіо-, світлових або звукових повідомлень у форму, доступну для сприйняття людиною.

- Задача 3. Створити схему «Космічної магістралі» – системи навігаційних маркерів для безпечного руху апаратів різних цивілізацій у межах Сонячної системи.

- Задача 4. Розробити концепцію «Екологічного паритету» – технічні регламенти щодо спільного видобутку ресурсів на астероїдах, які виключають забруднення навколишнього середовища.

- Задача 5. Спроекувати систему «Космічного рятування» – універсальні доки та адаптери, що дозволяють здійснювати евакуацію екіпажів або ремонт апаратів невідомих конструкцій.

### 31. Колонізація космічного простору та її причини

- Задача 1. Розробити концептуальний проєкт автономного поселення-сховища («Космічний ковчег») на Місяці для зберігання насіння та генетичного матеріалу земних видів на випадок глобальної катастрофи.

- Задача 2. Спроекувати мобільну систему для промислового видобутку та очищення водяного льоду в кратерах вічної тіні на полюсах Місяця (ISRU).

- Задача 3. Створити інженерну схему «Екологічного купола» для Марса, що використовує місцевий реголіт як основний будівельний матеріал для захисту від метеоритів та радіації.

- Задача 4. Розрахувати та спроекувати систему орбітальних дзеркал для освітлення та обігріву арктичних зон Марса з метою створення придатних для життя мікрокліматичних оаз.

- Задача 5. Розробити модель логістичного ланцюга «Земля – Місяць – Марс», що включає розрахунок необхідної кількості палива, виробленого з місцевих ресурсів на кожному етапі.

### 32. Сучасний етап освоєння космічного простору

- Задача 1. Спроекувати систему «Space Sweeper» – автоматизований супутник для збору та безпечної утилізації дрібних фрагментів космічного сміття на низьких навколосеземних орбітах.

- Задача 2. Розробити конструкцію багаторазового вантажного модуля для доставки свіжих біологічних зразків з МКС на Землю з мінімальним температурним і динамічним впливом.

- Задача 3. Створити проєкт «Орбітального сервісного центру» для дозаправки та ремонту діючих супутників, що дозволить подовжити термін їх експлуатації та зменшити забруднення орбіти.

- Задача 4. Спроекувати систему автономного енергопостачання для місячного ровера, що базується на комбінації сонячних панелей та водневих паливних елементів.

- Задача 5. Розробити прототип «розумного» скафандра для робіт на поверхні астероїдів, оснащеного системою магнітних або механічних кріплень для компенсації відсутності гравітації.

### 33. Технологічні бар'єри на шляху колонізації

- Задача 1. Спроекувати активний електромагнітний щит для міжпланетного корабля, здатний відхиляти потоки високоенергетичних частинок сонячного вітру.

- Задача 2. Розробити інженерне рішення для «Гравітаційної каруселі» – житлового відсіку корабля, що обертається, забезпечуючи екіпажу штучну силу тяжіння на рівні 0,38g або 1g.

- Задача 3. Створити модель системи «Deep Space Communication», яка забезпечує стабільну передачу відеоданих високої чіткості з Марса на Землю при затримці сигналу до 20 хвилин.

- Задача 4. Розробити конструкцію регенеративної системи життєзабезпечення (LSS) з ККД відновлення кисню та води понад 98% для місій тривалістю понад 1000 діб.

- Задача 5. Спроекувати систему «Біо-захисту» для вхідних люків колонії, що автоматично стерилізує обладнання та скафандри після виходу на поверхню для запобігання потраплянню токсичного пилу всередину.

### 34. Енергетичні виклики колонізації

- Задача 1. Розробити проєкт компактного ядерного реактора (Kilopower) для живлення місячної бази під час тривалої (14-добової) ночі.

- Задача 2. Спроекувати систему «Wireless Power Transmission» – передачу енергії лазерним променем з орбітальної станції на поверхню планети для живлення віддалених наукових приладів.

- Задача 3. Створити інженерну модель «Сонячної вежі» на полюсі Місяця, що постійно перебуває в зоні освітлення та акумулює енергію для всієї колонії.

- Задача 4. Розрахувати та спроектувати установку для переробки вуглекислого газу марсіанської атмосфери в метанове паливо (реакція Сабатьє).
- Задача 5. Розробити конструкцію гнучких фотоелектричних плівок, стійких до абразивного впливу космічного пилу та різких перепадів температур.

### 31. Тератрансформація: Глобальне моделювання

- Задача 1. Розробити проєкт орбітального дзеркала (фокальної лінзи) діаметром 10 км для спрямованого нагріву південної полярної шапки Марса з метою сублімації твердого вуглекислого газу.
- Задача 2. Спроектувати систему автоматизованих заводів із виробництва парникових газів (СФ6 або ПФУ) безпосередньо з марсіанського реголіту для підвищення температури атмосфери.
- Задача 3. Створити інженерну схему «Магнітного диполя» в точці Лагранжа L1 системи Сонце-Марс для захисту штучно створеної атмосфери від здування сонячним вітром.
- Задача 4. Розрахувати параметри системи «Астероїдного буксира» для спрямованого скидання невеликих аміачних астероїдів у верхні шари атмосфери планети з метою її зволоження та насичення азотом.
- Задача 5. Розробити алгоритм управління глобальним альбедо планети через розпилення темного вуглецевого пилу на льодовикових плато для прискорення танення та прогріву.

### 32. Експансійні стратегії популяцій та едифікатори

- Задача 1. Спроектувати «Біо-бомбу» – автономний капсульний апарат для масового висівання спор лишайників та ціанобактерій у кратерах, де вологість вища за середню.
- Задача 2. Розробити інженерне рішення для мобільних ферм-інкубаторів, що автоматично переміщуються по поверхні за сонячним світлом, розмножуючи популяції рослин-едифікаторів.
- Задача 3. Створити модель «Синтетичного едифікатора» – генно-модифікованої культури, здатної виділяти органічні кислоти для прискореного розкладання перхлоратів у реголіті.
- Задача 4. Спроектувати систему вертикальних фіто-стін для перших купольних поселень, що виконують роль біологічного каркаса та формують мікроклімат (гумусоутворення) для наступних ланок.
- Задача 5. Розробити технічне завдання на створення робота-садівника, який висаджує популяції мохів у тріщини гірських порід для ініціації процесів біогенного вивітрювання.

### 33. Популяції інвазійних видів-трансформерів

- Задача 1. Розробити систему моніторингу та стримування штучно введених інвазійних видів, що включає генетичний «вимикач» (kill-switch) при виході популяції за межі цільового сектора.
- Задача 2. Спроектувати бар'єрну зону («санітарний кордон») навколо наукових баз, що використовує ультрафіолетове випромінювання для запобігання інвазії тератрансформаційних штамів всередину житлових модулів.
- Задача 3. Створити модель взаємодії між нативними (якщо вони існують) та інвазійними земними видами з метою розробки алгоритму безпечної інтродукції.
- Задача 4. Розробити конструкцію автоматичного селектора, який відбирає найбільш агресивні мутанти інвазійних видів для прискорення процесів трансформації атмосфери.
- Задача 5. Спроектувати систему «біологічного заміщення», де одна хвиля інвазійних видів-трансформерів автоматично готує ґрунт і гине, поступаючись місцем продуктивнішим культурам.

### 34. Тератрансформація та рекультивация реголіту

- Задача 1. Розробити установку для електрохімічної рекультивации марсіанського ґрунту, що видаляє солі хлорної кислоти та збагачує субстрат зв'язаним азотом.

- Задача 2. Спроекувати «Біо-реактор рекультивації», який використовує стічні води колонії для розмноження дощових черв'яків та ґрунтових бактерій з метою створення первинного чорнозему.

- Задача 3. Створити інженерну схему замкненого циклу рекультивації виснажених астероїдних шахт для перетворення їх на підземні теплиці.

- Задача 4. Розробити мобільний комплекс для гідропосіву суміші гідрогелю, мінеральних добрив та насіння-піонерів на крутих схилах тератрансформованих каньйонів.

- Задача 5. Спроекувати систему термохімічної обробки реголіту для видалення важких металів перед використанням його у біологічному циклі відкритого ґрунту.

### 35. Алгоритми тератрансформації

- Задача 1. Розробити блок-схему (алгоритм) фазового переходу планети: від анаеробної бактеріальної стадії до появи перших судинних рослин, із зазначенням тривалості кожного етапу.

- Задача 2. Спроекувати систему управління зворотним зв'язком (Feedback Loop Controller), яка коригує інтенсивність викиду парникових газів залежно від швидкості танення льодовиків.

- Задача 3. Створити технічне обґрунтування черговості тератрансформаційних заходів: що є пріоритетнішим – підвищення тиску чи зміна хімічного складу атмосфери?

- Задача 4. Розробити алгоритм аварійної зупинки процесів тератрансформації у разі непередбачуваних кліматичних ефектів (наприклад, неконтрольованого перегріву).

- Задача 5. Спроекувати систему «Цифрового планетарного двійника» для розрахунку впливу кожної окремої конструкторської задачі на загальну еволюцію біосфери протягом 1000 років.

### 36. Космічна експансія: Масштабування та логістика

- Задача 1. Спроекувати концепцію «Космічного ліфта» для Місяця (з використанням сучасних матеріалів типу кевлару або вуглецевих нанотрубок) для безпального виведення ресурсів на орбіту.

- Задача 2. Розробити інженерну схему автономного залізничного транспорту на магнітній подушці для з'єднання віддалених модулів місячної бази, захищеного від абразивного реголіту.

- Задача 3. Створити проєкт орбітальної верфі «Zero-G Construction» для збирання міжпланетних кораблів із модулів, виготовлених безпосередньо в космосі методом 3D-друку з металів астероїдного походження.

- Задача 4. Розробити конструкцію «міжпланетного паливного танкера», що використовує сонячне вітрило як допоміжний рушій для транспортування води/палива між Марсом та Землею.

- Задача 5. Спроекувати систему автоматизованих складів-роботів для тривалого зберігання криогенного палива на орбіті з нульовим рівнем випаровування (Zero Boil-Off).

### 37. Етичні проблеми колонізації космічного простору

- Задача 1. Розробити технічне рішення для «Планетарного карантину»: систему шлюзів та автоматичного біосканування, що унеможливило вивіз земних мікроорганізмів у «особливі зони» Марса (де ймовірно існування місцевого життя).

- Задача 2. Спроекувати «Цифрову конституцію колонії» – блокчейн-систему для прозорого розподілу дефіцитних ресурсів (кисню, води, енергії) між поселенцями, що виключає монополізацію життєзабезпечення.

- Задача 3. Створити інженерний проєкт «Археологічного купола» – захисної споруди над місцями історичних посадок (наприклад, «Аполлон-11» або «Луноход-1»), щоб запобігти їх пошкодженню під час комерційного освоєння Місяця.

- Задача 4. Розробити протокол та апаратні засоби «Мінімального втручання» для зондів, що досліджують підлідні океани Європи, аби уникнути теплового або хімічного забруднення екосистеми.

- Задача 5. Спроекувати систему «Права на повернення» – логістичний резерв палива та місць на кораблях, що гарантує кожному колоністу можливість евакуації на Землю за етичними або медичними показниками.

### 38. Космічна експансія – стратегічні задачі сьогодення

- Задача 1. Розробити проєкт «Місячного дата-центру» – захищеного сховища всієї цифрової інформації людства (архіву Інтернету, наукових знань) у лавових трубках Місяця як «планетарної бекап-копії».

- Задача 2. Спроекувати наземний випробувальний стенд «Біосфера-3» для довготривалої (понад 500 діб) ізоляції екіпажу з 10 осіб з повною регенерацією повітря та води для відпрацювання технологій марсіанського поселення.

- Задача 3. Розробити конструкцію універсального стикувального адаптера, який став би міжнародним стандартом для приватних та державних вантажних кораблів, забезпечуючи глобальну сумісність інфраструктури.

- Задача 4. Створити інженерну модель «Протиастероїдного щита» – системи малих супутників-імпакторів, що перебувають у постійній готовності до зміни траєкторії небезпечних навколоземних об'єктів (NEO).

- Задача 5. Розробити техніко-економічне обґрунтування та схему розгортання «Енергетичного кільця» – мережі сонячних електростанцій на орбіті, що передають енергію на Землю за допомогою мікрохвильового випромінювання.

## Науково-дослідна робота

Науково-дослідна робота (НДР) у галузі астроекології – це інтегрований процес вивчення взаємодії живих систем із екстремальними факторами космічного середовища, а також розробка принципів функціонування штучних та перетворених екосистем на позаземних об'єктах. На сьогодні астроекологія переходить із розряду теоретичних дисциплін у площину прикладної інженерії та біотехнології, що робить її надзвичайно перспективною для молодих дослідників.

Науково-дослідна робота в цій сфері зосереджена на керованих екосистемах. Якщо класична екологія вивчає те, як природа працює сама по собі, то астроекологія вивчає, як ми можемо змусити «природу» працювати в консервній банці космічного корабля або під куполом марсіанської бази.

Основними напрямками сучасної НДР в астроекології:

- Біорегенеративні системи життєзабезпечення (LSS): створення замкнених циклів речовин (вода, кисень, їжа).
- Космічна радіобіологія: вивчення впливу іонізуючого випромінювання на стабільність популяцій.
- Планетарна меліорація та тератрансформація: підготовка інопланетного ґрунту (реголіту) до вирощування земних рослин.
- Етологія в космосі: поведінка тварин та соціальна динаміка ізольованих груп людей.

### 2. Відмінності від екології та астробіології

Для чіткого розуміння НДР важливо провести демаркаційні лінії між цими суміжними дисциплінами.

Таблиця 6. Порівняння класичної екології, астробіології та астроекології

Характеристика	Класична екологія	Астробіологія	Астроекологія
Об'єкт	Природна біосфера Землі.	Походження життя та пошук інопланетних організмів.	Штучні екосистеми та життєзабезпечення людини в космосі.
Середовище	Стандартні земні умови (1g, магнітне поле, атмосфера).	Гіпотетичні середовища (екзопланети, підлідні океани).	Екстремальні умови (мікрогравітація, вакуум, реголіт).
Мета	Збереження природного балансу.	Відповідь на питання "Чи ми одні?".	Експансія життя за межі Землі.
Методологія	Спостереження та моніторинг.	Спектроскопія, моделювання абіогенезу.	Конструкторські задачі, синтетична біологія, герметичні експерименти.

Астробіологія шукає життя, яке вже існує або могло існувати. Астроекологія проектує умови для життя, яке ми принесемо з собою.

Студентська наука в галузі астроекології не обов'язково потребує мільярдних бюджетів NASA. Більшість досліджень на початковому етапі – це моделювання та мікробіологічні експерименти. Студенти можуть займатися математичним моделюванням замкнених систем. Наприклад, розрахувати, скільки квадратних метрів певної водорості (*Chlorella*) потрібно для повного забезпечення киснем однієї людини, враховуючи її фізичну активність. Вивчення стресостійкості рослин або мікроорганізмів до факторів-аналогів космічних умов:

- Вирощування культур у субстратах, що імітують марсіанський або місячний реголіт (із додаванням перхлоратів).
- Вплив постійного магнітного поля або його відсутності (гіпомагнітні умови) на швидкість проростання насіння.

Якщо ви вивчаєте «Основи астроєкології» і хочете вийти за межі підручника, скористайтеся цим алгоритмом:

Крок 1: Вибір вузької ніші (Focusing)

Не намагайтеся спроектувати «місто на Марсі». Оберіть одну ланку.

- Приклад: «Динаміка накопичення нітратів у редисці при вирощуванні на імітаторі реголіту».

Крок 2: Організація «настільної» лабораторії

Багато експериментів можна провести вдома або в кабінеті біології:

1. Герметичність: Використовуйте скляні ексикатори або навіть великі банки з герметичними кришками для створення замкненого об'єму повітря.

2. Субстрат: Імітатор реголіту можна виготовити на основі базальтового піску або вулканічного попелу (це найближчі аналоги за хімічним складом).

3. Освітлення: Використовуйте фітолампи з регульованим спектром (синій/червоний), щоб дослідити, як спектральний склад впливає на біомасу в умовах відсутності сонячного світла.

Крок 3: Робота з даними (In silico)

Використовуйте відкриті дані NASA та ESA. Наприклад, дані про хімічний склад ґрунту Gale Crater на Марсі доступні онлайн. Ваше дослідження може полягати в теоретичному розрахунку необхідної кількості добрив для нейтралізації токсичних солей у цьому ґрунті.

Крок 4: Використання методів системного аналізу

Астроєкологія – це про зв'язки. Складіть схему потоків енергії та речовини (діаграма Санкея) для вашої модельної системи.

- Питання: Куди дівається кожен грам азоту в моєму експерименті? Як він повернеться в цикл?

Крок 5: Оформлення результатів через «Engineering Approach»

У астроєкології цінується не лише опис «що виросло», а й технічні висновки:

- Які обмеження системи виявлено?
- Яка енергоємність процесу (кВт/год на 1 кг кисню)?
- Яка надійність (MTBF – середній час між відмовами) вашого обладнання?

5. Етичний та філософський аспект НДР

Самостійна робота студента має враховувати принципи планетарного захисту.

Важливо: Якщо ви моделюєте інвазію земних видів на Марс, ви повинні розглянути ризик знищення можливих місцевих форм життя. Етична експертиза – невід'ємна частина сучасної астроєкологічної НДР.

Підсумок: Чому це важливо зараз?

Ми живемо в епоху «Space 2.0». Комерціалізація космосу (SpaceX, Blue Origin) створює попит на фахівців, які розуміють біологію не в комфортних умовах Землі, а в жорстких межах космічного апарата.

Організація самостійного дослідження з астроєкології – це ваш квиток у майбутнє, де еколог буде не лише захисником лісів, а й архітектором нових світів. Почніть із малого: замкнена екосистема у звичайній банці на вашому підвіконні – це вже перша модель міжзоряного корабля.

Порада на завершення: Для глибшого занурення зверніться до концепції «MELiSSA» (Micro-Ecological Life Support System Alternative) – це флагманський проєкт Європейського космічного агентства, який є ідеальним зразком для наслідування при плануванні вашої науково-дослідної роботи.

## Підготовка презентацій та виступів

Підготовка доповідей та презентацій у такій міждисциплінарній та футуристичній галузі, як основи астроекології, вимагає від дослідника особливого поєднання наукової строгості, системного мислення та візуальної переконливості. Оскільки об'єктом вивчення є не просто окремі організми, а складні штучні екосистеми в екстремальних умовах, структура вашого виступу має відображати логіку взаємозв'язків між біологічними, технічними та космічними факторами. Першим і найважливішим кроком є чітке формулювання межі дослідження: чи розглядаєте ви замкнену систему життєзабезпечення на орбітальній станції, чи процеси тератрансформації на поверхні іншої планети. Це визначає термінологічний апарат та систему фізичних обмежень, які ви будете використовувати як базис для своїх аргументів.

Робота над змістом доповіді повинна починатися з глибокого аналізу енергетичних та речовинних потоків. В астроекології будь-яка біологічна теза має бути підкріплена інженерним розрахунком. Якщо ви говорите про продуктивність фотосинтезу, ви повинні вказати джерела світла, їхній спектральний склад та енерговитрати. Якщо мова йде про рекультивацию реголіту, необхідно згадати його хімічний склад та методи нейтралізації токсичних сполук, як-от перхлорати. Рекомендується будувати доповідь за принципом «від загального до конкретного»: почніть із опису космічних умов обраної локації (гравітація, радіаційний фон, атмосфера), перейдіть до опису структури проєктованої екосистеми (продуценти, консументи, деструктори) і завершіть прогнозом стабільності цієї системи у часі.

Особливу увагу слід приділити системності. Астроекологія не терпить ізольованих фактів. Кожен елемент вашої презентації має бути частиною циклу. Наприклад, висвітлюючи роль мікроводоростей, обов'язково покажіть їхній зв'язок із системою регенерації води та утилізацією вуглекислого газу, що видихається екіпажем. Використання блок-схем та діаграм потоків речовини є критично важливим для розуміння замкненості циклу, що є головним показником якості астроекологічного проєкту. При цьому уникайте надмірного захоплення фантастикою; ваші рекомендації мають базуватися на існуючих законах термодинаміки та перевірених біологічних константах, посилаючись на результати реальних наземних експериментів, таких як BIOS-3, MELiSSA або Mars500.

Візуалізація презентації має допомагати аудиторії осягнути масштаби та складність об'єкта. Замість переважаних текстом слайдів використовуйте інфографіку, що демонструє баланс речовин. Використовуйте якісні зображення конструкцій космічних модулів, схем гідропонних установок та графіки порівняльної стійкості різних біоморф до іонізуючого випромінювання. Кожен слайд повинен містити одну ключову ідею. Наприклад, якщо слайд присвячений радіопротекторним властивостям певних видів грибів, він не повинен відволікати увагу на питання гравітації. Кольорова гама має бути стриманою, але функціональною: наприклад, використовуйте різні кольори для позначення потоків кисню, води та біомаси, щоб глядач міг миттєво зчитати структуру вашої моделі.

Процес самого представлення доповіді вимагає від спікера впевненого володіння термінологією на перетині наук. Ви повинні бути готові пояснити як біологічні аспекти (наприклад, метаболізм ціанобактерій), так і технічні (принципи роботи реактора Сабатьє). Рекомендується використовувати метод сценаріїв: опишіть, як ваша система реагуватиме на критичні збої, такі як розгерметизація або спалах на Сонці. Це продемонструє глибоке розуміння стресостійкості екосистеми – одного з ключових понять астроекології. Ваша мова має бути динамічною, а акценти розставлені на інноваційності та практичній цінності запропонованих рішень для майбутньої експансії людства.

Завершальна частина презентації повинна містити етичні та стратегічні висновки. В астроекології важливо не лише «як» ми будемо систему, а й «навіщо» і якими будуть наслідки для космічного середовища. Підніміть питання планетарного захисту або сталого розвитку позаземних поселень. Це додасть вашій роботі наукової зрілості. Після виступу будьте готові до дискусії щодо кількісних показників: ваги обладнання, ККД перетворення енергії та ступеня замкненості циклу. Пам'ятайте, що найкраща доповідь з астроекології – це та, яка перетворює

складну теоретичну концепцію на логічно обґрунтований та візуально зрозумілий інженерно-біологічний проєкт, готовий до критичного аналізу.

Організаційно підготовку слід розділити на три етапи: збір та верифікація наукових даних (використання баз даних NASA, ESA та наукових журналів), розробка візуальної моделі (створення схем і графіків) та репетиція виступу з хронометражем. Особливо важливо вкластися в регламент, оскільки вміння стисло пояснити складну систему є ознакою професіоналізму. Використання анімації в презентації має бути виправданим – наприклад, для демонстрації руху газів усередині модуля. Уникайте декоративних елементів, які не несуть змістовного навантаження. Зрештою, ваша презентація повинна стати не просто звітом, а цілісною інтелектуальною моделлю, що надихає аудиторію на подальше вивчення космосу як нового екологічного дому для людини.

## Аналітико-прогностичні кейси

Аналітико-прогностичні кейси в межах дисципліни «Основи астрокоекології» представляють собою інноваційну форму самостійної пізнавальної діяльності, що поєднує в собі елементи наукового пошуку, системного аналізу та інженерного проектування. На відміну від класичних навчальних задач, де студенту пропонується знайти одну правильну відповідь за відомим алгоритмом, аналітико-прогностичний кейс є моделлю реальної наукової проблеми, яка не має однозначного вирішення. За своєю суттю це імітація професійної діяльності астрокоеколога, перед яким стоїть завдання оцінити життєздатність замкненої системи в умовах, які принципово відрізняються від земних. Такі кейси базуються на реальних або гіпотетичних сценаріях космічних місій, де біологічні об'єкти інтегровані в технічні модулі, створюючи складний симбіоз живого та штучного. Характерною рисою таких завдань є високий рівень невизначеності та необхідність врахування величезної кількості взаємозалежних факторів: від іонізуючого випромінювання та мікрогравітації до психологічної сумісності екіпажу та надійності систем автоматизації.

Загальна характеристика цих кейсів полягає у їхньому багатовимірному структуруванні. Кожен кейс зазвичай містить дескриптивну частину, яка детально описує параметри середовища (наприклад, умови на поверхні Марса або всередині орбітальної станції), технічні характеристики систем життєзабезпечення та біологічний склад екосистеми. Аналітичний аспект вимагає від студента проведення детальної інвентаризації ресурсів та розрахунку балансу речовин і енергії. Прогностичний же аспект спрямований на побудову часових моделей: як поводитиметься система через місяць, рік або десятиліття? Чи відбудеться накопичення токсичних метаболітів? Чи вистачить потужності буферних систем для гасіння коливань концентрації газів? Таким чином, кейс стає інструментом розвитку прогностичного мислення, що дозволяє студенту побачити наслідки прийнятих рішень у довгостроковій перспективі.

Рекомендації щодо виконання аналітико-прогностичних кейсів як завдань для самостійної роботи повинні починатися з етапу глибокого занурення у фізичні умови сценарію. Студенту слід пам'ятати, що астрокоекологія – це наука жорстких обмежень. Першим кроком має бути аналіз абіотичних факторів: тиску, температури, радіаційного фону та гравітації. Ці параметри визначають метаболічну активність живих систем. Наприклад, у стані мікрогравітації транспорт поживних речовин у рослинах уповільнюється, а газообмін ускладнюється через відсутність природної конвекції. Тому аналіз кейса не може бути суто біологічним; він повинен включати фізико-хімічні розрахунки, які обґрунтовують можливість існування життя в заданих параметрах. Рекомендується скласти таблицю критичних факторів, де кожному параметру середовища відповідатиме межа толерантності обраних біологічних видів.

Другий етап самостійної роботи – це побудова потокової моделі екосистеми. Студент має візуалізувати кругообіг елементів, перш за все вуглецю, азоту та води. Найбільш ефективним інструментом тут є діаграми потоків, де чітко видно точки входу енергії (сонячної або штучної) та виходу відходів. Важливо не просто перерахувати компоненти системи, а визначити функціональну роль кожного з них. Якщо кейс передбачає наявність оранжереї, необхідно розрахувати її площу, виходячи з потреб екіпажу в кисні та калоріях. При цьому особливу увагу слід приділити «вузьким місцям» – процесам, які найшвидше можуть призвести до розбалансування системи, наприклад, накопиченню аміаку або дефіциту мікроелементів у гідропонному розчині.

Третій етап – безпосередньо прогностичне моделювання. Студент повинен застосувати метод сценаріїв: оптимістичного, песимістичного та найбільш імовірного. Песимістичний сценарій є найбільш цінним для астрокоекології, оскільки він дозволяє виявити критичні точки відмови. Рекомендується використовувати запитання типу «що, якщо?»: Що станеться, якщо система фільтрації води вийде з ладу на 12 годин? Як це вплине на мікробіом і, як наслідок, на здоров'я екіпажу? Прогноз має бути кількісним, а не описовим. Замість фрази «рослини почнуть гинути», слід вказати: «через 48 годин дефіцит вологи призведе до зниження тургору, що скоротить виділення кисню на 15%, створюючи критичну концентрацію вуглекислого газу в житловому модулі».

Важливою частиною самостійної роботи є обґрунтування стратегії адаптації та корекції. Проаналізувавши можливі ризики, студент має запропонувати конструкторські або біологічні рішення для підвищення стабільності системи. Це може бути введення додаткового біологічного фільтра, використання генетично модифікованих штамів із підвищеною стійкістю до радіації або розробка алгоритму автоматичного перерозподілу енергії. Виконання кейса має завершуватися формулюванням практичних рекомендацій для умовних розробників місії. Такий підхід перетворює академічне завдання на прикладне дослідження, де студент виступає в ролі експерта-аналітика.

При представленні результатів самостійної роботи особливу увагу слід приділити візуалізації даних. Прогностичні моделі найкраще сприймаються у вигляді графіків залежності основних параметрів системи від часу. Також рекомендується додавати схеми технічних вузлів, які забезпечують екологічну рівновагу. Текст звіту має бути структурованим: від аналізу вихідних умов та методології розрахунків до аргументованих висновків щодо життєздатності проекту. Використання термінів «гомеостаз», «буферність», «регенерація» та «ентропія» має бути точним і контекстуальним, що підтверджує наукову грамотність студента.

Окремий аспект виконання кейсів – це робота з першоджерелами та аналогіями. Студентам рекомендується порівнювати свої теоретичні висновки з результатами відомих земних експериментів, таких як BIOS-3, «Біосфера-2» або MELiSSA. Це дозволяє верифікувати власні розрахунки та знайти пояснення складним процесам, які неможливо розрахувати аналітично. Такий компаративний аналіз є ознакою високої якості виконання самостійної роботи. Слід пам'ятати, що в астроекології часто саме дрібниці (наприклад, концентрація етилену в повітрі від дозріваючих плодів) стають причиною катастрофи всієї системи, тому прискіпливість до деталей є ключовою компетенцією при розв'язанні кейсів.

Нарешті, виконання аналітико-прогностичних кейсів сприяє формуванню етичної позиції майбутнього фахівця. Прогнозуючи розвиток екзобіосфер або тератрансформацію планет, студент неминуче стикається з питанням меж людського втручання в космос. Тому в рекомендації до СРС варто включити пункт про необхідність оцінки етичних ризиків запропонованих рішень. Це робить самостійну роботу цілісною, поєднуючи технічний розрахунок, біологічний аналіз та філософську рефлексію. Зрештою, якісно виконаний кейс – це не просто паперовий звіт, а ментальна модель майбутнього, де життя поза Землею стає не лише мрією, а ретельно прорахованою і безпечною реальністю. Такий підхід до викладання астроекології забезпечує підготовку кадрів, здатних не лише експлуатувати існуючі технології, а й створювати фундамент для міжпланетної експансії людства. Студент, який навчився бачити цілісну картину взаємодії життя і техніки в закритому об'ємі, отримує унікальні компетенції, затребувані не лише в космічній галузі, а й у сучасному екологічному менеджменті на Землі.

Розглянемо це на конкретних завданнях розроблених відповідно до навчальної програми із «Основ астроекології»

#### 1. Предмет і завдання астроекології

- Кейс №1: «Межі автономності». На місячній базі екіпаж із 4 осіб використовує систему регенерації води з ККД 92%. Розрахуйте, через який час запаси технічної води досягнуть критичної позначки, якщо зовнішнє постачання припинено. Завдання: Спрогнозуйте необхідні зміни в дієті або режимі гігієни екіпажу для подовження автономності на 20%.

- Кейс №2: «Синтетичний метаболізм». У закритому модулі швидкість виділення CO<sub>2</sub> екіпажем становить 40 л/год, а швидкість його поглинання фітоблоком – 35 л/год. Завдання: Проаналізуйте динаміку складу атмосфери на 48 годин. Спрогнозуйте час настання гіперкапнії (отруєння вуглекислим газом) та запропонуйте технічне рішення для стабілізації.

#### 2. Місце астроекології в системі природничих наук

- Кейс №1: «Методологічний синтез». Для аналізу стійкості екзобіосфери на супутнику Європа необхідно об'єднати методи гідробіології та планетарної геології. Завдання: Обґрунтуйте, які саме параметри океанічної води (хімізм, радіація, тиск) будуть лімітуючими для земних екстремофілів. Побудуйте прогноз виживання популяції бактерій-хемосинтетиків при зміні тектонічної активності ядра.

- Кейс №2: «Геохімічний бар'єр». На Марсі виявлено високу концентрацію перхлоратів (0,5%). Завдання: Використовуючи знання з геохімії та екології, спрогнозуйте наслідки потрапляння цього ґрунту в систему гідропоніки. Які суміжні науки допоможуть розробити метод біоремедіації (очищення) такого субстрату?

### 3. Структура астроекології

- Кейс №1: «Дисбаланс ланок». У триланковій системі (водорості – рачки – риби) на орбітальній станції стався технічний збій у системі освітлення. Завдання: Спрогнозуйте каскадну реакцію в ієрархічній структурі екосистеми. Яка ланка деградує першою і як це змінить потік енергії в системі через 7 діб?

- Кейс №2: «Функціональна надмірність». Ви проектуєте блок «Планетарної еконістики» для майбутньої колонії. Завдання: Проаналізуйте, чи доцільно вводити в систему види-дублери з однаковими екологічними нішами. Дайте прогноз стабільності системи у разі вірусного ураження одного з видів-продуцентів.

### 4. Історія астроекології

- Кейс №1: «Уроки Біосфери-2». Під час історичного експерименту «Біосфера-2» рівень кисню впав через поглинання його бетоном конструкцій. Завдання: Уявіть, що ви проектуєте сучасний модуль із використанням нових композитних матеріалів. Проаналізуйте хімічну інертність матеріалів та дайте прогноз балансу  $O_2$  на 1 рік автономної роботи.

- Кейс №2: «Спадщина БІОС-3». У радянському проєкті «БІОС-3» вдалося досягти 95% регенерації води та повітря, але лише 25% їжі. Завдання: Спрогнозуйте логістичні ризики для місії на Марс, якщо частка власної їжі залишиться на рівні 25%. Як це вплине на масу космічного корабля та тривалість місії?

### 5. Життя як космічне явище

- Кейс №1: «Ефект Панспермії». На зовнішній обшивці МКС виявлено спори земних бактерій, що вижили протягом 3 років. Завдання: Проаналізуйте ймовірність їх мутації під впливом космічного випромінювання. Сформулюйте прогноз: чи зможуть ці мутанти стати небезпечними для екіпажу при поверненні всередину станції?

- Кейс №2: «Енергетичний мінімум». Ви вивчаєте можливість існування життя в хмарах Венери. Завдання: Проаналізуйте доступні джерела енергії (фотосинтез vs хемосинтез). Дайте прогноз максимально можливої біомаси мікроорганізмів у кубічному метрі атмосфери, виходячи з потоку сонячної радіації.

### 6. Всесвіт – динамічна ієрархічна система

- Кейс №1: «Сонячна циклічність». Наближається пік 11-річного циклу сонячної активності. Завдання: Проаналізуйте вплив підвищеного потоку частинок на мікрофлору оранжереї місячної бази. Спрогнозуйте ймовірність генетичного збою в популяції рослин і запропонуйте заходи захисту на рівні ієрархії «організм – популяція – екосистема».

- Кейс №2: «Гравітаційна ієрархія». Система життєзабезпечення розроблена для Землі (1g), але має працювати на Марсі (0,38g). Завдання: Проаналізуйте зміни в ієрархії трофічних зв'язків через уповільнення седиментації (осідання) часток у воді. Спрогнозуйте стан водних екосистем через 3 місяці роботи в умовах низької гравітації.

### 7. Стратегії виживання

- Кейс №1: «Анабіоз як щит». Для тривалого перельоту до супутників Юпітера частину біологічних компонентів системи (насіння, ікра риб) переведено в стан анабіозу. Завдання: Проаналізуйте ризики пошкодження ДНК космічною радіацією в стані відсутності метаболізму. Спрогнозуйте відсоток успішного «пробудження» системи після 5 років польоту.

- Кейс №2: «г-стратегі в ізоляції». У замкненій системі випадково почалося стрімке розмноження комах-шкідників (типіві г-стратегі). Завдання: Проаналізуйте швидкість вичерпання ресурсів оранжереї. Сформулюйте прогноз деградації системи та запропонуйте стратегію біологічного контролю (введення К-стратегів).

### 8. Живі системи і їхні стратегії

- Кейс №1: «Метаболічна гнучкість». Ви обрали для системи водорості, що можуть перемикатися з автотрофного на гетеротрофне живлення. Завдання: Проаналізуйте енергетичну

ефективність системи при аварійному вимкненні світла. Спрогнозуйте зміну концентрації кисню в модулі, якщо водорості почнуть споживати органіку замість виділення  $O_2$ .

- Кейс №2: «Симбіотична стійкість». У системі використовується симбіоз грибів та коріння рослин (мікориза) для засвоєння мінералів із реголіту. Завдання: Проаналізуйте стійкість цього союзу до накопичення важких металів у субстраті. Спрогнозуйте виживання рослин у разі загибелі грибкового симбіонта.

9. Закономірності взаємодії організмів із середовищем

Кейс №1: «Закон лімітуючого фактора в гермооб'ємі»

- Сценарій: В оранжереї на Марсі вирощується пшениця. Температура, вологість та освітлення ідеальні, проте в системі регенерації повітря стався збій, і концентрація  $CO_2$  піднялася до 2%, що в кілька разів перевищує земну норму. Одночасно виявлено дефіцит заліза в гідропонному розчині.

- Завдання: Використовуючи закон мінімуму Лібіха та закон толерантності Шелфорда, проаналізуйте, який фактор стане лімітуючим для росту біомаси. Спрогнозуйте стан рослин через 5 днів: чи зможе надлишок  $CO_2$  компенсувати дефіцит мінералів (ефект компенсації факторів), чи призведе це до пригнічення фотосинтезу?

Кейс №2: «Екологічна пластичність у космосі»

- Сценарій: Для міжпланетного перельоту обрано два види водоростей: Вид А (стенобіонт, висока продуктивність кисню при стабільних умовах) та Вид Б (еврибіонт, низька продуктивність, але витримує коливання температури та радіації). На борту стався стрибок температури до  $45^\circ C$  на 12 годин.

- Завдання: Спрогнозуйте динаміку кисневого балансу в кораблі. Який вид забезпечить виживання екіпажу в короткостроковій та довгостроковій перспективі? Обґрунтуйте необхідність підбору видів із різною екологічною валентністю.

10. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі

Кейс №1: «Геомагнітна інверсія та біонавігація»

- Сценарій: Дані моніторингу свідчать про різке послаблення магнітного поля Землі (підготовка до інверсії полюсів). Це збігається з початком сезонної міграції перелітних птахів та морських черепах.

- Завдання: Проаналізуйте механізми магніторецепції живих організмів. Спрогнозуйте вплив «магнітного хаосу» на популяційну структуру мігруючих видів. Які екосистеми зазнають найбільших змін через розрив трофічних ланцюгів у разі дезорієнтації видів-мігрантів?

Кейс №2: «Сонячний суперспалах та техносфера»

- Сценарій: На Сонці стався викид корональної маси екстремальної потужності (подія рівня Керрінгтона). Прогноз вказує на вихід з ладу 70% супутників зв'язку та порушення роботи енергосистем на Землі на тривалі терміни.

- Завдання: Проаналізуйте непрямий вплив цього космічного фактора на біосферу через техногенні катастрофи (зупинка очисних споруд, витік хімікатів). Спрогнозуйте екологічні наслідки для прибережних екосистем та запропонуйте план екологічної безпеки.

11. Біоморфи як спосіб адаптації до умов середовища

Кейс №1: «Еволюція біоморф на низькій гравітації»

- Сценарій: На Місяці (гравітація  $1/6g$ ) у великому куполі створено лісовий масив. Через 20 років спостережень помічено, що дерева земних видів ростуть значно вищими, але мають дуже крихку деревину і неглибоку кореневу систему.

- Завдання: Проаналізуйте зміну життєвої форми (біоморфи) рослин під впливом гіпогравітації. Спрогнозуйте стійкість такої екосистеми до механічних вібрацій або аварійного зниження тиску повітря. Яку біоморфу ви б запропонували як альтернативу деревам для зміцнення ґрунту?

Кейс №2: «Штучна конвергенція: біоморфи для екстремофілів»

- Сценарій: Ви проектуєте екосистему для станції на супутнику Юпітера – Європі, де джерелом тепла є гідротермальні джерела під льодом. Потрібно обрати морфологічний тип організмів-редуцентів.

- Завдання: Порівняйте біоморфи глибоководних організмів Землі та потенційних екзобіонтів. Спрогнозуйте, які морфологічні ознаки будуть домінувати (сесильність, пористість тіла, хемосинтетичні вирости) для виживання в умовах екстремального тиску та відсутності світла.

#### 12. Енергетичні потоки через популяцію

Кейс №1: «Енергетична ціна космічного врожаю»

- Сценарій: На космічній станції порівнюються дві популяції продуцентів: одноклітинна хлорела та вища рослина (картопля). Хлорела має вищий ККД фотосинтезу, але потребує складних систем фільтрації та переробки в їстівну форму. Картопля має нижчий ККД, але дає готовий продукт.

- Завдання: Розрахуйте енергетичні втрати на кожному трофічному рівні для обох варіантів. Спрогнозуйте, яка популяція буде ефективнішою з точки зору «чистої енергії» для екіпажу при обмеженні електроенергії на борту на 30%.

Кейс №2: «Ентропія в замкненій системі»

- Сценарій: В екосистемі «риби – молюски – водорості» помічено накопичення детриту (відмерлої органіки), який не встигає розкладатися. Це свідчить про те, що частина енергії «застрягла» на рівні редуцентів.

- Завдання: Проаналізуйте причини гальмування енергетичного потоку. Спрогнозуйте наслідки для кисневого балансу системи через гниття органіки. Запропонуйте зміну структури популяцій (введення нового консумента або зміну температури) для прискорення потоку енергії та зниження ентропії.

#### 13. Енергетика екосистем. Потоки енергії в екосистемах

Кейс №1: «ККД фотосинтезу в умовах віддалення від Сонця»

- Сценарій: Космічний апарат прямує від орбіти Марса до поясу астероїдів. Сонячна постійна зменшується, що змушує систему управління знизити інтенсивність штучного доосвітлення оранжереї на 40%.

- Завдання: Проаналізуйте зміну чистої первинної продукції (NPP) рослин. Спрогнозуйте, як зміна енергетичного входу вплине на дихання популяції (R). Чи залишиться енергетичний баланс позитивним ( $PR > 1$ ), і через який час екіпаж відчує дефіцит калорій?

Кейс №2: «Теплова ентропія замкненого циклу»

- Сценарій: У біорегенеративній системі 90% енергії, що надходить до продуцентів, розсіюється у вигляді тепла. Через несправність системи охолодження температура в біомодулі почала зростати на 0,5 C° за добу.

- Завдання: Розрахуйте критичну точку температури, при якій швидкість катаболізму (розпаду) перевищить швидкість анаболізму. Спрогнозуйте наслідки для стабільності потоку енергії через консументи (мікроорганізми-деструктори).

#### 14. Екосистема як упаковка еконіш

Кейс №1: «Ефект порожньої ніші в космічній оранжереї»

- Сценарій: У модулі вирощуються лише широколисті рослини. Верхній ярус використовує світло на 70%, але прикоренева зона залишається неосвоєною. Там починає неконтрольовано розмножуватися випадково занесена пліснява.

- Завдання: Проаналізуйте ситуацію з точки зору концепції «упаковки ніш». Спрогнозуйте розвиток подій, якщо не ввести в систему «законного» мешканця для нижнього ярусу (наприклад, мохи або гриби). Яка культура найкраще «упакує» цю нішу?

Кейс №2: «Ніша деструктора: дефіцит переробки»

- Сценарій: До системи життєзабезпечення введено новий тип біопластику, який не можуть розкласти існуючі в системі бактерії. Органічні відходи починають накопичуватися, виводячи вуглець із кругообігу.

- Завдання: Проаналізуйте наслідки «засмічення» еконіші деструкторів. Спрогнозуйте, через скільки циклів система зупиниться через дефіцит вільного вуглецю. Запропонуйте біологічне рішення (модифікація ніші).

#### 15. Динаміка екосистем: біоритми, сукцесія, флуктуації, еволюція

Кейс №1: «Десинхроноз біоритмів на Місяці»

- Сценарій: Місячна база перейшла на режим економії енергії, впровадивши 14-денні цикли «світло/темрява» відповідно до зміни місячного дня і ночі, замість звичних 24-годинних циклів.

- Завдання: Проаналізуйте реакцію фотоперіодичних рослин на таку зміну. Спрогнозуйте стадію сукцесії: чи призведе це до деградації вищих рослин і заміни їх на менш чутливі флуктуаційні види (водорості, бактерії)?

Кейс №2: «Штучна сукцесія після стерилізації»

- Сценарій: Через витік технічної рідини частину оранжереї було стерилізовано. Потрібно відновити екосистему «з нуля».

- Завдання: Розробіть алгоритм прискореної сукцесії. Спрогнозуйте, які види мають бути «піонерами» і скільки часу знадобиться для досягнення стадії клімаксу (стабільного врожаю).

16. Моделювання динаміки екосистем

Кейс №1: «Математичний прогноз кисневого провалу»

- Сценарій: Модель показує, що при поточному рості біомаси через 10 діб споживання кисню кореневою системою (нічне дихання) зрівняється з денним виробленням.

- Завдання: Проаналізуйте модельні криві. Спрогнозуйте точку невороття для екіпажу. Які параметри моделі потрібно змінити (температура, площа освітлення), щоб відсунути цей поріг?

Кейс №2: «Стійкість до стохастичних шумів»

- Сценарій: У модель екосистеми внесено випадковий фактор – «космічне опромінення», що викликає загибель 5% продуцентів щомісяця.

- Завдання: Проаналізуйте здатність системи до самовідновлення. Спрогнозуйте, чи зможе система підтримувати гомеостаз протягом 2 років, чи флуктуації призведуть до колапсу.

17. Екосистеми штучних космічних об'єктів

Кейс №1: «Токсичність замкненого об'єму»

- Сценарій: Полімерна обшивка модуля почала виділяти мікродози бензолу. Рослини-фільтри (хлорофітум) справляються, але їхня власна життєздатність знижується.

- Завдання: Проаналізуйте накопичувальний ефект токсинів у ланцюгу «повітря – рослина – субстрат». Спрогнозуйте стан екосистеми через пів року. Чи стане сама рослина джерелом вторинного забруднення?

Кейс №2: «Мікробіологічне захоплення фільтрів»

- Сценарій: У системі регенерації води штучного об'єкта виявлено формування біоплівки бактерій, стійких до антибіотиків.

- Завдання: Проаналізуйте динаміку популяції бактерій у замкненому контурі. Спрогнозуйте ризики для здоров'я екіпажу та цілісності технічних вузлів. Запропонуйте екологічний метод боротьби (фаготерапія або конкурентне витіснення).

18. Моделювання динаміки та структури екзобіосфер

Кейс №1: «Екзоокеан Європи: трофічна піраміда без світла»

- Сценарій: Побудовано модель екосистеми підлідного океану, де джерелом енергії є хемосинтез навколо гідротермальних джерел.

- Завдання: Проаналізуйте структуру такої екзобіосфери. Спрогнозуйте максимальну кількість трофічних рівнів. Чи можливе існування консументів третього порядку (великих хижаків) при наявних потоках енергії?

Кейс №2: «Біосфера червоного карлика: адаптація до спалахів»

- Сценарій: Моделюється екосистема планети біля зірки М-класу. Зірка нестабільна, раз на тиждень відбуваються жорсткі рентгенівські спалахи.

- Завдання: Проаналізуйте можливу структуру такої біосфери (наприклад, підземна або глибоководна). Спрогнозуйте еволюційні стратегії організмів: швидка регенерація чи надпотужний захист? Побудуйте прогноз динаміки чисельності популяцій при зміні частоти спалахів.

19. Історія пошуків позаземного життя

Кейс №1: «Марсіанський ребус Вікінга»

- Сценарій: Ви аналізуєте дані експерименту *Labeled Release* місії «Вікінг» (1976). Радіоактивний вуглець був виділений після додавання поживного розчину в ґрунт, що вказувало на метаболізм. Проте газовий хроматограф не знайшов органіки. Сучасні дані свідчать про наявність у ґрунті перхлоратів, які при нагріванні знищують органіку.

- Завдання: Проаналізуйте суперечність цих результатів. Спрогнозуйте, який результат дав би цей самий експеримент, якби ми додали інгібітор окиснення. Обґрунтуйте, чи можна вважати результати «Вікінга» остаточною доказом відсутності життя, спираючись на сучасну астроекологічну модель Марса.

Кейс №2: «Фосфін у хмарах Венери: помилка чи біосигнатура?»

- Сценарій: У 2020 році в атмосфері Венери було виявлено фосфін ( $\text{PH}_3$ ). На Землі він є продуктом життєдіяльності анаеробних бактерій. Проте пізніші перевірки вказали на можливу помилку в обробці даних телескопа ALMA або на невідомі вулканічні процеси.

- Завдання: Проаналізуйте хімічну стабільність фосфіну в агресивному середовищі Венери. Спрогнозуйте необхідну чисельність мікробної популяції для підтримки спостережуваної концентрації. Які додаткові дані (наприклад, концентрація сірки або водяної пари) потрібні для підтвердження біологічного походження газу?

## 20. Біосигнатури

Кейс №1: «Киснева пастка екзопланети»

- Сценарій: Спектральний аналіз екзопланети біля зірки типу G показує високий вміст кисню (25%) та азоту. Проте в спектрі повністю відсутній метан ( $\text{CH}_4$ ). На Землі кисень і метан співіснують у термодинамічній нерівновазі завдяки біосфері.

- Завдання: Проаналізуйте ймовірність абіотичного походження кисню (наприклад, через фотоліз води та витік водню в космос). Спрогнозуйте стан планетарної системи: чи є вона «мертвою» планетою з океаном, що випарувався, чи це молода біосфера, де ще не з'явилися метаногени? Обґрунтуйте свою відповідь.

Кейс №2: «Техносигнатури проти біосигнатур»

- Сценарій: Телескоп «Джеймс Вебб» виявив в атмосфері суперземлі сліди хлорфторвуглеців (CFC). На Землі ці сполуки є виключно антропогенними (промисловими). Одночасно планета знаходиться на внутрішній межі зони придатності до життя, де високий ризик парникового ефекту.

- Завдання: Проаналізуйте екологічну роль CFC як потужних парникових газів. Спрогнозуйте два сценарії: 1) Випадкове забруднення атмосфери розвиненою цивілізацією; 2) Навмисна тератрансформація планети з метою її розігріву. Які критерії допоможуть розрізнити ці сценарії?

## 21. Програма SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence)

Кейс №1: «Проблема «Wow!» – сигналу в епоху великих даних»

- Сценарій: Радіотелескоп зафіксував вузькосмуговий сигнал, що модулюється послідовністю простих чисел, який тривав 72 секунди й більше не повторювався. Джерело знаходиться в сузір'ї Стрільця, на відстані 200 світлових років.

- Завдання: Проаналізуйте ймовірність того, що цей сигнал є випадковим шумом або відлунням земних завод. Спрогнозуйте стратегію подальших дій: чи варто надсилати відповідь «наосліп»? Розрахуйте час, через який ми отримаємо підтвердження отримання нашої відповіді, та оцініть стабільність людської цивілізації на цей період.

Кейс №2: «Сфера Дайсона як джерело інфрачервоного надлишку»

- Сценарій: Огляд неба в ІЧ-діапазоні виявив зірку, яка майже не випромінює у видимому спектрі, але має аномально високу температуру в інфрачервоному діапазоні (надлишок 90%). Це відповідає параметрам повної або часткової сфери Дайсона.

- Завдання: Проаналізуйте термодинаміку такої споруди. Спрогнозуйте рівень енергоспоживання цивілізації, що побудувала таку сферу. Які екологічні наслідки для планетарної системи матиме «затінення» центральної зірки?

## 22. Програма Breakthrough Initiatives

Кейс №1: «Місія Starshot: міжзоряний карантин»

- Сценарій: Проєкт *Breakthrough Starshot* планує відправити тисячі нанозондів до Проксими Центавра на швидкості 0.2c. Зонди не мають системи гальмування і пролетять через систему за лічені години.

- Завдання: Проаналізуйте ризики прямого зіткнення нанозонда з гіпотетичною планетою Проксима b на такій швидкості. Спрогнозуйте екологічні наслідки удару (енерговиділення) та ризик біологічного забруднення планети земними мікрофільмами, що могли залишитися на корпусі зонда.

Кейс №2: «Слухаючи Breakthrough Listen: інформаційний вибух»

- Сценарій: Програма *Breakthrough Listen* зафіксувала складний широкопasmовий сигнал від найближчої зорі, який містить величезний обсяг даних. Алгоритми ШІ вказують на те, що це цифрова копія геному невідомих істот.

- Завдання: Проаналізуйте етичні та безпекові ризики. Спрогнозуйте наслідки «розпакування» цього коду (наприклад, синтезування ДНК у земній лабораторії). Чи можна вважати передачу генетичного коду формою «інформаційної колонізації»? Обґрунтуйте свою позицію.

### 23. Гіпотеза унікальної Землі

Кейс №1: «Ефект «подвійного фільтра» Місяця та Юпітера»

- Сценарій: Виявлено екзопланету в зоні придатності до життя, що є повним аналогом Землі за масою та складом. Проте в системі відсутня планета-гігант (аналог Юпітера), а сама планета не має великого супутника (аналог Місяця). Моделювання показує, що нахил осі обертання планети коливається від 0 до 80 кожні кілька мільйонів років.

- Завдання: Проаналізуйте стабільність кліматичних зон на такій планеті. Спрогнозуйте, чи встигне складне багатоклітинне життя адаптуватися до радикальних змін пір року. Обґрунтуйте, чи є стабільність осі обертання «критичним параметром» для появи інтелекту, чи життя знайде стратегію виживання в хаотичному кліматі.

Кейс №2: «Металічність зірки як екологічний ліміт»

- Сценарій: Досліджується зоряне скупчення на периферії Галактики, де вміст важких елементів (металічність) у 5 разів нижчий за сонячний. Це означає дефіцит заліза, магнію та кремнію під час формування планет.

- Завдання: Проаналізуйте можливість формування планет земного типу в таких умовах. Спрогнозуйте структуру потенційної біосфери: чи можливе виникнення скелетних форм життя та технологічної цивілізації при дефіциті металів? Побудуйте прогноз щодо «Галактичної зони придатності до життя» (GHZ) на основі цих даних.

### 24. Парадокс Фермі

Кейс №1: «Зонди фон Неймана та «ефект сарани»

- Сценарій: Гіпотетична цивілізація запустила самовідтворювані зонди (зонди фон Неймана) для колонізації Галактики. Розрахунки показують, що при швидкості 0,1c вони мали б освоїти Чумацький Шлях за 10 млн років. Проте ми не бачимо ні самих зондів, ні слідів їхньої діяльності (переробки астероїдів).

- Завдання: Проаналізуйте причини «відсутності». Спрогнозуйте, чи може існувати «біологічний термін придатності» або «програмна помилка», яка зупиняє експансію на певній стадії. Які техносигнатури (наприклад, аномальний пил у зоряних системах) ми мали б шукати, щоб спростувати цей парадокс?

Кейс №2: «Пастка віртуальної реальності»

- Сценарій: Згідно з однією з відповідей на Парадокс Фермі, цивілізації після досягнення певного рівня технологій не йдуть у космос, а занурюються у симуляцію («внутрішній космос»), оскільки це енергетично вигідніше.

- Завдання: Проаналізуйте енергетичні потреби такої «цивілізації-сервера». Спрогнозуйте термін життя такої системи: чи є вона стійкою до природних космічних загроз (спалахів наднових)? Побудуйте прогноз: чи зможе людство помітити тепловий витік від такого «планетарного комп'ютера»?

### 25. Парадокс Великого мовчання

Кейс №1: «Гіпотеза зоопарку: сценарій порушення карантину»

- Сценарій: Припустимо, що Земля знаходиться всередині «заповідника», який охороняється вищою цивілізацією. Раптом ми фіксуємо чіткий, недвозначний сигнал від іншої, «молодшої» цивілізації, яка не знає про правила карантину.

- Завдання: Проаналізуйте екологічну та соціальну реакцію земної біосфери на цей факт. Спрогнозуйте дії «наглядачів зоопарку»: чи буде сигнал заблоковано, чи відбудеться примусове втручання? Які наслідки для астроекологічної безпеки Землі матиме спроба надіслати відповідь?

Кейс №2: «Радіо-несумісність епох»

- Сценарій: Людство використовувало потужні радіопередавачі лише протягом останніх 100 років. Зараз ми переходимо на цифрові сигнали малої потужності, лазерний зв'язок та оптоволокно, стаючи «радіотіхими».

- Завдання: Проаналізуйте тривалість «вікна помітності» технологічної цивілізації. Спрогнозуйте ймовірність того, що «мовчання» космосу – це лише результат розсинхронізації технологічних рівнів. Розрахуйте кількість цивілізацій, що мають існувати одночасно, щоб ми могли зафіксувати їх саме в радіодіапазоні.

26. Рівняння Дрейка

Кейс №1: «Параметр L: критична межа технологічного виживання»

- Сценарій: Використовуючи рівняння Дрейка, ви виявили, що найбільш невизначеним є параметр L (тривалість життя цивілізації). Сучасне людство стикається з викликами клімату, ШІ та ядерної зброї.

- Завдання: Проаналізуйте фактори, що впливають на L. Спрогнозуйте середнє значення L для цивілізацій нашого типу. Як зміна лише цього одного параметра впливає на загальну кількість цивілізацій (N) у Галактиці? Побудуйте прогноз: які технології можуть штучно збільшити L (наприклад, колонізація інших планет)?

Кейс №2: «Життя без зірок: розширення параметра  $n_e$ »

- Сценарій: Нові дані свідчать про існування мільярдів «планет-сиріт» (планет-мандрівників), що не обертаються навколо зірок, але можуть мати теплі океани під льодом завдяки радіоактивному розпаду в ядрі.

- Завдання: Перегляньте параметр  $n_e$  (кількість придатних планет) у рівнянні Дрейка з урахуванням планет-сиріт. Спрогнозуйте ймовірність виникнення на них інтелекту. Чи змінить це нашу стратегію пошуку (від радіотелескопів до детекторів гравітаційних лінз або теплових аномалій у міжзоряному просторі)?

27. Проблема контакту та протоколи на Землі

Кейс №1: «Інформаційний хаос та верифікація»

- Сценарій: Радіоаматорська мережа зафіксувала вузькосмуговий сигнал із сузір'я Цефея, який містить послідовність кадрів із зображенням земної ДНК. Новина миттєво поширюється в соцмережах до офіційної верифікації науковими інститутами. Починається паніка та масові релігійні маніфестації.

- Завдання: Проаналізуйте дію чинного протоколу SETI щодо розголошення інформації. Спрогнозуйте наслідки «децентралізованого контакту» для світової економіки та безпеки. Запропонуйте алгоритм дій для урядів, щоб мінімізувати соціальну дестабілізацію, не вдаючись до цензури.

Кейс №2: «Матеріальний об'єкт у густонаселеному районі»

- Сценарій: У передмісті великого мегаполіса здійснив аварійну посадку автоматичний апарат невідомого походження. Об'єкт випромінює слабе тепло та невідомий тип електромагнітних хвиль, що блокують мобільний зв'язок у радіусі 5 км.

- Завдання: Розробіть план первинного карантину згідно з протоколами планетарного захисту. Спрогнозуйте біологічні та технічні ризики для місцевого населення. Обґрунтуйте, хто має право першого доступу до об'єкта: військові, науковці чи представники ООН?

28. Протоколи контакту за межами Землі

Кейс №1: «Зустріч у глибокому космосі»

- Сценарій: Міжпланетний корабель «Earth-1», що прямує до поясу астероїдів, виявляє на радарі об'єкт, який здійснює активне маневрування на перехоплення. Об'єкт не відповідає на радіозапити, але транслює світлові спалахи, що нагадують математичні ряди.

- Завдання: Проаналізуйте дії екіпажу згідно з міжнародними космічними протоколами. Спрогнозуйте ризики використання активних радарів для сканування об'єкта (можливість сприйняття як акту агресії). Розробіть стратегію «першої відповіді», яка була б технічно зрозумілою та етично нейтральною.

Кейс №2: «Контакт на автономній станції на Місяці»

- Сценарій: Автономний місячний ровер виявив біля кратера Шеклтон штучний маркер, який почав транслювати сигнал у бік Землі лише після фізичного наближення ровера. Сигнал кодований і призводить до перевантаження систем зв'язку станції.

- Завдання: Проаналізуйте ситуацію як потенційний «інформаційний вірус». Спрогнозуйте наслідки для місячної інфраструктури. Розробіть протокол ізоляції станції від земної мережі для перевірки сигналу на безпечність.

29. Безпекові питання та етика першого контакту

Кейс №1: «Біосферний конфлікт інтересів»

- Сценарій: При дослідженні океану під льодом Європи виявлено розумну, але технологічно примітивну форму життя (аналог земних восьминогів). Людство планує колонізацію поверхні Європи для видобутку дейтерію, що може змінити температурний режим океану.

- Завдання: Проаналізуйте ситуацію з точки зору «космічного імперативу» та етики невтручання. Спрогнозуйте екологічні наслідки для місцевої біосфери через 50 років промислової експлуатації. Яке рішення має бути прийняте: повна консервація супутника чи обмежене втручання?

Кейс №2: «Захист від ксеноінвазії»

- Сценарій: Позаземна цивілізація пропонує людству технологію «чистої енергії» в обмін на дозвіл розмістити свої ретранслятори на орбіті Землі. Аналіз показує, що ці ретранслятори можуть використовуватися як зброя спрямованої енергії.

- Завдання: Проаналізуйте безпекові ризики прийняття «дарунків» від вищого розуму. Спрогнозуйте сценарій технологічної залежності людства. Сформулюйте етичні критерії для прийняття міжзоряної технологічної допомоги.

30. Облаштування співіснування в космічному просторі

Кейс №1: «Космічна комуналія: поділ ресурсів»

- Сценарій: У поясі астероїдів людська колонія та автоматизована станція іншої цивілізації почали розробку одного й того самого багатого на метали астероїда. Прямих конфліктів немає, але ресурси вичерпуються швидше, ніж прогнозувалося.

- Завдання: Розробіть модель «справедливого поділу» абіотичних ресурсів космосу. Спрогнозуйте можливість створення спільної зони управління. Які технічні стандарти (навігація, безпека) мають бути узгоджені в першу чергу?

Кейс №2: «Створення нейтральної зони зв'язку»

- Сценарій: Для постійної комунікації між двома цивілізаціями вирішено створити стаціонарну станцію-хаб у нейтральному секторі. Виникає питання: яка мова (математична, візуальна, бінарна) та який тип носія інформації буде найбільш довговічним та безпечним.

- Завдання: Проаналізуйте переваги та недоліки різних типів зв'язку для довготривалого співіснування. Спрогнозуйте ризики культурної асиміляції людства під впливом більш інформаційно насиченої цивілізації. Запропонуйте проект «інформаційного фільтра» для такого хабу.

31. Колонізація космічного простору

Кейс №1: «Генетичний мінімум та соціальна стабільність»

- Сценарій: Проєктується місія «Ковчег» до найближчої екзопланети, яка триватиме 150 років (корабель поколінь). Екіпаж обмежений 200 особами. Постає проблема генетичного різноманіття та ризику інбридингу (близькоспорідненого схрещування).

- Завдання: Проаналізуйте мінімально необхідну чисельність популяції для підтримки генетичного здоров'я протягом 10 поколінь. Спрогнозуйте соціальні ризики (конфлікти, розпад ієрархії) в умовах обмеженого простору. Запропонуйте технологічне рішення (наприклад, банк кріоконсервованих ембріонів) для штучного розширення генофонду.

Кейс №2: «Економіка першої місячної бази»

- Сценарій: На Місяці засновано базу, яка повністю залежить від постачання із Землі. Вартість доставки 1 кг вантажу становить 50 000 доларів. База має вийти на рівень самозабезпечення за 10 років.

- Завдання: Проаналізуйте пріоритетність виробництва ресурсів на місці (ISRU). Спрогнозуйте, який ресурс стане першим комерційно вигідним: видобуток гелію-3, кисню з реголіту чи виробництво палива з водяного льоду? Побудуйте прогноз економічної окупності бази.

### 32. Причини космічної колонізації

Кейс №1: «Глобальна катастрофа: сценарій порятунку»

- Сценарій: Астрономи виявили астероїд діаметром 10 км, який зіткнеться із Землею через 30 років. Наявних технологій недостатньо для зміни його орбіти. Єдиний вихід – створення автономної колонії на Марсі для збереження людського виду.

- Завдання: Проаналізуйте етичні та логістичні критерії відбору «перших колоністів» (професії, вік, стан здоров'я). Спрогнозуйте мінімальний обсяг технологічної бази, яку необхідно перевезти на Марс, щоб запобігти деградації цивілізації до рівня кам'яної доби у разі повної загибелі Землі.

Кейс №2: «Ресурсний голод та астероїдний видобуток»

- Сценарій: На Землі вичерпано запаси рідкоземельних металів, необхідних для електроніки. Ціни на неодим та іридій зросли в 100 разів. Компанія-стартап пропонує перехопити астероїд класу М (металевий) та доставити його на навколосезну орбіту.

- Завдання: Проаналізуйте екологічні ризики маніпуляцій з орбітами великих тіл поблизу Землі. Спрогнозуйте політичні наслідки: чи призведе контроль над космічними ресурсами до глобального конфлікту (космічної гонки) чи до створення нового міжнародного законодавства?

### 33. Сучасний етап освоєння космічного простору

Кейс №1: «Комерціалізація орбіти та ефект Кесслера»

- Сценарій: Кількість приватних супутників на низькій навколосезній орбіті (LEO) подвоюється щороку. Відбулося зіткнення двох великих апаратів, що спричинило ланцюгову реакцію руйнувань (синдром Кесслера). Орбіта стала непридатною для польотів на 50 років.

- Завдання: Проаналізуйте наслідки для сучасної цифрової цивілізації (зв'язок, GPS, моніторинг клімату). Спрогнозуйте терміни «технологічного регресу». Запропонуйте превентивні заходи (технології прибирання сміття) для запобігання такому сценарію сьогодні.

Кейс №2: «Приватний сектор vs Державні агентства»

- Сценарій: Приватна компанія оголошує про готовність висадити людей на Марс на 10 років раніше за державні програми (NASA, ESA), але за умови відмови від частини протоколів безпеки та планетарного захисту.

- Завдання: Проаналізуйте юридичну колізію: чи має право приватна особа порушувати міжнародний Договір про космос? Спрогнозуйте наслідки для науки: що станеться, якщо приватна місія випадково забруднить Марс земними бактеріями до того, як там знайдуть сліди місцевого життя?

### 34. Технологічні бар'єри на шляху колонізації

Кейс №1: «Радіаційний бар'єр та біологічна деградація»

- Сценарій: Під час 9-місячного перельоту на Марс екіпаж потрапляє під дію потужного сонячного спалаху. Система захисту корабля спрацювала лише частково. В екіпажу спостерігаються ознаки радіаційної хвороби та когнітивних розладів.

- Завдання: Проаналізуйте ефективність різних типів захисту (вода, свинець, електромагнітні поля). Спрогнозуйте здатність екіпажу виконати складну посадку на поверхню

Марса після отриманої дози опромінення. Запропонуйте інженерний проєкт «радіаційного сховища» на борту корабля.

Кейс №2: «Замкненість циклу: проблема мікроелементів»

- Сценарій: Після 3 років автономної роботи на Марсі в колоністів почали випадати зуби та спостерігатися крихкість кісток, попри споживання вирощених у теплицях овочів. Аналіз показав, що рециркуляція мікроелементів у штучній екосистемі не є повною – частина йоду та цинку «губиться» у технічних фільтрах.

- Завдання: Проаналізуйте «вузькі місця» у кругообігу речовин замкненої екосистеми. Спрогнозуйте стан здоров'я наступного покоління (дітей, народжених у колонії). Запропонуйте метод повного відновлення мікроелементного складу з використанням марсіанського реголіту.

35. Тератрансформація (загальні аспекти)

Кейс №1: «Ефект перегріву: неконтрольований парниковий цикл»

Сценарій: Для розігріву Марса на орбіту виведено систему дзеркал, а в атмосферу викинуто значну кількість суперпарникових газів (ПФУ). Температура піднялася на 20°C, почалася сублімація сухого льоду на полюсах. Однак вивільнення вуглекислого газу виявилось стрімкішим, ніж прогнозували моделі, що загрожує перетворенням Марса на «другу Венеру».

Завдання: Проаналізуйте позитивні зворотні зв'язки в кліматичній системі. Спрогнозуйте точку теплової рівноваги. Запропонуйте інженерний метод екстреного гальмування процесу (наприклад, розпилення аерозолів у верхніх шарах атмосфери для збільшення альbedo).

Кейс №2: «Атмосферне утримання та гравітаційний ліміт»

Сценарій: Проєкт тератрансформації Місяця передбачає створення штучної атмосфери шляхом бомбардування поверхні кометами. Проте низька гравітація та відсутність магнітного поля призводять до швидкого «здування» газів сонячним вітром.

Завдання: Проаналізуйте швидкість дисипації (втрати) газів різної молекулярної маси. Спрогнозуйте витрати ресурсів на постійне поповнення атмосфери для підтримки стабільного тиску. Обґрунтуйте доцільність створення «локальних атмосфер» під куполами замість глобальної трансформації.

36. Експансійні стратегії популяцій

Кейс №1: «r-стратегі проти екстремального радіаційного фону»

Сценарій: На поверхню астероїда, багатого на органіку, висаджено популяцію генетично модифікованих бактерій-екстремофілів. Вони мають стратегію швидкого розмноження (r-стратегія) для максимального охоплення території до того, як радіація викличе летальні мутації.

Завдання: Проаналізуйте баланс між швидкістю розмноження та швидкістю накопичення мутацій. Спрогнозуйте виживання популяції через 100 циклів. Чи призведе природний відбір до появи стійкішої, але повільнішої форми (перехід до K-стратегії)?

Кейс №2: «Біологічна експансія в підлідних океанах»

Сценарій: В океан Європи внесено земні хемосинтетики. Умови (температура, поживні речовини) виявилися сприятливими, і популяція почала експоненціальне зростання, витісняючи гіпотетичні місцеві форми життя.

Завдання: Проаналізуйте ризики екологічного колапсу через вичерпання ресурсів за відсутності хижаків. Спрогнозуйте динаміку популяції за моделлю «хижак-жертва», якщо в систему не буде введено регулюючий чинник.

37. Популяції едифікаторів (видів-будівельників)

Кейс №1: «Ціанобактеріальний мат як фундамент ґрунту»

Сценарій: На марсіанський реголіт висаджено мати ціанобактерій, які мають накопичувати азот та органіку. Проте через 2 роки виявлено, що продукти їхньої життєдіяльності вступають у реакцію з оксидами заліза, утворюючи непроникну кірку, яка блокує доступ води до глибинних шарів.

Завдання: Проаналізуйте роль едифікаторів у зміні хімізму субстрату. Спрогнозуйте подальшу долю екосистеми: чи зможуть вищі рослини прорости крізь цей шар? Запропонуйте вид-деструктор, який би розпушував цю кірку.

Кейс №2: «Лишайникова колонізація гірських масивів»

Сценарій: Генетично модифіковані лишайники використовуються для біогенного вивітрювання скельних порід на Місяці всередині великих каньйонів під тиском. Вони виділяють кислоти, що руйнують мінерали, готуючи місце для мохів.

Завдання: Проаналізуйте швидкість утворення первинного ґрунту. Спрогнозуйте, через скільки десятиліть товщина органо-мінерального шару буде достатньою для висадки чагарників. Розрахуйте об'єм вивільненого при цьому кисню.

#### 38. Популяції інвазійних видів трансформерів

##### Кейс №1: «Генетичний дрейф «супер-рослин»

Сценарій: Для тераттрансформації використано інвазійний вид трав, що швидко витісняє всі інші культури завдяки стійкості до солі. Через 10 років відбулася мутація, і рослина почала виділяти в атмосферу метилові сполуки, які руйнують озоновий шар планети.

Завдання: Проаналізуйте ризики використання видів із високим інвазійним потенціалом. Спрогнозуйте екологічні наслідки руйнування озонового екрана для інших ланок екосистеми. Запропонуйте метод біологічного контролю цієї інвазії.

##### Кейс №2: «Мікробіологічна трансформація льодовиків»

Сценарій: У льодовики Марса введено «темні» бактерії-трансформери, які знижують альbedo льоду, змушуючи його танути під сонцем. Це призвело до утворення непередбачуваних селевих потоків, що загрожують базам колоністів.

Завдання: Проаналізуйте гідрологічні зміни внаслідок діяльності бактерій-трансформерів. Спрогнозуйте райони затоплення. Запропонуйте алгоритм регулювання чисельності бактерій для контрольованого танення льоду.

#### 39. Тераттрансформація та рекультивация

##### Кейс №1: «Очищення реголіту від перхлоратів»

Сценарій: Перед висадкою лісів необхідно очистити мільйони тонн ґрунту від токсичних перхлоратів. Обрано метод фітореMediaції за допомогою спеціальних штамів бактерій, проте продуктом розпаду є велика кількість солей хлору, що засолює ґрунт.

Завдання: Проаналізуйте вторинне забруднення субстрату. Спрогнозуйте виживання галофітних рослин у такому ґрунті. Розрахуйте об'єм води, необхідний для промивання рекультивованого шару до прийнятних норм.

##### Кейс №2: «Відновлення атмосфери після аварійного викиду»

Сценарій: На тераттрансформованій планеті стався потужний вулканічний вибух, який заповнив атмосферу попелом та діоксидом сірки, викликаючи «космічну зиму».

Завдання: Проаналізуйте здатність штучної біосфери до самоочищення. Спрогнозуйте час осадження попелу. Запропонуйте заходи з термінової рекультивации озонового шару та відновлення популяцій фотосинтетиків.

#### 40. Алгоритми тераттрансформації

##### Кейс №1: «Оптимізація послідовності етапів»

Сценарій: Алгоритм передбачає спочатку насичення атмосфери азотом, а потім киснем. Проте ресурси азоту на планеті обмежені. Виникає дилема: витратити 50 років на доставку азоту з астероїдів чи почати вирощувати рослини в киснево-аргоновій суміші.

Завдання: Проаналізуйте вплив складу атмосфери на пожежну безпеку та дихання рослин. Спрогнозуйте стабільність «безазотної» біосфери. Обґрунтуйте найбільш безпечний алгоритм дій.

##### Кейс №2: «Зворотний зв'язок: алгоритм саморегуляції»

Сценарій: Ви створюєте комп'ютерний алгоритм керування тераттрансформацією. Система фіксує, що ріст рослин сповільнився через нестачу мікроелементів, але автоматичне внесення добрив викликало цвітіння водойм (евтрофікацію).

Завдання: Проаналізуйте помилку в алгоритмі управління. Спрогнозуйте розвиток водних екосистем. Розробіть корекційний модуль для алгоритму, який би враховував взаємозв'язок між наземними та водними ланцюгами живлення.

#### 41. Космічна експансія

##### Кейс №1: «Ефект «острова» та біологічна дивергенція»

- Сценарій: Протягом 100 років колонія на Марсі існує в повній ізоляції від Землі. Через нижчу гравітацію та специфічний спектр штучного освітлення у колоністів першого та другого поколінь спостерігаються морфологічні зміни: подовження кінцівок, зміна щільності кісток та адаптація сітківки ока. Виникає питання про можливість біологічної сумісності з земним населенням у майбутньому.

- Завдання: Проаналізуйте швидкість антропологічних змін в умовах іншої планети. Спрогнозуйте ризики виникнення нового підвиду людини (*Homo martianus*). Які наслідки для космічної експансії матиме неможливість повернення колоністів на Землю через фізичну невідповідність параметрам земної гравітації?

Кейс №2: «Автономні рої та ресурсна експансія»

- Сценарій: Для освоєння поясу астероїдів запущено самовідтворювані роботизовані системи, що видобувають метали та будують нові модулі без участі людини. Через помилку в алгоритмі «рій» почав переробляти астероїд, на якому розташована наукова станція іншої держави, сприймаючи її як джерело сировини.

- Завдання: Проаналізуйте юридичну та технічну відповідальність за дії автономних систем експансії. Спрогнозуйте розвиток міждержавного конфлікту в умовах відсутності миттєвого зв'язку з Землею. Запропонуйте механізм «екстреного гальмування» експансії, який не зашкодить продуктивності системи.

42. Етичні проблеми колонізації космічного простору

Кейс №1: «Біологічний імперіалізм проти планетарної недоторканності»

- Сценарій: Під час підготовки до тератрансформації Венери у верхніх шарах хмар виявлено складні молекули, що можуть бути залишками примітивного місцевого життя. Повна тератрансформація (охладження планети) призведе до неминучого знищення цього середовища.

- Завдання: Проаналізуйте етичну дилему: право людства на розширення життєвого простору проти права на існування потенційної позаземної мікробіосфери. Спрогнозуйте реакцію міжнародної спільноти. Запропонуйте компромісний варіант (наприклад, створення герметичних атмосферних заповідників).

Кейс №2: «Права дітей космосу»

- Сценарій: У першій постійній колонії на Місяці народилася дитина. Згідно з медичними показниками, її організм адаптований до місячної гравітації, і подорож на Землю (1g) буде для неї смертельно небезпечною через ризик розриву серця та переломів. Таким чином, дитина позбавлена свободи вибору місця проживання від народження.

- Завдання: Проаналізуйте порушення фундаментальних прав людини в контексті космічної колонізації. Спрогнозуйте соціальну напругу в колонії, викликану «гравітаційним ув'язненням». Сформулюйте проект «Етичного кодексу колоніста», що регулює питання дітонародження в умовах неземної гравітації.

43. Космічна експансія – стратегічні задачі сьогодення

Кейс №1: «Орбітальна монополія та енергетична безпека»

- Сценарій: Приватна корпорація першою розгорнула мережу космічних сонячних електростанцій, що передають енергію на Землю мікрохвильовим променем. Це дозволило зупинити глобальне потепління, але зробило більшість країн енергозалежними від одного суб'єкта, який може дистанційно «вимкнути» живлення будь-якого регіону.

- Завдання: Проаналізуйте ризики монополізації космічних ресурсів. Спрогнозуйте сценарії геополітичного тиску. Запропонуйте стратегію децентралізації космічної енергетики та створення міжнародного органу контролю за потоками енергії з космосу.

Кейс №2: «Сміттєвий колапс як бар'єр для майбутніх поколінь»

- Сценарій: Протягом останніх 10 років кількість запусків супутників зросла вдвідесятеро. Через серію зіткнень навколоземна орбіта виявилася заблокованою щільною хмарою уламків (синдром Кесслера). Будь-яка спроба запустити міжпланетну місію призводить до знищення корабля на зльоті. Експансія зупинилася.

- Завдання: Проаналізуйте економічні збитки для стратегічних галузей (зв'язок, метеорологія, оборона). Спрогнозуйте терміни природного самоочищення орбіти. Розробіть

пріоритетний план «стратегічної деблокади» орбітального простору, оцінивши необхідні технологічні та фінансові ресурси.

## Теоретико-методологічні дослідження

Теоретико-методологічні дослідження в межах самостійної роботи студента з курсу «Основи астроекології» є фундаментальним етапом опанування дисципліни, оскільки вони формують базис для розуміння принципів існування життя в екстремальних позаземних умовах. Цей вид роботи спрямований на глибоке осмислення концептуального апарату науки, вивчення законів взаємодії біологічних та технічних систем, а також розробку методів прогнозування стабільності штучних біосфер. Особливістю астроекології є її виражена міждисциплінарність, тому теоретичне дослідження студента завжди балансує на межі біології, екології, фізики космосу та інженерії. Характеризуючи цей напрям СРС, слід зазначити, що він не обмежується лише пасивним опрацюванням літератури, а вимагає від студента синтезу нових знань – створення логічних моделей, які пояснюють, як фундаментальні екологічні закони Землі трансформуються в умовах іншої гравітації, тиску чи радіаційного фону.

Методологічна частина дослідження полягає у виборі та обґрунтуванні інструментарію, за допомогою якого студент аналізує космічні об'єкти як потенційні еконіші. Це включає опанування методів системного аналізу, термодинамічного підходу до оцінки потоків енергії в замкнених системах, а також методів математичного моделювання біологічних ритмів. Важливо, щоб студент розумів: методологія астроекології базується на принципі «планетарного аналогізму», де земні екстремальні екосистеми (глибоководні жолоби, антарктичні озера, пустелі) виступають моделями для вивчення Марса чи Європи. Таким чином, самостійна робота стає процесом побудови інтелектуального мосту між відомими земними процесами та гіпотетичними космічними сценаріями, що потребує високого рівня абстрактного мислення та здатності до верифікації теоретичних висновків через дані сучасних космічних місій.

Рекомендації щодо виконання теоретико-методологічного дослідження варто розпочати з критичного підходу до вибору джерел. Оскільки астроекологія – це галузь, що стрімко розвивається, студенту слід орієнтуватися не лише на класичні підручники, а й на актуальні звіти космічних агентств (NASA, ESA), наукові публікації в журналах типу «Astrobiology» або «Life Sciences in Space Research». Першим кроком має стати детермінація понятійного апарату: чітке розмежування таких понять, як «тератрансформація», «парапланетарна система», «біорегенеративна система життєзабезпечення». Без термінологічної точності теоретичне дослідження втрачає наукову цінність, перетворюючись на науково-популярний огляд, чого слід уникати.

Під час написання теоретичного розділу рекомендується дотримуватися логіки системного підходу. Студент повинен розглядати будь-який астроекологічний об'єкт (наприклад, місячну базу) не як набір технічних модулів, а як цілісну біогеоценотичну одиницю. У роботі слід обов'язково проаналізувати потоки речовини та енергії. Методологічно правильно буде виділити в системі блоки продуцентів, консументів та редуцентів, навіть якщо вони є штучно створеними. Особливу увагу варто приділити аналізу лімітуючих факторів, які в космосі є специфічними: якщо на Землі це часто волога чи температура, то в астроекології це може бути магнітне поле, спектральний склад світла для фотосинтезу або іонізуюче випромінювання. Теоретичне обґрунтування того, як ці фактори впливають на гомеостаз системи, є ядром самостійної роботи.

Наступна рекомендація стосується використання методів візуалізації теоретичних моделей. Студенту варто самостійно розробляти структурно-логічні схеми, що відображають взаємозв'язки між компонентами екзобіосфери. Наприклад, схема кругообігу азоту в гермооб'ємі з урахуванням втрат у технічних фільтрах є чудовим прикладом методологічної обробки теми. Також важливо включати в дослідження елементи компаративного аналізу: порівняння теоретичної моделі, створеної студентом, із результатами реальних експериментів (наприклад, проєкту MELiSSA або БІОС-3). Це дозволяє оцінити реалістичність теоретичних побудов та виявити можливі «вузькі місця» в прогнозах.

Завершальним етапом роботи має бути прогностичний висновок. Теоретико-методологічне дослідження не може закінчуватися лише констатацією фактів; воно повинно містити відповідь на питання: «Що станеться із системою за певних умов у майбутньому?». Студент має сформулювати

умови стабільності проєктованої екосистеми та вказати межі її стійкості. Рекомендується також приділяти увагу етичним аспектам методології – наприклад, принципам планетарного карантину, що є невід’ємною частиною сучасної астроекологічної етики. Це демонструє зрілість дослідника та його розуміння відповідальності за біологічну безпеку в космосі.

Оформлення результатів дослідження має відповідати академічним стандартам, але водночас відображати специфіку предмета. Текст повинен бути структурованим, із чітким виділенням вступу (де обґрунтовується вибір методології), основної частини (аналіз взаємодій) та висновків. Використання математичних формул для опису швидкості регенерації ресурсів або термодинамічних показників ентропії в системі лише підсилює наукову вагу роботи. Загалом, успішне виконання теоретико-методологічного дослідження з основ астроекології – це здатність студента перетворити сухі дані астрофізики та біології на живу, динамічну модель майбутнього людства у Всесвіті. Такий підхід не лише сприяє отриманню високої оцінки, а й формує науковий світогляд, необхідний для роботи в сучасних високотехнологічних галузях. Пріоритетом має бути не обсяг тексту, а щільність наукових аргументів та логічна стрункість доказів, що підтверджують можливість тривалого співіснування людини та біосфери за межами рідної планети.

## Підготовка до контрольних робіт

Підготовка до модульної контрольної роботи (МКР) з дисципліни «Основи астроекології» є одним із найбільш відповідальних етапів самостійної роботи студента, оскільки вона вимагає не просто механічного відтворення вивченого матеріалу, а його глибокої систематизації на стику кількох фундаментальних наук. Астроекологія як навчальна дисципліна охоплює колосальний масив інформації – від хімічного складу реголіту різних планет до складних математичних моделей замкнених біорегенеративних систем. Тому підготовка до модуля – це насамперед процес вибудовування цілісної картини Всесвіту як динамічної системи, де життя розглядається як космічний чинник. Самостійна робота в цьому контексті має бути спрямована на подолання фрагментарності знань і формування здатності швидко перемикатися між мікрорівнем (метаболізм окремих штамів бактерій-екстремофілів) та макрорівнем (стратегії тератрансформації планет або вирішення парадоксу Фермі).

Процес підготовки до модуля слід починати з інвентаризації теоретичних знань та їхньої перевірки на відповідність сучасним науковим даним. Оскільки астроекологія базується на актуальних дослідженнях, студенту важливо переглянути конспекти лекцій через призму останніх відкриттів космічних місій, що дозволить наповнити абстрактні формули конкретним змістом. Самостійна робота має включати ретельне опрацювання ключових концепцій: енергетики екосистем, ієрархічної структури Всесвіту та етичних протоколів контакту. Особливістю модульної контрольної з цієї дисципліни часто є наявність аналітичних завдань, тому підготовка не може обмежуватися лише читанням – вона повинна включати активне розв'язання кейсів, де потрібно спрогнозувати виживання популяції в умовах, наприклад, високої радіації або низької гравітації.

Рекомендації щодо ефективної підготовки до МКР варто розпочати з методу системного картографування. Студенту рекомендується створити ментальні карти (mind maps) для кожного змістового модуля. Це дозволить візуалізувати зв'язки між темами: наприклад, як історія пошуків позаземного життя пов'язана з розробкою сучасних біосигнатур, і як це, у свою чергу, впливає на параметри рівняння Дрейка. Такий підхід допомагає структурувати пам'ять і дозволяє під час контрольної роботи швидко знаходити аргументи для складних розгорнутих відповідей. Важливо не просто зазубрювати терміни, а розуміти етимологію та функціональне значення кожного явища, як-от різниця між екологічною нішею на Землі та її «упаковкою» в штучному космічному об'єкті.

Наступна рекомендація стосується роботи з кількісними показниками. В астроекології критично важливо оперувати порядками величин. Студент повинен самостійно виписати та запам'ятати базові константи: сонячну постійну на різних відстанях від Сонця, середні рівні радіації на Марсі чи Місяці, ефективність фотосинтезу різних біоморф. Під час модуля вміння підкріпити теоретичну тезу конкретною цифрою або фізичним законом (наприклад, другим законом термодинаміки для пояснення втрат енергії в трофічних ланцюгах) суттєво підвищує якість відповіді. Самостійна підготовка має обов'язково включати тренувальні розрахунки балансу кисню та води в гермооб'ємах, оскільки такі задачі часто складають практичну частину МКР.

Окрему увагу варто приділити аналізу прогностичних кейсів. Рекомендується заздалегідь опрацювати сценарії «критичних точок» у замкнених екосистемах: що станеться при виході з ладу певного блоку регенерації, або як інвазійний вид може змінити структуру екзобіосфери. Підготовка до модуля – це найкращий час для того, щоб побудувати власні гіпотези щодо вирішення парадоксу Великого мовчання або етичних дилем колонізації. Студент має бути готовим не лише до відтворення фактів, а й до аргументації власної позиції з позицій астроекологічного імперативу. Це вимагає опрацювання додаткової наукової літератури та філософських праць, що стосуються майбутнього людства як космічного виду.

Нарешті, важливою частиною СРС є самоконтроль через тестування та взаєморецензування. Студентам корисно об'єднуватися в малі групи для обговорення найбільш складних тем, таких як алгоритми тератрансформації або структура екзобіосфер. Обговорення допомагає виявити прогалини у власних знаннях і подивитися на проблему з іншого боку. Психологічно важливо також приділити увагу розподілу часу: матеріал з «Основа астроекології»

занадто об'ємний для вивчення в останню ніч. Регулярна, поетапна підготовка, що поєднує теоретичний аналіз, математичні розрахунки та філософську рефлексію, гарантує не лише успішне складання модульної контрольної роботи, а й глибоке, професійне розуміння предмету, що виходить далеко за межі екзаменаційної відомості. Кінцевим результатом такої самостійної роботи має стати впевненість у тому, що студент здатен оперувати категоріями космічного масштабу, зберігаючи при цьому наукову строгість екологічного мислення.

## Самостійна теоретична підготовка

Теоретична підготовка в межах самостійної роботи студента з курсу «Основи астроекології» є стрижневим компонентом навчання, що визначає здатність майбутнього фахівця оперувати категоріями космічного масштабу. Астроекологія – це молода, динамічна наука на стику біології, астрофізики та інженерії, тому її теоретичний базис не є статичним набором догм, а постійно оновлюється разом із кожним успішним запуском міжпланетної станції чи відкриттям нової екзопланети. Характеризуючи цей аспект самостійної роботи студента, слід наголосити, що він спрямований на формування системного екологічного мислення, де Земля розглядається не як ізольована домівка, а як частина глобальних енергетичних та речовинних потоків Всесвіту. Теоретична підготовка вимагає від студента не просто запам'ятовування фактів, а глибокого розуміння того, як фундаментальні закони природи – від другого закону термодинаміки до принципів біотичної регуляції – діють в екстремальних умовах позаземного простору.

Основним змістом теоретичної підготовки є опанування концептуальних моделей штучних біосфер та стратегій космічної експансії. Студент має самостійно дослідити ієрархічну структуру Всесвіту, вивчити життя як космічне явище та проаналізувати стратегії виживання живих систем. Важливим елементом є вивчення енергетики екосистем, де особлива увага приділяється трансформації сонячної енергії в замкнених контурах. Теоретична робота передбачає аналіз парадоксів, таких як парадокс Фермі або Великого мовчання, що вимагає залучення знань з астрофізики та соціології. Опанування рівняння Дрейка та принципів пошуку біосигнатур формує методологічну базу для аналізу ймовірності існування позаземного життя. Таким чином, самостійна робота студента стає процесом інтелектуального моделювання, де студент виступає архітектором гіпотетичних світів, базуючись на строгому науковому підході.

Рекомендації щодо виконання теоретичної підготовки варто розпочати з важливості роботи з першоджерелами та актуальними науковими базами даних. Оскільки підручники часто не встигають за темпами розвитку космічних технологій, студенту рекомендується активно використовувати ресурси NASA, ESA та публікації у провідних наукових журналах (наприклад, «Astrobiology», «Nature Astronomy»). Першим кроком має бути створення персонального глосарію. Астроекологія насичена специфічною термінологією: «тератрансформація», «екзобіосфера», «LSS» (системи життєзабезпечення), «ефект Кесслера», «зони придатності до життя». Чітке розуміння дефініцій є запорукою логічної цілісності будь-якого подальшого аналізу. Без термінологічного фундаменту неможливо побудувати складну прогностичну модель.

Наступна рекомендація стосується методу критичного порівняння. Теоретична підготовка буде значно ефективнішою, якщо студент порівнюватиме різні наукові гіпотези. Наприклад, аналізуючи причини відсутності контакту з інопланетними цивілізаціями, варто розглянути як гіпотезу «унікальної Землі», так і теорії «Великого фільтра». Це розвиває аналітичні здібності та вчить бачити проблему під різними кутами. Також важливо інтегрувати кількісні дані у теоретичні міркування. Астроекологія – наука точна, тому студент має звикнути підкріплювати теорію цифрами: значеннями радіаційного фону, гравітаційними постійними, показниками сонячної інсоляції на різних планетах. Це перетворює абстрактні роздуми на науково обґрунтовані висновки.

Важливим аспектом є візуалізація теоретичних моделей. Студенту рекомендується самостійно розробляти схеми кругообігу речовин у гермооб'ємах або логічні ланцюжки sukcesійних процесів під час тератрансформації. Побудова графіків залежності біомаси від енергетичного входу в штучну екосистему допомагає краще зрозуміти динаміку живих систем. Також корисно проводити мисленеві експерименти (кейс-стаді): «Як зміниться структура екосистеми, якщо вхідний потік енергії зменшиться на 20%?». Така практика дозволяє перевірити міцність теоретичних знань та підготуватися до практичних завдань і модульних контрольних робіт.

Окрему увагу слід приділити етичному виміру астроекології. Теоретична підготовка повинна включати вивчення протоколів планетарного захисту та етики першого контакту. Студент має усвідомити відповідальність людства як космічного виду. Рекомендується ознайомитися з

міжнародним космічним правом та принципами сталого освоєння космосу. Це додає теоретичній підготовці гуманістичного змісту та формує етичну позицію майбутнього дослідника. Без розуміння етичних бар'єрів технічна експансія в космос може стати деструктивною.

Нарешті, ефективна теоретична підготовка неможлива без регулярної самоперевірки. Студенту варто використовувати контрольні запитання до кожної теми та намагатися давати на них розгорнуті письмові відповіді. Письмова фіксація думок сприяє кращому структуруванню матеріалу та розвиває науковий стиль мовлення. Корисно також брати участь у наукових дискусіях або вебінарах, що дозволяє почути різні погляди на гострі питання астроекології. У підсумку, теоретична самостійна робота має стати для студента не обтяжливим обов'язком, а захопливим пошуком відповідей на фундаментальні питання буття людини у Всесвіті. Тільки через глибоке теоретичне занурення можна стати фахівцем, здатним не лише описувати сьогодення, а й проєктувати майбутнє поза межами Землі. Кінцевим результатом такої роботи є не лише оцінка в журналі, а сформований науковий світогляд, що дозволяє бачити логіку життя в нескінченних просторах космосу.

## Тестові завдання

Тестові завдання в межах самостійної роботи студента з «Основ астроекології» є ефективним інструментом оперативного самоконтролю та систематизації знань. Особливість цієї дисципліни полягає у величезному обсязі фактичних даних, що охоплюють астрофізичні параметри планет, біологічні характеристики екстремофілів та технічні аспекти систем життєзабезпечення. Тестування дозволяє студенту не лише перевірити рівень засвоєння термінологічного апарату, а й навчитися швидко розрізняти суміжні поняття, такі як біосигнатури та техносигнатури, або диференціювати етапи тератрансформації. Як частина самостійної роботи, тести стимулюють регулярне звернення до першоджерел та конспектів, перетворюючи пасивне читання на активний пошук відповідей.

Рекомендації щодо виконання тестових завдань базуються на принципі свідомого вибору, а не механічного вгадування. По-перше, перед початком тестування необхідно ретельно опрацювати теоретичний блок, приділяючи особливу увагу кількісним показникам та специфічним законам астроекології. Під час самого виконання важливо уважно вчитуватися у формулювання запитання, оскільки в астроекологічних тестах часто використовуються уточнювальні умови (наприклад, умови «підлідного океану» чи «відкритого космосу»), які кардинально змінюють правильну відповідь.

По-друге, студенту рекомендується використовувати метод виключення завідомо хибних варіантів, що базуються на фізичній неможливості певних процесів у заданих космічних умовах. Якщо запитання стосується прогнозування, слід спиратися на системний підхід, аналізуючи, як зміна одного фактора (наприклад, рівня радіації) вплине на всю екосистему. Після завершення тесту обов'язково потрібно провести роботу над помилками, з'ясовуючи причину неправильної відповіді. Такий підхід перетворює тестування на повноцінний навчальний процес, що готує студента до вирішення складніших аналітико-прогностичних кейсів. Розглянемо декілька прикладів тестових завдань.

Тема 1. Структура астроекології та її місце в системі природничих наук

1. Яка галузь астроекології безпосередньо займається проектуванням та вивченням біорегенеративних систем життєзабезпечення (LSS) для штучних космічних об'єктів?

- А) Космічна еконістика
- Б) Екзобіологія
- В) Планетарна екологія
- Г) Палеоастроекологія

2. Визначте місце астроекології в ієрархії наук:

- А) Це суто підрозділ астрофізики, що вивчає хімічний склад зірок
- Б) Міждисциплінарна наука, що інтегрує екологічні закони з даними астрономії та космічної інженерії
- В) Прикладна галузь медицини, що вивчає лише здоров'я космонавтів
- Г) Теоретична частина географії, що описує ландшафти інших планет

Тема 2. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі

3. Як називається явище різкого зростання кількості космічного сміття на орбіті, яке може стати некерованим і заблокувати доступ до космосу для майбутніх поколінь?

- А) Ефект Доплера
- Б) Межа Роша
- В) Синдром Кесслера
- Г) Межа Чандрасекара

4. Який вплив 11-річного циклу сонячної активності є найбільш значущим для біосфери Землі?

- А) Зміна гравітаційної постійної планети
- Б) Вплив на стан іоносфери, роботу техносфери та біоритми організмів
- В) Повна зупинка фотосинтезу в океанах

Г) Зміна хімічного складу ґрунтів через припливні сили

Тема 3. Пошук позаземного життя

5. Що в астроекології називають «біосигнатурами»?

А) Радіосигнали, надіслані навмисно іншою цивілізацією

Б) Будь-які ознаки (речовини, об'єкти або явища), що свідчать про минуле чи теперішнє життя

В) Автографи перших космонавтів на обшивці станції

Г) Спеціальні символи для маркування зразків ґрунту

6. Яка планета або супутник Сонячної системи вважається найбільш перспективною для пошуку життя в підлідному океані завдяки наявності гідротермальної активності?

А) Марс

Б) Місяць

В) Європа (супутник Юпітера)

Г) Венера

Тема 4. Гіпотеза унікальної Землі та парадокс Великого мовчання

7. Основна теза «Гіпотези унікальної Землі» полягає в тому, що:

А) Життя у Всесвіті є всюдисущим

Б) Поява складного багатоклітинного життя потребує поєднання виняткових астрономічних та геологічних факторів

В) Земля – єдина планета, що має атмосферу

Г) Тільки люди здатні до космічних польотів

8. У чому полягає суть «Парадоксу Великого мовчання» (Парадокс Фермі)?

А) Радіосигнали з космосу занадто слабкі для наших приладів

Б) Суперечність між високою ймовірністю існування цивілізацій та відсутністю видимих слідів їхньої діяльності

В) Інопланетяни використовують телепатію замість радіозв'язку

Г) Космос заповнений шумом зірок, який заважає чути інші цивілізації

Тема 5. Протоколи контакту із позаземним життям за межами Землі

9. Відповідно до принципів планетарного захисту, «пряме забруднення» – це:

А) Випадкове занесення земних мікроорганізмів на інші космічні тіла

Б) Потрапляння позаземних організмів у біосферу Землі

В) Забруднення орбіти паливом ракет

Г) Викид сміття з борту МКС

10. Який орган (або набір правил) вважається головним у визначенні дій у разі виявлення інтелектуального сигналу згідно з протоколами SETI?

А) Військове командування країни, що прийняла сигнал

Б) Міжнародна академія астронавтики (IAA) та ООН

В) Приватні компанії, що володіють телескопами

Г) Міжнародний валютний фонд

Тема 6. Алгоритми колонізації космічного простору

11. Що є головним лімітуючим фактором при створенні автономної колонії на Місяці на початковому етапі?

А) Відсутність інтернету

Б) Висока вартість доставки ресурсів із Землі та дефіцит водяного льоду

В) Занадто сильна гравітація

Г) Відсутність місцевих будівельних матеріалів (реголіту)

12. Яка стратегія колонізації вважається найбільш стійкою («Life Support Strategy»)?

А) Повне постачання всіх ресурсів із Землі (Open Loop)

Б) Створення замкнених біореєнеративних циклів (Closed Loop)

В) Використання лише ядерної енергії без біологічних компонентів

Г) Заморожування екіпажу на час перебування на базі

#### Тема 7. Алгоритми тератрансформації

13. Який перший крок в алгоритмі тератрансформації Марса вважається найбільш критичним для підвищення температури?

А) Висадка хвойних лісів

Б) Створення щільної атмосфери через вивільнення парникових газів та випаровування полярних шапок

В) Будівництво скляних куполів над великими містами

Г) Фарбування поверхні планети в білий колір

14. Як називаються організми (переважно ціанобактерії та лишайники), які першими вносяться в екосистему планети під час тератрансформації?

А) Інвазійні деструктори

Б) Популяції-едифікатори (піонери)

В) К-стратегі

Г) Паразити-трансформери

#### Тема 8. Методологія космічної експансії

15. Що передбачає «етичний імператив» космічної експансії?

А) Право людини захоплювати будь-які ресурси в космосі

Б) Відповідальність за збереження земної біосфери та повагу до можливих форм позаземного життя

В) Пріоритет військових технологій над науковими

Г) Заборону на вихід людини за межі Сонячної системи

16. Параметр «L» у рівнянні Дрейка, який є критичним для методології експансії, означає:

А) Кількість планет у системі

Б) Тривалість життя технологічної цивілізації

В) Швидкість світла

Г) Відстань до найближчої зірки

Ключ до тесту:

1-А, 2-Б, 3-В, 4-Б, 5-Б, 6-В, 7-Б, 8-Б, 9-А, 10-Б, 11-Б, 12-Б, 13-Б, 14-Б, 15-Б, 16-Б.

## Ситуативні задачі

Ситуативні задачі в межах самостійної роботи з «Основ астроекології» є вищою формою навчальної діяльності, що трансформує теоретичні знання у практичні навички моделювання та прогнозування. На відміну від репродуктивних завдань, ситуативна задача (або кейс) занурює студента в умови конкретного сценарію: від аварійної ситуації на орбітальній станції до оцінки придатності екзопланети для колонізації. Цей вид роботи вимагає синтезу знань із біології, астрофізики та інженерії, змушуючи студента діяти як системний аналітик.

Робота над такими задачами розвиває здатність бачити приховані взаємозв'язки в замкнених екосистемах, де зміна одного параметра (наприклад, концентрації CO<sub>2</sub> або рівня інсоляції) неминуче викликає ланцюгову реакцію в усьому біоценозі. Рекомендації щодо розв'язання ситуативних задач базуються на алгоритмі системного аналізу. Першим кроком є «деконструкція» умови: необхідно чітко виділити всі діючі екологічні фактори (гравітація, радіація, енергетичні ресурси) та ідентифікувати компоненти системи. Студенту варто розпочати з кількісної оцінки – проведення базових розрахунків балансу речовин або енергії, що дозволить виявити «вузькі місця» у заданому сценарії. Важливо не просто знайти лінійне рішення, а спрогнозувати динаміку системи в часі: як вона зміниться через добу, місяць чи рік.

Під час розв'язання слід спиратися на закон лімітуючого фактора та принципи гомеостазу. Якщо задача описує критичний збій, рекомендації студента мають бути спрямовані на стабілізацію системи через біологічні чи технічні компенсаторні механізми. Особливу увагу варто приділити обґрунтуванню кожного кроку: в астроекології будь-яка гіпотеза має підкріплюватися фізичними законами або відомими біологічними властивостями організмів-екстремофілів. Завершувати розв'язання слід прогностичним висновком, який оцінює ймовірність успіху запропонованої стратегії. Такий підхід перетворює ситуативну задачу на інструмент формування професійної інтуїції, необхідної для проєктування майбутніх позаземних оселищ.

Розглянемо кілька прикладів типових ситуативних задач. Усі вони поділені по темах навчальної програми із «Основ астроекології»

Тема 1. Структура астроекології та її місце в системі природничих наук

Задача №1: «Межі міждисциплінарності»

- Ситуація: Наукова група готує проєкт біорегенеративної системи для бази на астероїді. Виникла суперечка: астрофізики наполягають на пріоритеті захисту від гамма-випромінювання, а біологи – на підтримці мікробіологічного балансу ґрунту.

- Завдання: Обґрунтуйте роль астроекології як інтегратора цих позицій. Які саме методологічні інструменти екології допоможуть об'єднати технічні параметри захисту з біологічними потребами екосистеми?

Задача №2: «Астроекологічна експертиза»

- Ситуація: Комерційна компанія планує видобуток літію на супутнику іншої планети й стверджує, що оскільки об'єкт абіотичний (неживий), екологічна експертиза не потрібна.

- Завдання: Використовуючи структуру астроекології, доведіть необхідність «екзоекологічного» аудиту. Які ризики для майбутньої колонізації та наукових досліджень може створити неконтрольований видобуток ресурсів на безжиттєвих об'єктах?

Тема 2. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі

Задача №1: «Суперспалах та продовольча безпека»

- Ситуація: Отримано прогноз про сонячний суперспалах, що виведе з ладу всі системи супутникової навігації (GPS) на тривалий термін.

- Завдання: Спрогнозуйте непрямі екологічні наслідки для агросфери Землі (робота «розумних» ферм, логістика добрив). Як деградація техносфери під впливом космосу вплине на стійкість локальних екосистем?

Задача №2: «Сміттева завіса»

- Ситуація: На низькій навколоземній орбіті щільність сміття досягла межі, за якої кожен новий запуск створює тисячі уламків.

- Завдання: Проаналізуйте «синдром Кесслера» як астроекологічний фактор. Як неможливість виведення нових метеосупутників вплине на здатність людства моніторити глобальні зміни клімату на Землі?

Тема 3. Пошук позаземного життя

Задача №1: «Хибна позитивна біосигнатура»

- Ситуація: На екзопланеті виявлено високу концентрацію кисню (30%). Радість від відкриття «двійника Землі» затьмарена відсутністю метану та наявністю потужного ультрафіолетового випромінювання від зірки.

- Завдання: Проаналізуйте можливість абіотичного походження кисню (фотоліз води). Сформулюйте висновок: чи є кисень у даному випадку надійним доказом життя, і які додаткові перевірки необхідні?

Задача №2: «Сліди в кріовулканах»

- Ситуація: Зонд пролітає крізь шлейф викидів Енцелада і фіксує складні органічні молекули та солі, але не знаходить живих клітин.

- Завдання: Охарактеризуйте методологію інтерпретації цих даних. Чи може відсутність цілих клітин свідчити про «передбіологічну» стадію розвитку екосистеми? Який прогноз щодо існування життя в глибині океану можна зробити?

Тема 4. Гіпотеза унікальної Землі та парадокс Великого мовчання

Задача №1: «Фільтр рідкісного Місяця»

- Ситуація: Знайдено планету-аналог Землі, але без великого супутника. Математичне моделювання показує, що нахил її осі обертання хаотично змінюється кожні 100 тисяч років.

- Завдання: Спрогнозуйте долю біосфери на такій планеті. Чи збігається цей кейс із гіпотезою унікальної Землі? Чи встигне еволюціонувати розумне життя в умовах постійних глобальних змін клімату?

Задача №2: «Цивілізація-відшельник»

- Ситуація: Припустимо, цивілізація на планеті в океані під 100-кілометровим шаром льоду досягла високого інтелекту, але не має доступу до зоряного неба.

- Завдання: Як цей сценарій пояснює «Велике мовчання»? Чи зможуть такі істоти створити техносигнатури, які ми здатні зафіксувати із Землі?

Тема 5. Протоколи контакту із позаземним життям за межами Землі

Задача №1: «Біологічний карантин на орбіті»

- Ситуація: Автоматична місія повертає зразок ґрунту з Марса. У камері зберігання зафіксовано незрозуміле зростання тиску, що може свідчити про газообмін живих організмів.

- Завдання: Які пункти протоколу планетарного захисту мають бути задіяні негайно? Спрогнозуйте наслідки, якщо апарат здійснить посадку на Землю без додаткової перевірки.

Задача №2: «Етика активного SETI»

- Ситуація: Група ентузіастів вирішила надіслати потужний радіосигнал до найближчої системи, де знайдено планету в зоні придатності до життя.

- Завдання: Проаналізуйте безпекові ризики такого кроку. Хто має право приймати рішення про виявлення місцезнаходження Землі згідно з міжнародними протоколами?

Тема 6. Алгоритми колонізації космічного простору

Задача №1: «Ресурсний колапс колонії»

- Ситуація: На марсіанській базі через аварію втрачено 50% запасів азоту, який використовується для розведення кисню в атмосфері модулів. Доставка із Землі можлива лише через 2 роки.

- Завдання: Запропонуйте алгоритм дій щодо стабілізації екосистеми. Які джерела азоту на Марсі (реголіт, лід) можна використати і які енергетичні витрати це спричинить?

Задача №2: «Генетичне різноманіття на «Ковчегу»»

- Ситуація: Проектується місія тривалістю 100 років для колонізації далекої планети. Екіпаж – 50 осіб.

- Завдання: Спрогнозуйте ризики інбридингу та біологічної деградації популяції. Які технологічні рішення (банки генів, криозаморозка) слід включити в алгоритм колонізації для забезпечення життєздатності майбутньої екосистеми?

Тема 7. Алгоритми тератрансформації

Задача №1: «Запуск парникового ефекту»

- Ситуація: Для розігріву планети вирішено використати фторовані гази. Проте модель показує, що це зруйнує озоновий шар, щойно він почне формуватися.

- Завдання: Виправте алгоритм тератрансформації. Як збалансувати потребу в теплі та захист від ультрафіолету на початкових етапах біологічного освоєння?

Задача №2: «Едифікатори-втікачі»

- Ситуація: Впроваджені на Марс ГМО-лишайники почали розмножуватися вдесятеро швидше, ніж планувалося, і почали поглинати рідкісні сполуки фосфору, необхідні для майбутніх сільськогосподарських культур.

- Завдання: Проаналізуйте ризики використання «інвазійних трансформерів». Як змінити алгоритм рекультивациі, щоб зупинити домінування одного виду без шкоди для загального процесу трансформації?

Тема 8. Методологія космічної експансії

Задача №1: «Корпоративна vs Планетарна експансія»

- Ситуація: Приватна компанія заснувала базу на Місяці та оголосила її територію своєю власністю, відмовляючись надавати дані про екологічний стан району іншим країнам.

- Завдання: Оцініть ситуацію з позицій методології космічного права та етики. Які загрози для сталого розвитку людства як космічного виду створює така політика?

Задача №2: «Критерій L у реальному часі»

- Ситуація: Людство розширює свою присутність, але на Землі загострюються екологічні кризи. Частина бюджетів переспрямовується з космосу на ліквідацію наслідків кліматичних змін.

- Завдання: Як цей сценарій впливає на методологію прогнозування космічної експансії? Чи є вихід у космос способом вирішення земних проблем, чи він лише прискорює вичерпання ресурсів (критерій виживання цивілізації)?

## Розрахунково-моделюючі задачі

Розрахунково-моделюючі задачі в курсі «Основи астроекології» є найбільш математизованою та технічно складною частиною самостійної роботи студента. Їхня роль полягає в переході від якісного опису космічних явищ до їхньої кількісної оцінки, що є критично важливим для проектування реальних систем життєзабезпечення та аналізу придатності планет до заселення. Виконання таких завдань вимагає від студента впевненого володіння апаратом термодинаміки, екологічної математики та фізики. У межах астроекології ці задачі зазвичай охоплюють розрахунки енергетичного балансу екосистем за умов різної сонячної інсоляції, моделювання замкнених циклів кругообігу речовин (кисню, води, азоту) та оцінку стабільності популяцій у герметично закритих об'ємах. Це вчить майбутнього дослідника бачити екосистему як систему рівнянь, де кожен вхідний ресурс має бути збалансований.

Рекомендації щодо розв'язання розрахунково-моделюючих задач базуються на суворому дотриманні фізичних констант та логіки системного аналізу. Перш за все, студенту слід ретельно вивчити вихідні астрономічні параметри об'єкта: інтенсивність радіаційного фону, гравітаційну постійну та спектральний склад світла, оскільки вони визначають межі біологічної продуктивності. Під час моделювання кругообігу речовин рекомендується використовувати закон збереження маси – у замкненій системі будь-які втрати елемента повинні бути або компенсовані з резервів, або вилучені з розрахунку життєздатності екіпажу.

Важливо приділяти увагу ККД кожного етапу трансформації енергії: від фотосинтезу продуцентів до технічних систем регенерації. Студенту варто розробляти динамічні моделі, враховуючи часові лаги в реакціях екосистеми на зовнішні подразники. Також рекомендується перевіряти отримані результати на відповідність граничним біологічним нормам споживання – будь-яка математично витончена модель є хибною, якщо вона передбачає умови, несумісні з метаболізмом людини чи рослин. Такий підхід формує точність наукового передбачення та інженерну відповідальність за життєздатність майбутніх космічних поселень. Розглянемо розрахунково-моделюючі задачі на декількох типових прикладах розподілених по темах програми.

Тема 1. Структура астроекології та її місце в системі природничих наук

Задача №1: «Енергетичний бюджет замкненої екосистеми»

- Умова: Штучна екосистема площею  $100 \text{ м}^2$  отримує світлову енергію інтенсивністю  $400 \text{ Вт}$ . ККД фотосинтезу продуцентів становить  $2\%$ . На дихання рослин витрачається  $25\%$  валової первинної продукції. Енергетична цінність сухої біомаси –  $18 \text{ кДж/г}$ .

- Завдання: Розрахуйте добовий приріст біомаси в системі (у кг). Побудуйте модель розподілу енергії між трофічними рівнями, якщо в систему введено одного консумента з енергетичними потребами  $12 \text{ МДж/добу}$ .

Задача №2: «Масштабування еконіш»

- Умова: Для підтримки життєдіяльності однієї людини необхідно  $0,9 \text{ кг}$  кисню на добу. Рослинний модуль виробляє кисень із розрахунку  $15 \text{ г/м}^2$  за світловий період.

- Завдання: Розрахуйте мінімальну площу фотосинтезуючої поверхні для екіпажу з  $6$  осіб. Змоделюйте необхідний об'єм буферного балона для кисню, щоб підтримувати стабільну концентрацію в разі вимкнення освітлення на  $12$  годин.

Тема 2. Вплив космічних факторів на екосистеми Землі

Задача №1: «Радіаційний фон та мутагенез»

- Умова: Під час сонячного спалаху потік протонів збільшує радіаційний фон на орбіті до  $1 \text{ мЗв/год}$ . Припустимо, що кожен  $10 \text{ мЗв}$  накопиченої дози підвищують частоту спонтанних мутацій у насіння рослин на  $0,1\%$ .

- Завдання: Розрахуйте сумарну дозу, яку отримає насіння за  $48$  годин спалаху. Спрогнозуйте відсоток мутантних особин у першому поколінні, якщо базовий рівень мутагенезу становить  $0,5\%$ .

Задача №2: «Ерозія атмосфери сонячним вітром»

- Умова: Магнітне поле планети слабшає, через що сонячний вітер «вимиває» верхні шари атмосфери зі швидкістю  $2 \text{ кг/с}$ . Маса атмосфери планети –  $5 \cdot 10^{15} \text{ кг}$ .

- Завдання: Розрахуйте, через скільки мільйонів років тиск атмосфери впаде на 10%. Змодельуйте зміну інтенсивності ультрафіолетового випромінювання на поверхні, якщо швидкість втрати озону пропорційна швидкості втрати загальної маси атмосфери.

Тема 3. Пошук позаземного життя

Задача №1: «Розрахунок зони придатності до життя (CHZ)»

- Умова: Світність зірки у 4 рази менша за сонячну ( $0,25 L$ ). Вважається, що на Землі потік енергії становить  $1,36 \text{ кВт/м}^2$ . Межі CHZ визначаються потоком енергії від  $0,7$  до  $1,1$  від земного.

- Завдання: Використовуючи закон обернених квадратів, розрахуйте відстань (в а.о.), на якій має знаходитися планета біля цієї зірки, щоб потрапити в центр зони придатності до життя.

Задача №2: «Концентрація біосигнатур»

- Умова: Метаногенні бактерії в океані супутника виробляють  $10^6$  молекул метану на одну клітину за секунду. Об'єм океану –  $10^{18} \text{ м}^3$ . Метан руйнується під дією радіації з періодом напіврозпаду 10 років.

- Завдання: Розрахуйте мінімальну кількість бактерій в океані, необхідну для того, щоб спектрометр зонда міг зафіксувати метан у концентрації 10 частин на мільярд.

Тема 4. Гіпотеза унікальної Землі та парадокс Великого мовчання

Задача №1: «Ймовірнісна модель рівняння Дрейка»

- Умова: У Галактиці щорічно народжується 7 зірок. 50% мають планети. На 20% цих планет виникає життя. На 1% планет із життям виникає інтелект. Цивілізація здатна до зв'язку протягом  $L = 10\,000$  років.

- Завдання: Розрахуйте кількість цивілізацій ( $N$ ) у Галактиці зараз. Змодельуйте, як зміниться  $N$ , якщо через екологічні кризи параметр  $L$  скоротиться до 500 років.

Задача №2: «Гравітаційний бар'єр експансії»

- Умова: Планета-суперземля має масу у 5 разів більшу за земну, а радіус у 1,5 раза більший. Перша космічна швидкість для Землі –  $7,9 \text{ км/с}$ .

- Завдання: Розрахуйте першу космічну швидкість для цієї планети. Змодельуйте витрати палива (за рівнянням Ціолковського), щоб вивести корисне навантаження на орбіту, порівняно із земними умовами. Як цей показник впливає на вирішення парадоксу Фермі?

Тема 5. Протоколи контакту із позаземним життям за межами Землі

Задача №1: «Часова затримка зв'язку»

- Умова: Джерело сигналу знаходиться на відстані 12 світлових років. Протокол вимагає верифікації сигналу протягом 6 місяців після отримання, після чого надсилається відповідь.

- Завдання: Розрахуйте загальний час «комунікаційного циклу» (від моменту відправки першого сигналу інопланетянами до моменту отримання ними нашої відповіді). Змодельуйте кількість поколінь людей, що зміняться на Землі за цей час.

Задача №2: «Стерилізація та ймовірність занесення (Forward Contamination)»

- Умова: Поверхня зонда площею  $20 \text{ м}^2$  містить  $1000 \text{ бактерій/м}^2$ . Процес дезінфекції вбиває 99,9% мікроорганізмів. Радіація під час польоту знищує ще 90% тих, що залишилися.

- Завдання: Розрахуйте ймовірність того, що на поверхню іншої планети потрапить хоча б одна жива бактерія. Чи відповідає це нормі COSPAR (не більше  $10^{-4}$  для певних зон)?

Тема 6. Алгоритми колонізації космічного простору

Задача №1: «Регенерація води в замкненому контурі»

- Умова: Екіпаж із 3 осіб споживає 12 л води на добу. Система регенерації має ефективність 95%. Маса запасу води при старті – 500 л.

- Завдання: Розрахуйте, на скільки днів вистачить запасу води без поповнення ззовні. Змодельуйте графік зменшення ресурсів.

Задача №2: «Тепловідвід бази»

- Умова: Обладнання бази виділяє  $15 \text{ кВт}$  теплової енергії. Температура зовні на Місяці вночі –  $-170 \text{ C}^\circ$ . Площа радіаторів охолодження –  $50 \text{ м}^2$ . Коефіцієнт випромінювання –  $0,9$ .

- Завдання: Використовуючи закон Стефана-Больцмана, розрахуйте рівноважну температуру радіаторів. Чи зможе система підтримувати внутрішню температуру  $+22\text{ }^\circ\text{C}$ ?

Тема 7. Алгоритми тератрансформації

Задача №1: «Маса атмосфери та тиск»

- Умова: Площа поверхні Марса –  $1,44 * 10^{14}\text{ м}^2$ . Гравітація –  $3,71\text{ м/с}^2$ . Необхідно підняти тиск атмосфери з  $0,006\text{ атм}$  до  $0,3\text{ атм}$  (межа Галлейна).

- Завдання: Розрахуйте масу газу (в тоннах), яку необхідно вивільнити з полярних шапок або доставити ззовні для досягнення цього тиску.

Задача №2: «Швидкість біогенної оксигенації»

- Умова: Гіпотетичні ГМО-водорості виробляють  $10^{12}$  тонн кисню на рік. Нам потрібно досягти вмісту кисню в атмосфері  $150\text{ г/м}^3$  (загальна маса кисню –  $2 * 10^{13}$  тонн).

- Завдання: Розрахуйте час (у роках), необхідний для досягнення цілі. Змоделюйте зміну швидкості процесу, якщо внаслідок потепління площа розмноження водоростей буде зростати на  $5\%$  щороку.

Тема 8. Методологія космічної експансії

Задача №1: «Демографічна ємність Сонячної системи»

- Умова: Доступні ресурси фосфору в поясі астероїдів дозволяють підтримувати біомасу, еквівалентну  $10^{15}$  людських організмів. Поточне населення Землі –  $8 * 10^9$ . Щорічний приріст –  $1\%$ .

- Завдання: Розрахуйте, через скільки років людство вичерпає біологічний ліміт ресурсів Сонячної системи за умови безперервної експансії.

Задача №2: «Ефективність міжзоряного перельоту»

- Умова: Корабель масою  $1000$  тонн має розігнатися до  $0,1\text{ с}$  (швидкість світла). Двигун працює на анігіляції матерії та антиматерії ( $E = mc^2$ ) з ККД  $50\%$ .

- Завдання: Розрахуйте масу палива (матерія + антиматерія), необхідну для розгону. Порівняйте цю масу з масою корисного навантаження. Як цей розрахунок впливає на методологію планування міжзоряних місій?

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСИ

### *Основна:*

1. Хом'як І. В. Екосистемологія : навч. посіб. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. 235 с.
2. Хом'як І. В. Інструктивно-методичні матеріали до практичних занять з освітньої компоненти «Основи астроекології». Житомир: видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2026. 51 с.
3. Хом'як І. В. Історія екології : навч. посіб. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2023. 310 с.
4. Theoretical basis of classification of terraforming methods / I. V. Khomiak, I. P. Onyshchuk, O. M. Vasylenko. Ecological sciences. 2024. № 4 (55). P. 234–237.
5. Onyschuk I. P., Khomiak I. V. The use of the complex action of environmental factors in the process of space colonization. Ecological sciences. 2022. № 3 (42). P. 107–110.
6. Wandel A., Gale J. Life in Space: Astrobiology for Nonscientists. [В. м.] : Springer Nature, 2025. 376 p.

### *Додаткова:*

1. Агапітов О.В. Магнітосфера Землі. За матеріалами супутникових спостережень. Методичні рекомендації до лабораторних робіт. Для студентів фізичного факультету. Київ: 2008. 68 с.
2. Александров Ю. В., Шевченко В. Г. Астрофізика: підручник. Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 252 с.
3. Александров Ю.В. Основи релятивістської космології. Підручник. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2004. 133 с.
4. Александров Ю.В. Фізика планет. Підручник. Київ: ІЗМН, 1996. 423 с.
5. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А.. Загальна астрономія: підручник для вищих навчальних закладів. Харків: ПромАрт, 2019. 524 с.
6. Андрієвський, С. М., & Кузьменков, С. Г. (2022). Ядерна астрофізика.
7. Артеменко І.О. Хом'як І.В. Формування природних вербових лісів в процесі рекультивациі прибережної зони. Збірник тез доповідей науково-практичного семінару студентів та аспірантів «Етичні та екологічні проблеми колонізації космічного простору» (16 березня 2024 р). Житомир : Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2024. с. 22-23
8. Астрономія : навчальний посібник / І. А. Климишин, Г. О. Гарбузов, Б. О. Мурніков, Т. І. Кабанова. – Одеса : Астропринт, 2012. – 352 с.
9. Біляєв М. Моделювання і прогнозування стану довкілля : підручник для студентів вищих навчальних закладів І М. М. Біляєв, В. В. Біляєва, П. С. Кіріченко; Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна МОН України. Кривий Ріг: Вид. Р. А. Козлов, 2016. 207 с.
10. Божинський В. Б., Хом'як І. В. Особливості використання клена ясенелистого в процесі рекультивациі та тераформінгу. Етичні та екологічні проблеми колонізації космічного простору : зб. тез доп. наук.-практ. семінару студентів та аспірантів (Житомир, 16 берез. 2024 р.). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2024. С. 24.
11. Бондар С. С., Хом'як І. В. Тератрансформаційні стратегії освоєння незаселених субстратів. Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції : тези Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених. Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 16.
12. Брень А. Л., Хом'як І. В. Екологічні стратегії рослин в процесі відновлення природної рослинності. Сучасні проблеми екології : тези XVIII Всеукр. наук. on-line конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнар. участю (Житомир, 06 жовт. 2022 р.). Житомир : Житомирська політехніка, 2022. С. 23. Бурлака В.А., Грабар І.Г., Хом'як І.В.,

- Сукненко Т.М. Екологія і відходи; під ред. Бурлака В.А. Житомир ПП «Рута», 2009. Кн. 2, том  $\frac{3}{4}$  - 431 с.
13. Василенко О. М., Хом'як І. В., Тіт В. І. Моделювання динаміки асоціації *Dicrano-Pinetum* на території Житомирського Полісся. Український журнал природничих наук. 2025. № 12. С. 309-319.
  14. Відьмаченко А.П., Мороженко О.В. Порівняльна планетологія. Навчальний посібник. Київ: ТОВ ДІА. 2013. 552 с.
  15. Відьмаченко А.П., Стеклов О.Ф. Фізичні характеристики природних супутників планет. Монографія. Київ: НУБіП України, 2023. 198 с.
  16. Гарбар О. В., Весельська Е. В., Хом'як І. В., Гарбар Д. А. Просторово-часові зміни структури земельного покриву Словечансько-Овруцького кряжу. Український журнал природничих наук. № 7 2024. с. 197-209.
  17. Дзюбенко М.І. Вступ до фізики навколосередовища. Навчальний посібник. Київ: ІСДО, 1994. 294 с.
  18. Євсюков М.М., Александров Ю.В. Хімія і геологія планет. Навчальний посібник. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2000. 190 с.
  19. Захожай В.А. Вступ до астрофізики та космогонії. Навчальний посібник. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2012. 208 с.
  20. Захожай В.А., Захожай О.В. Основи елементарної астрономії: навчальний посібник. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2021. 232 с.
  21. Золенко І., Хом'як І. В. Перспективи використання *Tusilago farfara* L. з метою тератрансформації та рекультивації. Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції : тези Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених. Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 32.
  22. Івченко В.М., Решетник В.М. Радіоастрономія. Начальний посібник для студентів фізичного факультету. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2021. 248 с.
  23. Киселевич Л.С. К44 Порівняльна планетологія: підручник. / Л.С. Киселевич. – К.: Ніка-Центр, 2011.- 263с.
  24. Климишин І.А. Основи космології. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2014. – 164 с.
  25. Козак Л.В. Основи фізики планет. Навчальний посібник. Київ: ВПЦ “Київський університет”, 2007. 204 с.
  26. Коніщук В.В., Хом'як І.В., Шумигай І.В. Антропогенна трансформація фітоценозів мезотрофних боліт Українського Полісся. Агроєкологічний журнал. 2025. № 1. С. 16-23.
  27. Коніщук В.В., Хом'як І.В., Шумигай І.В., Мартиненко В.В. Інвазійний потенціал *Nicandra physalodes* (L.) Gaertn. на території України. Агроєкологічний журнал. 2025 № 4. С. 29-35.
  28. Коніщук В.В., Хом'як І.В., Шумигай І.В., Онищук І.П. Динаміка рослинності полезахисних лісосмуг, уражених бойовими діями, різної інтенсивності. Агроєкологічний журнал. 2025 № 2. С. 6-13.
  29. Курс загальної астрономії: підручник для студ. вузів / С. М. Андрієвський, І. А. Климишин; ОНУ ім. І.І. Мечникова, Прикарпатський нац. ун-т ім. В. Стефаніка. – Одеса : Астропринт, 2010. – 475 с.
  30. Лещенко Д., Хом'як І. В. Рекультиваційний та тератрансформаційний потенціал *Carex hirta* L. *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції* : тези Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених. Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 54.
  31. Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум. Електронний навчальний посібник / Під ред. В.Б. Мокіна. Вінниця: ВНТУ, 2017. 84 с.
  32. Новосядлий Б. С. Структура й еволюція Всесвіту. Навчальний посібник. Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2019. 159с.

33. Онищук І. П., Хом'як І. В., Кичкирук О. Ю., Зайко Є. О. Вплив йонів свинцю (Pb) на посівні якості насіння озимої пшениці сорту «Ювілейна». Український журнал природничих наук. 2023. № 6. 69-79
34. Охорона природи: Навчальний посібник для студентів природничих спеціальностей / уклад. І.В. Хом'як, Т.В. Андрійчук. – Житомир: В - тво ЖДУ, 2022. – 245 с.
35. Панько О.О., Сергієнко О. Г. Загальна астрономія. Навчальний посібник. Одеса: ОНУ ім. І.І. Мечникова, 2020. 128 с.
36. Парновський С., Парновський О. Як влаштовано Всесвіт. Вступ до сучасної космології. Львів: Видавництво Старого Лева, 2018. 248 с.
37. Проблеми екологічної безпеки позаземних поселень : матер. ІХ Житомирського астроекотологічного семінару (13 березня 2026 р., м. Житомир) / за ред. І. В. Хом'яка. Житомир : Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2026. 39 с.
38. Робочий зошит для проведення лабораторних робіт з моделювання та прогнозування стану довкілля / уклад. І.В. Хом'як – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 22 с
39. Сікорська К. В., Хом'як І. В. Фітоценотичне різноманіття порушених оселищ з участю амброзії полинолістої на території Житомирського Полісся. Етичні та екологічні проблеми колонізації космічного простору : зб. тез доп. наук.-практ. семінару студентів та аспірантів (Житомир, 16 берез. 2024 р.). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2024. С. 27.
40. Стасюк Д., Костюк В. С., Хом'як І. В. Етичні та екологічні проблеми космічної експансії. Етичні та екологічні проблеми колонізації космічного простору : зб. тез доп. наук.-практ. семінару студентів та аспірантів (Житомир, 16 берез. 2024 р.). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2024. С. 41–43.
41. Фесюк Ю. А., Костюк В. С., Хом'як І. В. Етичні та екологічні аспекти колонізації космосу. Проблеми та перспективи. Етичні та екологічні проблеми колонізації космічного простору : зб. тез доп. наук.-практ. семінару студентів та аспірантів (Житомир, 16 берез. 2024 р.). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2024. С. 51–52.
42. Хом'як І.В., Онищук І.П. Коцюба І.Ю., Брень А.Л., Шкилюк Ю.В. Рецензія на монографічне видання «Продромус рослинності України». 2020. Екологічні науки № 2(29). Т. 1 . С. 170-173.
43. Хом'як І. В. Видова різноманітність та фітоценотична приуроченість представників Orthoptera в кар'єрах Житомирського Полісся. Український журнал природничих наук. № 7 2024. с. 197-209.
44. Хом'як І. В. Історія екології : навчальний посібник. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2023. 310 с.
45. Хом'як І. В. Короткий курс соціоекології. Методичні рекомендації до вивчення дисципліни «Соціоекологія та екологічна етика» / І. В. Хом'як, Н. С. Демчук, Т. П. Мостіпака. – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2019. – 95 с.
46. Хом'як І. В., Коніщук В. В. Прибережно-водна та болотна рослинність гірничих об'єктів Центрального Полісся. Український журнал природничих наук. 2024. № 10. С. 276-283.
47. Хом'як І. В., Онищук І. П. Інструктивно-методичні матеріали до практичних занять з освітньої компоненти «Методологія та організація наукових досліджень з екології». Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2025. 36 с.
48. Хом'як І.В., Хом'як О.І. Потенціал спонтанного тераформінгу ландшафтів суходолу з позицій сучасної теорії динаміки екосистем. Український журнал природничих наук, 2024, № 8, 289-299.
49. Хом'як І.В., Онищук І.П., Медвідь О.В. Зміна вектора динаміки автогенної сукцесії екосистем під впливом скиду зворотних вод. Екологічні науки, 2023. – № 1(46). – 49-52 С.

50. Хом'як І.В. Аналіз теорій поліклімаксу та моноклімаксу із позиції сучасної теорії динаміки екосистем. Екологічні науки. 2024. № 1(52), Том 2. 179-183.
51. Хом'як І.В. Антропогенна трансформація похідних лісів класу *Robinietaea* на території Українського Полісся Український журнал природничих наук. 2025. № 11. С. 314-324.
- 52.
53. Хом'як І. В. Відновлювана екологія та астроекологія: сталий розвиток. Соціоекологічні проблеми колонізації космосу та тераформації : матер. VIII Житомирського астроекологічного семінару (м. Житомир, 14 берез. 2025 р.). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2025. С. 48–52..
54. Хом'як І.В. Вплив інвазій видів-трансформерів на динаміку рослинності перелогів Українського Полісся. Біоресурси і природокористування. ТОМ 10, № 1-2 (2018). С. 29-35.
55. Хом'як І.В. Вплив умов середовища на напрям первинних сукцесій в районі виходів лесових порід Правобережного Полісся. Питання біоіндикації та екології. – 2015. – Вип. 20, № 1. - С. 35-46.
56. Хом'як І.В. Динаміка надземної фітомаси під час автогенних сукцесій на перелогах для території Правобережного Полісся. Екологічні науки. 2016. № 12-13. С. 33-39.
57. Хом'як І.В. Динаміка флори перелогів Українського Полісся. // *ScienceRise:Biological Science* – 2018, №1 (10). С 8-13.
58. Хом'як І.В. Збірник задач з моделювання та прогнозування стану довкілля / уклад. І.В. Хом'як. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 42 с.
59. Хом'як І.В. Ідеальний ландшафт та міські джунглі: вибір між щастям та успіхом. Жила, 2013. С. 14-19.
60. Хом'як І.В. Інвазії *Acer negundo* L. у порушені екосистеми гірничих об'єктів на території Українського Полісся. Український журнал природничих наук. 2025. № 13. С. 421-429.
61. Хом'як І.В. Методологія та організація наукових досліджень з екології. Житомир: Видавництво ЖДУ імені Івана Франка, 2024. 167 с.
62. Хом'як І.В. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. / уклад. І.В. Хом'як – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 72 с.
63. Хом'як І.В. Нове місцезнаходження *Botrychium lunaria* (*Ophioglossaceae*) на території Центрального Полісся К. УБЖ №2. 2014. С. 206-208.
64. Хом'як І.В. Особливості антропогенного впливу на природну динаміку екосистем Українського Полісся. Екологічні науки. 2018. №1 (20) том 2. С. 69-73.
65. Хом'як І.В. Проблема екотону в класифікації екосистем. // Наукові записки НаУКМА. – 2011. Т119. С. 70-72.
66. Хом'як І.В. Фітоіндикаційна характеристика трансформації рослинних угруповань відновлюваної рослинності Центрального Полісся. // Екосистеми їх оптимізація та охорона. 2011. Вип. 5 (24). С. 58-65.
67. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз передклімаксичних стадій розвитку екосистем // Питання біоіндикації та екології – 2013. Вип. 18, №1. С. 20-29
68. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз ступеня трансформації екосистем Центрального Полісся. // Питання біоіндикації та екології – 2012. Вип. 17, №1. С. 3-11
69. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз трансформаційних процесів водно-болотних угідь. // Заповідна справа в Україні. – 2013. вип. 1. Т.19., С. 38-42.
70. Хом'як І.В. Характеристика асоціацій *Agrostio-Populetum tremulae* та *Epilobio-Salicetum carpaee* класу *Epilobietea angustifoliae* для Правобережного Полісся. УБЖ №4. 2016. С. 239-254.

71. Хом'як І.В. Шлях людини у космос // Аномальні явища: методологія і практика досліджень: зб. наук. праць / під заг. ред. А.С. Білика. – К.: Знання, 2020
72. Хом'як І.В., Василенко О.М. Фітоценотичне різноманіття в районі полігону твердих побутових відходів м. Коростень. Екологічні науки, 2025. 4(61) 117-121
73. Хом'як І.В., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П. Динаміка відновлюваної рослинності піщаних кар'єрів Житомирського Полісся Екологічні науки. 2021, № 6 (39). С 204-207.
74. Хом'як І.В., Глобальні екологічні проблеми з точки зору астроекології. Екологічні науки. 2021, № 6 (39). С 154-157.
75. Хом'як І.В., Гринковська А.В., Весельська Е.В. Проблеми і перспективи синфітоіндикаційного аналізу меж та активності планетарних аномалій. Аномальні явища: методологія і практика досліджень: зб. наук. праць / під заг. ред. А.С. Білика. К.: Знання, 2020
76. Хом'як І.В., Демчук Н.С., Василенко О.М. Фітоіндикація антропогенної трансформації екосистем на прикладі Українського Полісся. Екологічні науки. 2018. №3 (22). С. 113-118.
77. Хом'як І.В., Демчук Н.С., Гарбар Д.А. Методичні рекомендації до проведення навчальної практики з екосистемології / уклад. І.В. Хом'як, Н.С. Демчук, Д.А. Гарбар – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 37 с.
78. Хом'як І.В., Демчук Н.С., Коцюба І.Ю., Ястребова Я.В. Еколого-ценотична характеристика популяції *Heracleum sosnowskyi* Manden на території Центрального Полісся 2019. Екологічні науки № 1(24). Т. 2 . С. 126-129.
79. Хом'як І.В., Зарічна М.С., Демчук Н.С., Костюк В.С., Василенко О.М., Власенко Р.П., Гарбар Д.А. Вплив зарегулювання течії на динаміку екосистем річки Лісна (Житомирська область) Екологічні науки. 2021 № 2(35). С 45-48.
80. Хом'як І.В., Козин М.С., Коцюба І.Ю., Василенко О.М., Власенко Р.П. Обґрунтування необхідності охорони витоків малих річок на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. Екологічні науки. 2022. № 1 (40). С 28-32.
81. Хом'як І.В., Коростецький В.О. Соціоекологія з основами екологічної етики. (посібник для студентів класичних університетів) Житомир. 2011. ПП «Рута» с.268.
82. Хом'як І.В., Коцюба І.Ю., Козин М.С., Василенко О.М., Гарбар Д.А. Перспективи дистанційного дослідження запасів підземних вод Словечансько-Овруцького кряжу. Екологічні науки, 2023. – № 2(47). С 217-221.
83. Хом'як І.В., Мшанецька В.В., Костюк В.С., Шпаковська Л.В., Демчук Н.С., Андрійчук Т.В., Онищук І.П. Оцінка екосозологічного потенціалу території за допомогою аналізу синфітоіндикаційних моделей динаміки. Екологічні науки. 2020, № 6 (33). Т. 1 . С. 178-184.
84. Хом'як І.В., Овдіюк О.М. Контрольоване самовідновлення рослинності як альтернатива лісової рекультивациі. Екологічні науки. № 4(55). 2024. С. 229-233.
85. Хом'як І.В., Онищук І. П. Поширення *Polystichum aculeatum* (L.) Roth. (Dryopteridaceae) на території Словечансько-Овруцького кряжу. Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. – 2018. – Том 1. – С. 48-51.
86. Хом'як І.В., Онищук І.П., Василенко О.М., Виговський І.В. Особливості складання звіту оцінки впливу на довкілля в умовах радіаційного забруднення. Екологічні науки. 2025. № 6(57). С. 216-220.
87. Хом'як І.В., Онищук І.П., Василенко О.М., Гарбар Д.А., Коцюба І.Ю. Природна та антропогенна динаміка угруповань асоціації *Geranio-Trifolietum alpestris* на території Українського Полісся. Екологічні науки, 2022. – № 5(44). – 238-242 С.
88. Хом'як І. В., Шамоніна М. І. Тератрансформаційний потенціал представників роду осокові (*Carex*). Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції : тези

Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених. Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 12.

89. Хом'як О., Хом'як І. Подвійна користь астроекології. Етичні та екологічні проблеми колонізації космічного простору : зб. тез доп. наук.-практ. семінару студентів та аспірантів (Житомир, 16 берез. 2024 р.). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2024. С. 11–21.

90. Хом'як І. В. Підвищення ефективності відновлення екосистем із використанням класичних методів екосистемології. Збірник тез доповідей наукової конференції викладачів та молодих науковців Житомирського державного університету імені Івана Франка з нагоди Днів науки. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2023. С. 284–288.

91. Хом'як, І. В., Демчук, Н. С., Гарбар, Д. А. (2021) Екосистемологія. Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт. ЖДУ ім. І. Франка, Житомир. 62 с.

92. Хом'як, І. В., Костюк, В. С., Гарбар, О. В., Демчук, Н. С., Андрійчук, Т. В., Власенко, Р. П., Гарбар, Д. А., Онищук, І. П., Шпаковська, Л. В., Омельчук, М. О. (2021) Особливості розміщення оселищ із різним ступенем антропогенної трансформації. Екологічні науки. 2021, (7). pp. 67-71.

93. Хом'як, І. В., Коцюба, І. Ю. (2023) Видова різноманітність флори західно-глинянської ділянки Дубрівського родовища первинних каолінів. Український журнал природничих наук (1). с. 60-70.

94. Хом'як, І. В., Онищук, І. П., Медвідь, О. В., Пацева, І. Г., Хом'як, О. І. Вплив скиду зворотних вод Шамраївського родовища гранітів на фіторізноманіття долини річки Роставиця. Український журнал природничих наук. 2024. №9. С. 331-343.

95. Хом'як І.В. Гарбар О.В. Никончук Є. Демчук Н.С. Гарбар Д.А. Еколого-ценотична характеристика популяції *Hedera helix* L. (Araliaceae) на території Словечансько-Овруцького кряжу. *Lesia Ukrainka Eastern European National University Scientific Bulletin Series: Biological Sciences*, 2019, 3 (387). – С. 32-37.

96. Хом'як І.В. Синтаксономія відновлюваної рослинності кар'єрів Центрального Полісся. Український ботанічний журнал, 2022. 79(3): 142–153.

97. Церклевич А.Л., Фис М.М., Шило Є.О., Заяць О.С. Планетарна геодинаміка. Фігура, гравітаційне поле, внутрішня будова Землі і планет земної групи. Монографія. Львів: видавництво “Львівська політехніка, 2022. 336 с.

98. Циганенко-Дзюбенко І. Ю., Хом'як І. В., Кірейцева, Г. В. Моделювання динаміки водних і прибережно-водних рослинних угруповань у пост-мілітарних умовах. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. Вип. 2. С. 47-55.

99. Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Гандзюра В.П., Алпатова О.М., Демчук Л.І., Хом'як І.В., Вовк В.М. Гідрохімічний статус пост-мілітарних водних екосистем с. Мощун, Київської області. Екологічні науки, 2023. – № 1(46). – 53-58 С.

100. Черняєва О.П., Золенко І.С., Лещенко Д.Є., Хом'як І.В., Відновлення природної рослинності на порушених ектопах – основа для тератрансформаційних моделей // Матеріали II всеукраїнської науково-практичної конференції «Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку». Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 56-59.

101. Черняєва О.П., Хом'як І.В. Тератрансформаційний потенціал *Elymus repens* (L.) GOULD. Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” Житомир: ЖДТУ, 2021. С. 18.

102. Шапоніна М.І. Хом'як І. В. Тератрансформаційний потенціал представників роду осокові (*Carex*) в процесі рекультивації. Тези XVIII Всеукраїнської наукової on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології» 06 жовтня 2022 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2022. С. 101.

103. Вернадський В. І. Біосфера. Львів : Наукова думка, 2013. 192 с.

104. Гітельзон І. І., Левінських М. О. Замкнуті екологічні системи: Людина – Рослини. Красноярськ : ІБФ СО РАН, 2008. 310 с.
105. Гокінг С. Коротка історія часу / пер. з англ. Г. Лелів. Харків : Клуб Сімейного Дозвілля, 2016. 240 с.
106. Климишин І. А. Астрофізика : підручник. Івано-Франківськ : Плай, 2003. 514 с.
107. Лавлок Дж. Гея: Новий погляд на життя на Землі. Оксфорд : Oxford University Press, 2000. 176 с. (англійською мовою).
108. Мусієнко М. М. Екологія рослин : підручник. Київ : Либідь, 2005. 432 с.
109. Планетологія : навч. посіб. / за ред. Т. Свідзінського. Київ : КНУ імені Тараса Шевченка, 2020. 320 с.
110. Саган К. Космос / пер. з англ. О. Овчиннікової. Харків : Клуб Сімейного Дозвілля, 2017. 352 с.
111. Тайсон Н. Д. Астрофізика для тих, хто поспішає / пер. з англ. М. Лавренюк. Київ : КМ-Букс, 2018. 192 с.
112. Шиманська Ю.П. Хом'як І.В. Використання відновлювального потенціалу похідних лісів в процесі рекультивації та тераформінгу. Збірник тез доповідей науково-практичного семінару студентів та аспірантів «Етичні та екологічні проблеми колонізації космічного простору» (16 березня 2024 р). Житомир : Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2024. с. 25-26.
113. Adams F., Laughlin G. The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. New York : Touchstone Books, 1999. 251 p.
114. Alpatova O., Maksymenko I., Patseva I., Khomiak I., Gandziura V. Hydrochemical State of the Post-Military Operations Water Ecosystems of the Moschun, Kyiv Region. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, (Nov 2022). European Association of Geoscientists & Engineers. 2022, p.1 – 5
115. Baur P. S., Clark R. S., Walkinshaw C. H., Scholes V. E. Uptake and translocation of elements from Apollo 11 lunar material by lettuce seedlings. *Phyton*. 1974. Vol. 32. P. 133–142.
116. Castro V. A., Thrasher A. N., Healy M., Ott C. M., Pierson D. L. Microbial characterization during the early habitation of the International Space Station. *Microbial ecology*. 2004. Vol. 47, no. 2. P. 119–126.
117. Crick F. H., Orgel L. E. Directed Panspermia. *Icarus*. 1973. Vol. 19, No. 3. P. 341–348. doi: 10.1016/0019-1035(73)90110-3.
118. Damage escape and repair in dried *Chroococcidiopsis* spp. from hot and cold deserts exposed to simulated space and martian conditions / D. Billi et al. *Astrobiology*. 2011. Vol. 11, No. 1. P. 65–73. doi: 10.1089/ast.2010.0530.
119. David, L. Mining Moon Ice: Prospecting Plans Starting to Take Shape. *Space.com*. 2018. 13 July. URL: <https://www.space.com/mining-moon-ice-prospecting-plans-starting-to-take-shape.html> (дата звернення: 05.10.2025)
120. Duri L. G., Caporale A. G., Roupheal Y., Vingiani S., Palladino M., De Pascale S., Adamo, P. The potential for lunar and martian regolith simulants to sustain plant growth: a multidisciplinary overview. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*. 2022. Vol. 8. P. 747821.
121. Dyson F. Infinite in All Directions: Gifford Lectures Given at Aberdeen, Scotland April–November 1985. New York : Harper & Row, 1988. 319 p.
122. Dyson F. J. Time without end: Physics and biology in an open universe. *Reviews of Modern Physics*. 1979. Vol. 51, No. 3. P. 447–460. doi: 10.1103/RevModPhys.51.447.
123. Ellery A. Supplementing closed ecological life support systems with in-situ resources on the moon. *Life*. 2021. Vol. 11, no. 8. P. 770.

124. Fackrell L. E. Humphrey S., Loureiro R., Palmer A. G., Long-Fox, J. Overview and recommendations for research on plants and microbes in regolith-based agriculture. *npj Sustainable Agriculture*. 2024. Vol. 2, no. 1. P. 15.
125. Ferl R. J., Paul A. L. Lunar Plant Biology– A Review of the Apollo Era. *Astrobiology*. 2010. Vol. 10. P. 261–274.
126. Fuchs L. H., Olsen E., Jensen K. J. Mineralogy, Mineral Chemistry and Composition of the Murchison (CM2) Meteorite. *Smithsonian Contributions to the Earth Sciences*. 1973. Vol. 10. P. 1–84. doi: 10.5479/si.00810274.10.1.
127. Gibson E. K. Volatile elements, carbon, nitrogen, sulfur, sodium, potassium and rubidium in the lunar regolith. *Phys Chem Earth*. 1977. Vol. X. P. 57–62.
128. Hart M. H. Interstellar Migration, the Biological Revolution, and the Future of the Galaxy. *Interstellar Migration and Human Experience* / ed. B. R. Finney, E. M. Jones. Berkeley : University of California Press, 1985. P. 278–291.
129. Hartmann K. W. The Resource Base in Our Solar System. *Interstellar Migration and Human Experience* / ed. B. R. Finney, E. M. Jones. Berkeley : University of California Press, 1985. P. 26–41.
130. Horneck, G., & Rettberg, P. Complete course in astrobiology. John Wiley & Sons. 2007. 413 p.
131. Jarosewich E. Chemical Analysis of the Murchison Meteorite. *Meteoritics*. 1971. Vol. 1, No. 1. P. 49–52. doi: 10.1111/j.1945-5100.1971.tb00406.x.
132. Jessie C. Buettel, Barry W. Brook, Andrew Cole, John Dickey, Emily J. Flies. Astro-ecology? Shifting the interdisciplinary collaboration paradigm. *Ecology and Evolucion*. 2018 №8: P. 9586-9589.
133. Kapets N. V. Barsukov O. O., Vynokurov D. S., Khomyak I. V. Pioneer lichen communities of the Teteriv River Basin (Ukraine). *Acta Botanica Hungarica* 2018. 60(3–4), pp. 331–355.
134. Keeter B. Scientists grow plants in lunar soil. Ed. Bill Keeter. NASA (National Aeronautics and Space Administration) 2025 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.nasa.gov/feature/biological-physical/scientists-grow-plants-in-soil-from-the-moon> (дата звернення: 15.07.2025).
135. Khomiak I. V., Onyshchuk I. P., Vakerych M. M., Hasynets Y. S., Khomiak O. I., Sabadosh V. I. Change in the general aboveground phytomass as a basis for modeling dynamics of recovery of vegetative cover. *Biosystems Diversity*, 2024, 32 (2), P. 225-232.
136. Khomiak I., Onishchuk I., Demchuk N. Phytoindicators of ecosystem dynamics in Ring-banc Ukrainian Polissia *ScienceRise:Biological Science*. – 2018 №4 (13) P. 25-30.
137. Khomiak I., Onyschuk I., Khomiak O. Analysis of the relevance of astroecological research. *Екологічні науки*. 2024. № 2. с. 35-38.
138. Khomiak I.V., Onyshchuk I.P., Kychkyruk O.Y., Vakerych M. M., Hasynets Y. S., Schwartau V. V. The impact of strike UAV explosions on soil acidity and vegetation dynamics. *Biosystems Diversity*, 2025, 33 (2), P. 2530.
139. Khomiak I.V., Onyshchuk I.P., Vakerych M.M., Hasynech Y.S. Adaptation strategies of *Heracleum sosnowskyi* in Ukrainian Polissia. *Biosystems Diversity*. 2024. 32 (1), P. 99-106
140. Khomiak I.V., Onyshchuk I.P., Vasylenko O.M. Theoretical basis of classification of terraforming methods. *Ecological sciences*. 2024. 4(55) P. 234-237.
141. Khomiak I.V. Prospects and risks of using lunar regolith to form isolated ecosystems *Ukrainian Journal of Natural Sciences*. 2025. № 14. C. 270-278.
142. Khomiak Ivan, Khomiak Oksana The influence of substrate particle size on the potential for spontaneous spread of biota across the landmass of rocky planets. *Global science: prospects and innovations. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference*. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2024. P 314-319.

143. Khomiak Ivan, Khomiak Oksana The influence of substrate particle size on the potential for spontaneous spread of biota across the landmass of rocky planets. // *Global science: prospects and innovations. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference.* Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2024. P 314-319.
144. Khomiak Ivan, Khomiak Oksana. Using artificial intelligence for express-analysis of the biotic potential of alien habitat. *Modern research in science and education. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference.* BoScience Publisher. Chicago, USA. 2024. P. 203-208.
145. Khomiak Ivan, Khomiak Oksana. Using artificial intelligence for express-analysis of the biotic potential of alien habitat. // *Modern research in science and education. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference.* BoScience Publisher. Chicago, USA. 2024. P. 203-208.
146. Khomiak Ivan, Vasylenko Olha Using the rules of natural recovery of ecosystems for the process of revegetation and terraforming. *Ekologia i racjonalne zarządzanie przyrodą: edukacja, nauka i praktyka [Zasób elektroniczny]: materiały z międzynarodowej konferencji naukowo-praktycznej, (Łomża – Żytomierz, 15.11.2023 r. / Pod redakcją naukową Zoia Sharlovych, Janisz Lisowski, Ruslana Romaniuk. Część 1.* Wydawnictwo: MANS w Łomży, 2023. S. 199-203.
147. Khomiak Ivan, Oleksandr Harbar, Nataliia Demchuk, Iryna Kotsiuba, and Iryna Onyshchuk Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*, 2019, vol. 25, No 1 (57): 136–146.
148. Khomiak, I. V., Onyshchuk, I. P., Vakerych, M. M., Hasynets, Y. S., & Schwartz, V. V. (2025). Restoration of floodplains' natural vegetation of Polissia to reduce the effects of climate change. *Biosystems Diversity*, 33(4), e2551.
149. Khomiak, I., Harbar, O., Kostyuk, V., Demchuk, N., & Vasylenko, O. Synphytoindication models of the anthropogenic transformation of ecosystems. *Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici*, 2024. 33(1), P. 65-77.
150. Khomyak I. V., Onischuk I. P., Kotsyuba I. Yu.. Ecological spectra of the most abundant Lumbricid (Okigohaeta, Lumbricidae) species of the Central Ukrainisn (Polissa) *Vestnik zoologii*, 2016. №50(6). P. 553–556,
151. Kolb, V. M. (Ed.). *Handbook of astrobiology.* CRC Press. 2018868 p.
152. Kotsiuba I. Y., Khomiak I. V., Bren A., Shamonina M. Ecological strategies of plants in the process of restoration of disrupted natural ecosystems of Ukrainian Polissia. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*. 2023. Vol. 3. P. 186-198.
153. Kozyrovska N. O., Lutvynenko T. L., Korniiichuk O. S., Kovalchuk M. V., Voznyuk T. M., et al. Growing pioneer plants for a lunar base. *Advances in Space Research*. 2006. Vol. 37. P. 93–99.
154. Kral T. A., Bekkum C. R., McKay, C. P. Growth of methanogens on a mars soil simulant. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*. 2004. Vol. 34. P. 615–626.
155. Lewis J. S. *Mining the Sky.* Reading, Massachusetts : Helix Books, 1996. 274 p.
156. Lewis J. S. *Physics and Chemistry of the Solar System.* New York : Academic Press, 1997. 591 p.
157. Mauldin J. H. *Prospects for Interstellar Travel.* San Diego : Published for the American Astronautical Society by Univelt, 1992. 370 p. (Science and Technology Series ; vol. 80).
158. Mautner M. N. Directed Panspermia. 2. Technological Advances Toward Seeding Other Solar Systems, and the Foundations of Panbiotic Ethics. *Journal of the British Interplanetary Society*. 1997. Vol. 50. P. 93–102.
159. Mautner M. N. Life in the Cosmological Future: Resources, Biomass and Populations. *Journal of the British Interplanetary Society*. 2005. Vol. 58. P. 167–180.

160. Mautner M. N. Life-Centered Ethics, and the Human Future in Space. *Bioethics*. 2009. Vol. 23, No. 8. P. 433–440. doi: 10.1111/j.1467-8519.2008.00688.x.
161. Mautner M. N. Planetary Bioresources and Astroecology. 1. Planetary Microcosm Bioassays of Martian and Meteorite Materials: Soluble Electrolytes, Nutrients, and Algal and Plant Responses. *Icarus*. 2002. Vol. 158, No. 1. P. 72–86. doi: 10.1006/icar.2002.6841.
162. Mautner M. N. Planetary Resources and Astroecology. Electrolyte Solutions and Microbial Growth. Implications for Space Populations and Panspermia. *Astrobiology*. 2002. Vol. 2, No. 1. P. 59–76. doi: 10.1089/153110702753621349.
163. Mautner M. N. *Seeding the Universe with Life: Securing Our Cosmological Future*. Washington D. C. : Legacy Books, 2000. 376 p.
164. Mautner M. N., Matloff G. L. A Technical and Ethical Evaluation of Seeding Nearby Solar Systems. *Bulletin of the American Astronomical Society*. 1979. Vol. 32. P. 419–423.
165. Michael Noah Mautner. Astroecology, cosmo-ecology, and the future of life. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2014. №4 (83): P. 449-464.
166. Novosyadlyj B., Pelykh V., Shtanov Yu., Zhuk A. Dark Energy: Observational Evidence and Theoretical Models. Vol. 1. of the three-volume monography “Dark Energy and Dark Matter in the Universe”, Ed. V.M. Shulga. Kiev: Akadempriodyka, 2013, 380 p.
167. O’Leary B. T. Mining the Apollo and Amor Asteroids. *Science*. 1977. Vol. 197, No. 4301. P. 363–366. doi: 10.1126/science.197.4301.363-a.
168. Oleksandr Harbar, Ivan Khomiak, Iryna Kotsiuba, Nataliia Demchuk and Iryna Onyshchuk. Anthropogenic and natural dynamics of landscape ecosystems of the Slovechansko-Ovruchsky ridge (Ukraine). *Soc. ekol. Zagreb*, 2021.. No. 3. P. 347-367.
169. Oleksandr Harbar, Oleksandr Lavryk, Ivan Khomiak, Ruslana Vlasenko, Tamara Andriychuk, Vitaliy Kostiuk. Spatiotemporal analysis of the changes of the main habitats of the Kozachelaherska arena (Nyzhniodniprovsky sands, Kherson region, Ukraine) in the period of 1990–2020. *Auc Geographica*, 2023. № 53. P. 64–73
170. Olsson-Francis K., Cockell C. S. Use of cyanobacteria in in-situ resource use in space applications. *Planetary and Space Science*. 2010. Vol. 58, No. 10. P. 1279–1285. doi: 10.1016/j.pss.2010.05.005.
171. O’Neill G. K. The Colonization of Space. *Physics Today*. 1974. Vol. 27, No. 9. P. 32–38. doi: 10.1063/1.3128863.
172. O’Neill G. K. *The High Frontier*. New York : William Morrow, 1977. 275 p.
173. Paul A. L., Smith D. P., Gigis P. J., Ferl J. B. and Ferl R. L. Plants grown in Apollo lunar regolith present stress-associated transcriptomes that inform prospects for lunar exploration. *Communications Biology*. 2022. P. 322.
174. Rickman D., McLemore C. A., Fikes J. Characterization summary of JSC-1A bulk lunar mare regolith simulant. 2007 [Електронний ресурс]. URL: [http://www.orbitec.com/store/JSC-1A\\_Bulk\\_Data\\_Characterization.pdf](http://www.orbitec.com/store/JSC-1A_Bulk_Data_Characterization.pdf) ; [http://www.orbitec.com/store/JSC-1AF\\_Characterization.pdf](http://www.orbitec.com/store/JSC-1AF_Characterization.pdf) (дата звернення: 28.07.2014).
175. Rybicki K. R., Denis C. On the Final Destiny of the Earth and the Solar System. *Icarus*. 2001. Vol. 151, No. 1. P. 130–137. doi: 10.1006/icar.2001.6591.
176. Taylor L., Pieters C., Britt D. Evaluations of lunar regolith simulants. *Planetary and Space Science*. 2016. Vol. 126. P. 1–7.
177. Thomson (Lord Kelvin) W. Inaugural Address to the British Association Edinburgh. *Nature*. 1871. Vol. 4, No. 92. P. 261–278. doi: 10.1038/004261a0.
178. Vlasenko Ruslana, Khomiak Ivan, Harbar Oleksandr, Demchuk Nataliia (2020) Lumbricides as a bio-indicators of the influence of electrical transmission line in the conditions of Ukrainian Polissia. *Travaux du Muséum National d’Histoire Naturelle “Grigore Antipa”* (63 (1)). pp. 4-18.

179. Wamelink G. W., Frissel J. Y., Krijnen W. H. J., Verwoert M. R. Can Plants Grow on Mars and the Moon: A Growth Experiment on Mars and Moon Soil Simulants. PLOS One. 2014. Vol. 9, no. 8. e103138.
180. Weber P., Greenberg J. Can spores survive in interstellar space? Nature. 1985. Vol. 316, No. 6027. P. 403–407. doi: 10.1038/316403a0.
181. Weinberg S. Cosmology. Oxford University Press Inc., New York, 2008. –593 C.
182. Zaets I., Burlak O., Rogutskyy I., Vasilenkoa A., Mytrokhyn O., et al. Bioaugmentation in growing plants for lunar bases. Advances in Space Research. 2011. Vol. 47. P. 1071–1078.
183. Adams F., Laughlin G. The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. New York : Touchstone Books, 1999. 251 p.
184. Allen J. Biosphere 2: The Human Experiment. New York : Penguin Books, 1991. 156 p.
185. Carroll B. W., Ostlie D. A. An Introduction to Modern Astrophysics. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2017. 1359 p.
186. Cockell C. S. Astrobiology: Understanding Life in the Universe. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2015. 472 p.
187. Damage escape and repair in dried Chroococciopsis spp. from hot and cold deserts exposed to simulated space and martian conditions / D. Billi et al. Astrobiology. 2011. Vol. 11, No. 1. P. 65–73. doi: 10.1089/ast.2010.0530.
188. Dyson F. Infinite in All Directions: Gifford Lectures Given at Aberdeen, Scotland April–November 1985. New York : Harper & Row, 1988. 319 p.
189. Dyson F. J. Time without end: Physics and biology in an open universe. Reviews of Modern Physics. 1979. Vol. 51, No. 3. P. 447–460. doi: 10.1103/RevModPhys.51.447.
190. Eckart P. Spaceflight Life Support and Biospherics. Torrance : Microcosm Press ; Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1996. 444 p.
191. Fogg M. J. Terraforming: Engineering Planetary Environments. Warrendale : SAE International, 1995. 544 p.
192. Hart M. H. Interstellar Migration, the Biological Revolution, and the Future of the Galaxy. Interstellar Migration and Human Experience / ed. B. R. Finney, E. M. Jones. Berkeley : University of California Press, 1985. P. 278–291.
193. Lewis J. S. Mining the Sky: Untold Riches from the Asteroids, Comets, and Planets. New York : Addison-Wesley, 1996. 274 p.
194. Lissauer J. J., de Pater I. Fundamental Planetary Science: Physics, Chemistry and Habitability. Cambridge : Cambridge University Press, 2013. 583 p.
195. Mauldin J. H. Prospects for Interstellar Travel. San Diego : Published for the American Astronautical Society by Univelt, 1992. 370 p. (Science and Technology Series ; vol. 80).
196. Mautner M. N. Seeding the Universe with Life: Securing Our Cosmological Future. Christchurch : Legacy Books, 2000. 212 p.
197. Plaxco K. W., Gross M. Astrobiology: A Brief Introduction. 2nd ed. Baltimore : Johns Hopkins University Press, 2011. 330 p.
198. Rybicki K. R., Denis C. On the Final Destiny of the Earth and the Solar System. Icarus. 2001. Vol. 151, No. 1. P. 130–137. doi: 10.1006/icar.2001.6591.
199. Seager S. Exoplanet Atmospheres: Physical Processes. Princeton : Princeton University Press, 2010. 264 p.

***Интернет ресурсы:***

<http://eprints.zu.edu.ua/>  
<http://euroveg.org/>  
<http://geobot.org.ua/>

<https://www.cambridge.org/core/journals/international-journal-of-astrobiology>  
<https://www.sciencedirect.com/journal/life-sciences-in-space-research/issues>  
[https://x.com/khomiak\\_ivan](https://x.com/khomiak_ivan)  
<https://www.youtube.com/@Astroeco-UA-y5l>