

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

Хом'як І.В.

**Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
«Системний аналіз якості навколишнього середовища»**

Для підготовки здобувачів другого
(магістерського) рівня вищої освіти

Галузь знань Е Природничі науки
Спеціальність Е2 Екологія
Освітня програма Екологія
Факультет Природничий

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

Житомир 2026

УДК 504.064:519.87
Х-76

Рекомендовано до друку кафедрою екології та географії Житомирського державного університету
імені
Івана Франка (протокол № 1 від 25.08. 2026).

Х-76

Хом'як І. В. Системний аналіз якості навколишнього середовища: методичні рекомендації до виконання практичних робіт Житомир: видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2026. 39 с.

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт «Системний аналіз якості навколишнього середовища» розроблені на основі сучасних досягнень у галузі системного аналізу, екологічного моніторингу та моделювання. Матеріали видання включають новітні методики оцінки стану біосфери й відображають актуальні проблеми теоретичної та практичної складової сучасної екології. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт призначений для здобувачів вищої освіти.

©Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2026

ЗМІСТ

Вступ	4
Загальна характеристика освітньої компоненти	5
Інструкція щодо техніки безпеки	7
Практична робота № 1-6	9
Практична робота № 7-13	12
Практична робота № 14-17	16
Практична робота № 18-22	20
Практична робота № 23-26	24
Рекомендована література та інтернет-ресурси	28

ВСТУП

Сучасний етап розвитку екологічної науки характеризується стрімким ускладненням екологічних проблем, що зумовлено масштабним антропогенним тиском на біосферу. Традиційні локальні підходи до оцінки стану довкілля вже не дозволяють повноцінно охопити весь комплекс взаємопов'язаних процесів, які відбуваються у природних екосистемах. Навколишнє середовище є складною, динамічною та багаторівневою системою, де зміна навіть одного компонента неминуче викликає ланцюгову реакцію в усій структурі.

Саме тому виникає об'єктивна потреба у застосуванні системного підходу, який розглядає природні та техногенні об'єкти як цілісні сукупності взаємодіючих елементів. Системний аналіз виступає ефективним методологічним інструментом, що дозволяє інтегрувати знання з різних наукових галузей – від біології та географії до математичного моделювання й кібернетики. Він забезпечує можливість не лише фіксувати поточні зміни якісних параметрів довкілля, але й прогнозувати поведінку екосистем у довгостроковій перспективі під впливом різноманітних чинників.

Актуальність впровадження системного підходу в екологічну практику зумовлена також необхідністю створення надійних систем екологічного моніторингу та управління. Без глибокого аналізу внутрішніх зв'язків у біогеоценозах неможливо розробити ефективні стратегії збереження біорізноманіття, оптимізувати природокористування чи обґрунтувати управлінські рішення для забезпечення сталого розвитку регіонів. Таким чином, засвоєння методології системного аналізу є критично важливим для формування професійних компетентностей майбутніх фахівців екологічного профілю.

Методологічну основу навчального посібника становить комплексний системний підхід, який дозволяє розглядати навколишнє середовище як цілісний об'єкт із множиною внутрішніх і зовнішніх зв'язків. У виданні поєднано фундаментальні положення загальної екології, теорії систем та математичної кібернетики. Особливу увагу приділено методам математичного моделювання, статистичного аналізу екологічних даних, а також імітаційному моделюванню динаміки біогеоценозів. Інструментальну базу посібника формують сучасні підходи до організації екологічного моніторингу, геоінформаційних технологій та методів експертного оцінювання, що забезпечують об'єктивність аналізу складноструктурованих природно-техногенних систем.

Структура навчального посібника побудована за логічно послідовним принципом – від теоретико-методологічних засад до прикладного інструментарію. Матеріал видання розподілено на кілька взаємопов'язаних розділів. У першій частині висвітлено теоретичні основи системного аналізу, визначено понятійно-термінологічний апарат та класифікацію екологічних систем. Наступні розділи присвячені конкретним завданням які дозволяють визначити рівень знань здобувачів та допоможуть їм зареєструвати їх на практиці. Кожен розділ супроводжується контрольними запитаннями та типовими завданнями для самостійної роботи. Така архітектура посібника сприяє послідовному засвоєнню матеріалу та формуванню у здобувачів вищої освіти навичок самостійного проведення системного аналізу якості навколишнього середовища.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ

Освітня компонента «Системний аналіз якості навколишнього середовища» є обов'язковою для вивчення здобувачів другого рівня вищої освіти спеціальності Е2 «Екологія» в перший рік їхньої підготовки (2 семестр). Вона складається із 7 кредитів (210 годин). Зміст компоненти розділено на 3 модулі. На лекції відведено 30 годин, на практичні роботи – 52, а на самостійну роботу 128 годин. Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної та індивідуальної роботи становить 64,1 % до 35,9 %. Ця освітня компонента спрямована на формування професійної готовності до розв'язання складних завдань у галузі екологічної безпеки та збалансованого розвитку. Навчання передбачає оволодіння навичками проведення самостійних наукових досліджень та впровадження еко-інновацій у специфічних ситуаціях із комплексними чи багатofакторними умовами.

Метою вивчення освітньої компоненти є формування здатності розв'язувати складні задачі і проблеми у сфері екології з використанням системних підходів. Відповідно до мети завданнями її вивчення є Формувати вміння розв'язувати складні задачі і проблеми у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування при здійсненні професійної діяльності або у процесі навчання з використанням системних підходів. Формувати вміння застосовувати міждисциплінарні підходи при критичному осмисленні екологічних проблем. Формувати вміння до використання принципів, методів та організаційних процедур дослідницької діяльності з використанням системних підходів.

Під час вивчення освітньої компоненти здобувачі мають отримати такі програмні результати та програмні результати.

Компетентності

ЗК1. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК2. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК3. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК4. Здатність розробляти та управляти проектами.

СК1. Обізнаність на рівні новітніх досягнень, необхідних для дослідницької та/або інноваційної діяльності у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування.

СК2. Здатність застосовувати міждисциплінарні підходи при критичному осмисленні екологічних проблем.

СК4. Здатність застосовувати нові підходи до аналізу та прогнозування складних явищ, критичного осмислення проблем у професійній діяльності.

СК7. Здатність до організації робіт, пов'язаних з оцінкою екологічного стану, захистом довкілля та оптимізацією природокористування, в умовах неповної інформації та суперечливих вимог.

СК9. Здатність самостійно розробляти екологічні проекти шляхом творчого застосування існуючих та генерування нових ідей.

СК10. Здатність оцінювати рівень негативного впливу природних та антропогенних факторів екологічної небезпеки на довкілля та людину.

Програмні результати навчання

ПР02. Уміти використовувати концептуальні екологічні закономірності у професійній діяльності.

ПР06. Знати новітні методи та інструментальні засоби екологічних досліджень, у тому числі методи та засоби математичного і геоінформаційного моделювання.

ПР10. Демонструвати обізнаність щодо новітніх принципів та методів захисту навколишнього середовища.

ПР12. Уміти оцінювати ландшафтне і біологічне різноманіття та аналізувати наслідки антропогенного впливу на природні середовища.

ПР13. Уміти оцінювати потенційний вплив техногенних об'єктів та господарської діяльності на довкілля.

ПР17Критично осмислювати теорії, принципи, методи і поняття з різних предметних галузей для вирішення практичних задач і проблем екології.

ПР20.Володіти основами еколого-інженерного проектування та еколого-експертної оцінки впливу на довкілля.

Зміст освітньої компоненти розділено на три модулі: «Основи системного аналізу», «Природні системи» та «Прогнозування стану довкілля». Перший модуль включає в себе теми: «Система і її характеристики» та «Холічний підхід до вивчення складних систем». Другий модуль складається із двох тем: «Довкілля як система» та «Моделювання природних систем». В третьому модулі розглядається одна тема – «Методологія і практика побудови прогностичних алгоритмів» (табл. 1).

Табл. 1. Структура освітньої компоненти

Назви тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	Всього	У тому числі					У тому числі					
		Лекції	Практичні/Семінарські заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота	Індивідуальні заняття	Всього	Лекції	Практичні/Семінарські заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота	Індивідуальні заняття
Модуль I. Основи системного аналізу												
Тема. 1. Система і її характеристики	50	6	12		32							
Тема. 2. Холічний підхід до вивчення складних систем	54	8	14		32							
Разом за модулем 1	104	14	26		64							
Модуль II Природні системи												
Тема. 3. Довкілля як система	32	4	8		20							
Тема. 4. Моделювання природних систем	34	4	10		20							
Разом за модулем 2	66	8	18		40							
Модуль III. Прогнозування стану довкілля												
Тема. 5. Методологія і практика побудови прогностичних алгоритмів.	36	4	8		24							
	36	4	28		24							
Усього годин	210	30	52		128							

ІНСТРУКЦІЯ ЩОДО ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

під час виконання практичних робіт з навчальної дисципліни "Методологія та організація наукових досліджень з екології"

Ця інструкція розроблена з метою забезпечення безпечних умов праці під час виконання практичних робіт з навчальної дисципліни "Методологія та організація наукових досліджень з екології". Дотримання викладених нижче правил є обов'язковим для всіх здобувачів вищої освіти.

Загальні положення:

Перед початком кожної практичної роботи уважно ознайомтесь із її змістом, послідовністю виконання та потенційними ризиками.

Усі роботи виконуйте відповідно до вказівок викладача та методичних рекомендацій.

У разі виникнення будь-яких питань щодо безпеки негайно зверніться до викладача.

Дотримання дисципліни:

На робочому місці забороняються сторонні розмови, відволікання та дії, що можуть завадити зосередженню на виконанні завдання.

Виконуйте тільки ті завдання, які передбачені планом практичної роботи.

Використання обладнання та інструментів:

Використовуйте лише справне обладнання та інструменти. Про будь-які несправності негайно повідомляйте викладача.

Робота з незнайомим або складним обладнанням дозволяється лише після відповідного інструктажу та під наглядом викладача.

Робота з комп'ютерною технікою:

Дотримуйтесь правил експлуатації комп'ютерів, проекторів та іншої офісної техніки.

Забезпечте правильне розташування монітора та клавіатури для запобігання перевтомі очей та хребта. Робіть короткі перерви для відпочинку.

Електробезпека:

Не вмикайте/вимикайте електроприлади мокрими руками.

Не допускайте перевантаження електричної мережі.

У разі виявлення пошкоджень електропроводки або обладнання негайно повідомте викладача та припиніть роботу.

Пожежна безпека:

Знайте розташування первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників, пожежних кран-комплектів) та шляхів евакуації.

Не залишайте робоче місце без нагляду з увімкненими приладами.

Поведінка у надзвичайних ситуаціях:

У разі виникнення аварійної ситуації (пожежа, пошкодження обладнання тощо) негайно повідомте викладача та дійте згідно з його вказівками.

Дотримуйтесь плану евакуації у разі надзвичайної ситуації.

Особиста гігієна:

Підтримуйте чистоту та порядок на робочому місці.

Мийте руки після завершення роботи, особливо після контакту з ґрунтом, рослинами або іншими матеріалами, що можуть містити потенційні забруднювачі.

Особливості польових робіт:

Під час польових виїздів суворо дотримуйтесь інструкцій з безпеки, наданих викладачем, щодо пересування, взаємодії з навколишнім середовищем та поводження з природними об'єктами.

Одягайте відповідний одяг та взуття, що захищає від погодних умов та можливих травм.

Будьте уважні до потенційних небезпек (отруйні рослини, комахи, нерівна місцевість).

Відповідальність:

Особи, які порушують вимоги цієї інструкції, несуть відповідальність згідно з чинним законодавством України та правилами внутрішнього розпорядку навчального закладу.

Практичні роботи № 1-6

Тема: 1. Система і її характеристики

Мета: Ознайомити здобувачів із поняттям системи та її характеристиками

Професійна спрямованість: матеріал дає змогу майбутнім фахівцям екологам орієнтуватися в. поняттях системи та її характеристиками

Ключові поняття: система, елемент, зв'язок, емерджентність

Теоретичні запитання

1. Що таке екологічна система в контексті системного аналізу і які її головні відмінності від технічних систем?
2. Дайте визначення поняттю «межі системи» стосовно об'єктів навколишнього середовища та поясніть складнощі їх визначення.
3. Охарактеризуйте властивість цілісності (емерджентності) екосистеми та наведіть приклад її прояву при оцінці якості довкілля.
4. Які системи називаються відкритими і чому всі природні екологічні системи належать саме до цього класу?
5. Опишіть поняття структури системи та поясніть, як зміна структури впливає на функціонування природно-антропогенних комплексів.
6. Що таке синергетичний ефект у системному аналізі якості навколишнього середовища і як він проявляється при комбінованому забрудненні?
7. Поясніть сутність властивості гомеостазу екологічної системи та механізм її підтримання.
8. Яку роль відіграють зворотні зв'язки (позитивні та негативні) у стабілізації чи деградації стану довкілля?
9. Дайте оцінку поняттю «стійкість системи» та назвіть основні види стійкості біосферних систем до антропогенного навантаження.
10. Як у системному аналізі екологічних об'єктів трактується характеристика «складність системи»?
11. Поясніть різницю між поняттями «функція системи» та «поведінка системи» на прикладі моніторингу якості атмосферного повітря.
12. Що таке ієрархічність (багаторівневість) екологічних систем і як цей принцип враховується при моделюванні навколишнього середовища?
13. Охарактеризуйте властивість адаптивності природних систем в умовах глобальних кліматичних змін та техногенного пресингу.
14. Поясніть поняття «пропускна спроможність системи» (ємкості середовища) як граничної характеристики екосистеми.
15. Що розуміють під станом екологічної системи і за якими основними параметрами його оцінюють у системному аналізі?
16. Як властивість нелінійності розвитку екологічних систем ускладнює прогнозування якості навколишнього середовища?
17. Визначте поняття «критична точка» (або поріг стійкості) системи та наслідки її перетину для природного середовища.
18. Опишіть сутність інформаційних взаємодій всередині екосистем та їхнє значення для збереження якісних характеристик біосфери.
19. Що таке еволюційність системи і як природний розвиток довкілля співвідноситься з антропогенною трансформацією?
20. Яким чином цільова спрямованість (цілепокладання) використовується при управлінні якістю навколишнього природного середовища як складною системою?

Тестові завдання

Яка властивість екологічної системи відображає появу нових інтегративних якостей на рівні цілого, що відсутні у її окремих компонентів?

- А) Адаптивність
- Б) Емерджентність
- В) Гомеостаз
- Г) Ієрархічність

До якого класу систем за характером взаємодії з навколишнім середовищем належать усі природні екосистеми?

- А) Закриті системи
- Б) Ізольовані системи
- В) Відкриті системи
- Г) Статичні системи

Як у системному аналізі якості довкілля називається здатність системи повертатися до стану динамічної рівноваги після зовнішнього антропогенного впливу?

- А) Синергізм
- Б) Стійкість системи
- В) Структурованість
- Г) Еволюційність

Що відбувається в екологічній системі, якщо в ній починає домінувати позитивний зворотний зв'язок після скидання забруднюючих речовин?

- А) Система стабілізує свій якісний стан
- Б) Посилюються процеси самоочищення середовища
- В) Відбувається стрімке відхилення від рівноваги та деградація системи
- Г) Система переходить у стан ізоляції

Яка характеристика визначає сукупність стійких зв'язків та взаємодій між елементами екологічної системи, що забезпечують її цілісність?

- А) Функція системи
- Б) Стан системи
- В) Поведінка системи
- Г) Структура системи

Як називається явище, коли сумарний токсичний ефект від одночасної дії кількох забруднювачів перевищує просту суму їхніх індивідуальних впливів?

- А) Гомеостаз
- Б) Синергетичний ефект
- В) Диференціація
- Г) Адитивність

Яка властивість екосистеми забезпечує її здатність підтримувати стабільність своїх внутрішніх параметрів (наприклад, хімічного складу води чи повітря) через внутрішні регуляторні механізми?

- А) Гомеостаз
- Б) Ієрархічність
- В) Нелінійність
- Г) Емерджентність

Що є «входом» у систему моніторингу якості навколишнього середовища з погляду теорії систем?

- А) Екологічні стандарти та нормативи (ГДК)
- Б) Первинні дані вимірювань концентрацій забруднюючих речовин
- В) Прогнозні моделі розвитку екологічної ситуації
- Г) Управлінські рішення щодо обмеження викидів підприємств

Яка системна характеристика описує граничну здатність екосистеми витримувати антропогенне навантаження без незворотного порушення її структури та функцій?

- А) Еволюційність середовища
- Б) Пропускна спроможність (ємність) середовища
- В) Дискретність системи
- Г) Невизначеність системи

Розрахунок індексів якості води на основі спостережень за багатьма гідрохімічними показниками є прикладом реалізації якого системного принципу?

- А) Декомпозиції системи
- Б) Агрегування інформації
- В) Ізоляції підсистем
- Г) Випадкового пошуку

Ситуаційні задачі

На промисловому підприємстві модернізували очисні споруди, встановивши новітні фільтри для вловлювання конкретного газоподібного забруднювача. Однак за кілька місяців з'ясувалося, що загальний екологічний тиск на місцеву екосистему не зменшився, оскільки уловлена речовина у процесі утилізації почала потрапляти у стічні води у більш токсичній формі. Поясніть цей результат з позицій властивості цілісності системи та ефекту перенесення проблеми між підсистемами довкілля.

Екологічна інспекція зафіксувала одночасне скидання у водойму відходів від деревообробного заводу та хімічного комбінату. Окремо кожен із цих видів стоків у наявних концентраціях не викликав масової загибелі гідробіонтів під час лабораторних тестів, але їхнє змішування у річці призвело до екологічної катастрофи. Яку властивість системи та який специфічний системний ефект ілюструє ця ситуація?

Гірська лісова екосистема протягом тривалого часу зазнавала впливу атмосферних викидів металургійного підприємства, проте її зовнішній вигляд, видовий склад та ключові функції залишалися візуально незмінними. Проте після незначного літнього паводку відбулося раптове і масштабне всихання дерев та руйнування ґрунтового покриву. Опишіть поведінку системи, використовуючи поняття гомеостазу, внутрішнього резерву стійкості та критичної точки (порогу) переходу системи в новий стан.

У степовому заповіднику з метою охорони рідкісних видів рослин повністю заборонили випас копитних тварин та будь-яке втручання людини. Замість очікуваного розквіту біорізноманіття, через кілька років заповідна ділянка заросла чагарниками та агресивними бур'янами, що призвело до зникнення тих самих охоронюваних видів. Проаналізуйте помилку в управлінні екосистемою з погляду ігнорування її властивості як відкритої системи та порушення природних зв'язків між підсистемами.

Під час проектування нового водосховища автори проекту врахували лише гідрологічні та геологічні параметри території. Після наповнення чаші водосховища піднявся рівень ґрунтових вод, що викликало підтоплення навколишніх сіл, зміну мікроклімату регіону та масове розмноження синьо-зелених водоростей. Який принцип системного аналізу щодо визначення меж системи та врахування зв'язків із навколишнім середовищем було порушено?

Державна служба моніторингу аналізує якість атмосферного повітря великого міста. Для цього використовуються дані постів спостереження, інформація про інтенсивність руху автотранспорту, метеорологічні умови та технологічні звіти фабрик. Усі ці розрізнені дані об'єднуються в єдину інформаційну мережу для прийняття рішень мерією. Визначте, що в цій системі управління якістю середовища виступає як «вхід», «структура», «процес» та «вихід».

Озеро, що розташоване поруч із аграрними угіддями, регулярно отримує змиви мінеральних добрив. Спочатку екосистема успішно компенсувала цей вплив за рахунок розростання вищої водної рослинності. Проте згодом процес набув лавиноподібного характеру: розмноження мікробіодоростей спричинило дефіцит кисню, загибель риби, загнивання біомаси, що

ще більше погіршило якість води. Охарактеризуйте зміну типу зворотного зв'язку в системі (від негативного до позитивного) у процесі її деградації.

Для боротьби зі шкідником лісу в екосистемі штучно завезли новий вид комахоїдних птахів. Новий вид успішно знищив шкідника, але згодом витіснив корінних співочих птахів, переключився на поїдання корисних комах-запилювачів і спричинив спалах хвороб серед лісової фауни. Поясніть, чому спроба точкового керування складною природною системою без урахування її емерджентних властивостей призвела до непередбачуваної поведінки об'єкта.

Науковці досліджують вплив глобального потепління на зону тундри. Вони виявили, що танення вічної мерзлоти призводить до виділення парникових газів, які, потрапляючи в атмосферу, посилюють парниковий ефект, що викликає ще більш інтенсивне танення мерзлоти. Визначте архітектуру цього процесу з позицій теорії систем та опишіть роль цього контуру взаємодії у втраті стійкості екосистеми.

Регіональний ландшафтний парк поділений на кілька зон: заповідну, рекреаційну та господарську. Кожна зона функціонує за своїми правилами, але разом вони забезпечують збереження біорізноманіття всього регіону та сталий розвиток місцевих громад. Охарактеризуйте цю структуру за допомогою принципу ієрархічності та поясніть, чому якість функціонування всього парку не тотожна функціонуванню лише однієї з його зон.

Рекомендована література

1. Збірник задач з моделювання та прогнозування стану довкілля / уклад. І.В. Хом'як. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 42 с.
2. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. / уклад. І.В. Хом'як – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 72 с.
3. Хом'як І. В. Системний аналіз якості навколишнього середовища: навчальний посібник Житомир: видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2026. 193 с.
4. Хом'як І.В. Екосистемологія: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 235 с.
5. Хом'як І.В. Методологія та організація наукових досліджень з екології. Житомир: Видавництво ЖДУ імені Івана Франка, 2024. 167 с.

Практичні роботи № 7-13

Тема. 2. Холічний підхід до вивчення складних систем

Мета: Ознайомити здобувачів із холічним підходом до вивчення складних систем

Професійна спрямованість: матеріал дає змогу майбутнім фахівцям екологам орієнтуватися в особливостях холічного підходу до вивчення складних систем.

Ключові поняття: холістичний підхід, системність, системний підхід.

Теоретичні запитання

1. У чому полягає сутність холічного підходу в системному аналізі та яка його головна філософська теза?
2. Чим холістичний підхід принципово відрізняється від редукціоністського при дослідженні складних екологічних об'єктів?
3. Поясніть поняття «емерджентність» як ключову характеристику холізму на прикладі функціонування природної екосистеми.
4. Чому вивчення окремих ізольованих компонентів довкілля є недостатнім для прогнозування загальної якості навколишнього середовища?
5. Як холічний підхід трактує поняття «цілісність» стосовно біосфери та її регіональних підсистем?
6. Опишіть роль взаємозв'язків та синергетичних ефектів між елементами системи з погляду холістичної методології.
7. Як холістичний принцип «ціле передує своїм частинам» застосовується при моделюванні антропогенного навантаження на урбоєкосистеми?
8. У чому полягає складність практичної реалізації холічного підходу в екологічному моніторингу та менеджменті?
9. Поясніть концепцію «організмичного» бачення складних систем і як вона трансформувалася в сучасну екологічну науку.
10. Як холічний підхід допомагає виявити приховані або запізнілі критичні зміни (точки перегину) в стані якості довкілля?
11. Охарактеризуйте зв'язок між холістичним мисленням та міждисциплінарним характером системного аналізу якості навколишнього середовища.
12. Що розуміють під «холістичним парадоксом» (необхідністю знати ціле для розуміння частин і навпаки) і як він вирішується в системних дослідженнях?
13. Як принципи холізму відображені в концепції сталого розвитку та управлінні природокористуванням?
14. Поясніть роль зворотних зв'язків у підтримці цілісності та динамічної рівноваги екологічних систем у рамках холічного підходу.
15. Чому холічний підхід є обов'язковим при оцінці кумулятивного впливу багатьох джерел забруднення на навколишнє середовище?
16. Як категорія «організація системи» розглядається в холістичній методології системного аналізу?
17. У чому полягає значення екоцентричного (холістичного) світогляду для розробки стратегій екологічної безпеки?
18. Як холічний підхід враховує нелінійність та непередбачуваність поведінки складних соціоекологічних систем?
19. Яким чином концепція «Гайї» (Землі як живого організму) Джеймса Лавлока ілюструє крайній прояв холічного підходу в екології?
20. Які математичні та імітаційні методи системного аналізу найкраще адаптовані для збереження холістичного принципу при дослідженні якості довкілля?

Тестові завдання

Яке головне філософсько-методологічне гасло найкраще описує сутність холістичного підходу в системному аналізі?

- А) Частина завжди важливіша за ціле
- Б) Ціле є більшим, ніж проста сума його частин
- В) Будь-яку складну систему можна звести до набору простих хімічних реакцій
- Г) Взаємозв'язки між елементами не впливають на властивості системи

Який підхід до дослідження довкілля є протилежним (антагоністичним) до холістичного?

- А) Синергетичний
- Б) Екоцентричний
- В) Редукціоністський
- Г) Інтегральний

З погляду холізму, чому неможливо повністю спрогнозувати якість річкової води, вивчаючи токсичність кожної забруднюючої речовини окремо в лабораторії?

- А) Через неможливість точного вимірювання концентрацій
- Б) Через прояв емерджентних властивостей та синергетичних ефектів у реальній екосистемі
- В) Через постійну зміну об'єму річкового стоку
- Г) Через відсутність стандартизованих методик аналізу

Як холістичний підхід розглядає співвідношення між цілою екосистемою та її окремими компонентами?

- А) Компоненти системи мають досліджуватися як повністю ізольовані об'єкти
- Б) Властивості цілого визначаються виключно механічним додаванням властивостей

компонентів

- В) Ціле передує своїм частинам і визначає їхні функції та поведінку в системі
- Г) Стан цілої системи не залежить від змін у її структурі

Яка екологічна концепція ХХ століття, що розглядає Землю як єдиний саморегульований суперорганізм, є яскравим прикладом радикального холізму?

- А) Концепція екологічної ніші
- Б) Гіпотеза Гайї (Джеймса Лавлока)
- В) Теорія екологічного переходу
- Г) Закон мінімуму Лібіха

Що є головною перевагою застосування холістичного підходу при оцінці антропогенного впливу на навколишнє середовище?

- А) Можливість врахувати кумулятивні, запізнілі та приховані системні ефекти
- Б) Спрощення математичних розрахунків у моделях
- В) Можливість відмовитися від інструментального моніторингу довкілля
- Г) Зведення екологічного аналізу до вивчення лише одного базового показника

У чому полягає сутність «холістичного парадоксу» в системних дослідженнях якості довкілля?

- А) Екосистема одночасно є і відкритою, і повністю закритою для речовини
- Б) Для розуміння цілого потрібно знати його частини, але для розуміння частин необхідно вже знати властивості цілого
- В) Збільшення кількості інформації про систему призводить до повного зникнення зв'язків між елементами

- Г) Антропогенне навантаження одночасно підвищує і знижує біопродуктивність

Який тип мислення та організації досліджень є обов'язковим для реалізації холістичного аналізу складних соціоекологічних систем?

- А) Вузькоспеціалізований (монодисциплінарний)
- Б) Міждисциплінарний та трансдисциплінарний
- В) Суто теоретичний без залучення емпіричних даних
- Г) Спонтанний (інтуїтивний)

Як у рамках холістичної методології трактується поняття «організація системи»?

- А) Юридичний статус підприємства, що забруднює довкілля
- Б) Спосіб і характер взаємодії між елементами, що підтримує цілісність системи
- В) Проста кількість живих організмів на одиницю площі
- Г) Процес видалення пошкоджених компонентів з екосистеми

Який світоглядний принцип логічно впливає з холістичного підходу до аналізу системи «людина – техніка – довкілля»?

- А) Антропоцентризм (людина як господар природи)
- Б) Екоцентризм (людина як рівноправна частина єдиної біосфери)
- В) Технократизм (технології спроможні повністю замінити природні системи)
- Г) Споживацький підхід до природних ресурсів

Ситуаційні задачі

Науково-дослідний інститут отримав завдання оцінити екологічний стан річкового басейну. Лабораторія гідрохімії детально вивчила хімічний склад води в усіх притоках, а лабораторія гідробіології – видовий склад риб. Коли звіти об'єднали, виявилось, що загальна екологічна траєкторія розвитку річки та причини її замулення залишилися незрозумілими. Обґрунтуйте з позицій холізму, чому механічне додавання результатів двох ізольованих редукаціоністських досліджень не дозволило отримати адекватне уявлення про якість річкової системи як єдиного цілого.

Для ліквідації наслідків розливу нафтопродуктів на узбережжі екологи вирішили використати потужні хімічні детергенти, які пройшли успішні випробування у закритих акваріумах і показали високу ефективність у розщепленні плівки. Після масштабного застосування речовини на узбережжі нафта дійсно зникла, але це спровокувало повне вимирання донних безхребетних і колапс місцевого рибного промислу. Поясніть цю управлінську помилку через призму холістичного принципу взаємозв'язку та емерджентності складних природних об'єктів.

Екологічний аудитор намагається оцінити якість навколишнього середовища в місті, аналізуючи виключно звіти промислових підприємств про обсяги їхніх технологічних викидів у повітря. При цьому він ігнорує особливості міської забудови, специфіку локальних вітрових потоків та реакцію зелених насаджень. Використовуючи холістичну тезу «ціле передує своїм частинам», поясніть, чому такий ізольований аналіз окремих джерел тиску не здатний відобразити реальну екологічну якість міського простору.

У лісовому масиві, що зазнає хронічного впливу кислотних дощів, ботаніки почали досліджувати стійкість головної лісоутворюючої породи дерев. Вони вивчали окремо листя, кору та кореневу систему в контрольованих умовах теплиці. Проте в реальному лісі дерева почали гинути значно швидше через руйнування мікоризних зв'язків із грибами та зміну кислотності ґрунту під дією мікроорганізмів. Опишіть, як «холістичний парадокс» проявляється у даному дослідженні та як аналітику розв'язати проблему вивчення цієї системи.

Міжнародна комісія розробляє стратегію збереження унікального водно-болотного угіддя. Частина експертів пропонує зосередити всі фінансові ресурси на охороні одного рідкісного виду птахів, який є символом цієї території. Інша група наполягає на фінансуванні збереження гідрологічного режиму та рослинних асоціацій усього регіону. Порівняйте ці два підходи (редукціоністський та холістичний) і докажіть перевагу екоцентричного холістичного мислення для забезпечення довгострокової якості середовища.

Під час оцінки впливу на довкілля майбутнього гірничо-збагачувального комбінату розробники проекту детально описали окремо вплив на повітря, окремо на підземні води та окремо на локальну флору. Проте вони не врахували кумулятивний синергетичний ефект, коли одночасне зниження рівня ґрунтових вод і запилення атмосферного повітря запускає нелінійний процес деградації всього регіонального ландшафту. Сформулюйте зауваження до цього проекту з позицій холістичної методології системного аналізу.

Кліматологи та екологи обговорюють гіпотезу Джеймса Лавлока про те, що жива речовина планети активно регулює стан атмосфери та океану, підтримуючи оптимальні умови для життя. Один із критиків стверджує, що глобальний клімат є результатом суто геологічних і фізико-хімічних процесів взаємодії газів. Спростуйте позицію критика, спираючись на організмичний (холістичний) погляд на біосферу як на єдину складну саморегульовану систему.

Управління екологічної безпеки зіткнулося з проблемою деградації великого озера через масове розмноження водоростей. Адміністрація вирішила застосувати метод механічного очищення плеса від біомаси. З погляду холістичного підходу, поведінка озера визначається не просто наявністю водоростей, а глибинною структурою зв'язків у системі «водозбірний басейн – агроландшафт – озеро». Чому точкове усунення симптому без холістичного аналізу причин не покращить якість водного об'єкта в майбутньому?

Наукова група розробляє комп'ютерну модель соціоекологічної системи регіону для прогнозування її сталого розвитку. Розробники вагаються: будувати модель як простий набір лінійних рівнянь для кожного екологічного фактора окремо чи використовувати апарат імітаційного моделювання складних мереж із нелінійними зворотними зв'язками. Який вибір відповідає принципам холізму і чому саме він дозволить уникнути непередбачуваної поведінки моделі?

У промисловому регіоні спостерігається погіршення здоров'я населення. Медичні служби звинувачують у цьому хімічний завод, соціологи – низький рівень життя, а екологи – загальну деградацію екосистем. Жодна з груп не може запропонувати ефективну програму дій. Як холістичний підхід та залучення трансдисциплінарної методології системного аналізу можуть допомогти об'єднати ці розрізнені погляди для покращення якості життєвого середовища людини?

Рекомендована література

1. Збірник задач з моделювання та прогнозування стану довкілля / уклад. І.В. Хом'як. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 42 с.
2. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. / уклад. І.В. Хом'як – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 72 с.
3. Хом'як І. В. Системний аналіз якості навколишнього середовища: навчальний посібник Житомир: видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2026. 193 с.
4. Хом'як І.В. Екосистемологія: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 235 с.
5. Хом'як І.В. Методологія та організація наукових досліджень з екології. Житомир: Видавництво ЖДУ імені Івана Франка, 2024. 167 с.

Практичні роботи № 14-17

Тема. 3. Довкілля як система

Мета: Ознайомити здобувачів із поняттям довкілля як системи

Професійна спрямованість: матеріал дає змогу майбутнім фахівцям екологам орієнтуватися в. функціонуванні довкілля як системи

Ключові поняття: довкілля, фактори середовища, ієрархія екологічних систем

Теоретичні запитання

1. Які основні природні та антропогенні підсистеми виділяють у структурі довкілля як глобальної мегами системи?
2. Охарактеризуйте поняття «навколишнє природне середовище» з позицій теорії систем та визначте його головні інтегративні властивості.
3. У чому полягає системна специфіка взаємодії між біотою та абіотичним компонентом навколишнього середовища?
4. Поясніть, як закон внутрішньої динамічної рівноваги системи проявляється в процесах самоочищення компонентів довкілля.
5. Що таке соціоекологічна система та які специфічні керуючі зв'язки виникають у ній при антропогенній трансформації ландшафтів?
6. Опишіть кругообіг речовин та потік енергії в довкіллі як фундаментальні системні процеси, що визначають його якісний стан.
7. Як межі та бар'єри в геосистемах впливають на міграцію, акумуляцію та розсіювання забруднюючих речовин?
8. Поясніть сутність поняття «ємність навколишнього середовища» як системного обмеження для техногенного навантаження.
9. Яким чином термодинамічні закони (зокрема закон зростання ентропії) застосовуються для аналізу деградації природних систем?
10. Охарактеризуйте довкілля як динамічну систему, що перебуває в стані «рухомої рівноваги» (квазістаціонарного стану).
11. Які типи системних реакцій (відгуків) довкілля виникають у відповідь на хронічний та гострий техногенний пресинг?
12. Що розуміють під стійкістю довкілля до зовнішніх збурень і які внутрішні системні механізми її забезпечують?
13. Як принципи ієрархічності та емерджентності трансформуються при переході від локального до регіонального та глобального рівнів аналізу якості довкілля?
14. Поясніть роль природного капіталу та екосистемних послуг як вихідних параметрів при системному моделюванні екологічної безпеки.
15. Що таке просторово-часова гетерогенність довкілля і як вона враховується при розробці систем екологічного моніторингу?
16. Охарактеризуйте поняття «екологічний слід» як індикатор системного тиску людства на навколишнє середовище.
17. Яким чином інформаційні потоки та сигнали зворотного зв'язку в природних популяціях забезпечують стабільність біогеоценотичного покриву?
18. У чому полягає системна сутність явища екологічної декомпозиції (руйнування зв'язків) у порушених антропогенною діяльністю екосистемах?
19. Як концепція біотичної регуляції навколишнього середовища пояснює стабільність кліматичних параметрів планети на системному рівні?
20. Які методологічні підходи системного аналізу використовуються для оптимізації взаємодії в системі «суспільство – техніка – довкілля»?

Тестові завдання

Який фундаментальний системний процес у довкіллі забезпечує безперервне повторне використання хімічних елементів та стабільність якісного стану біосфери?

- А) Техногенез
- Б) Кругообіг речовин (біогеохімічні цикли)
- В) Екологічна сукцесія
- Г) Акумуляція токсикантів

Як називається соціоприродна мегасистема, що інтегрує в собі природне середовище, людське суспільство та створену ним технічну інфраструктуру?

- А) Біогеоценоз
- Б) Урбоекосистема
- В) Соціоекологічна система
- Г) Фітоценоз

Згідно з яким системним законом довкілля, будь-яка зміна в одному з компонентів природного середовища неминуче призводить до розвитку компенсуючих або деструктивних реакцій в інших його частинах?

- А) Закон внутрішньої динамічної рівноваги
- Б) Закон мінімуму Лібіха
- В) Закон оптимальності
- Г) Закон толерантності Шелфорда

Що є основним термодинамічним показником деградації та дезорганізації довкілля як системи під впливом надмірного антропогенного тиску?

- А) Зростання біомаси
- Б) Зниження концентрації вуглекислого газу
- В) Зростання ентропії системи
- Г) Збільшення енергетичного виходу

Як у системному аналізі називається просторово-часова неоднорідність компонентів довкілля, яку необхідно враховувати при проектуванні мереж екологічного моніторингу?

- А) Гетерогенність середовища
- Б) Ізоляція підсистем
- В) Стаціонарність системи
- Г) Гомогенність середовища

Яка системна характеристика довкілля відображає його спроможність засвоювати, нейтралізувати або виводити забруднюючі речовини без зміни своєї базової структури?

- А) Інформаційна ємність
- Б) Асиміляційна ємність (пропускна спроможність) середовища
- В) Еволюційна пластичність
- Г) Емерджентність біоти

Що є головним наслідком явища екологічної декомпозиції в природних системах під дією хімічного чи фізичного забруднення?

- А) Поява нових корисних зв'язків між видами
- Б) Руйнування функціональних зв'язків між компонентами та розпад цілісності системи
- В) Швидке зростання стійкості екосистеми до зовнішніх чинників
- Г) Повне припинення дії сили тяжіння всередині ландшафту

Концепція біотичної регуляції навколишнього середовища стверджує, що стабільність клімату та хімічних параметрів планети підтримується завдяки:

- А) Виключно геологічним та вулканічним процесам
- Б) Керуючій та стабілізуючій функції сукупності живих організмів (біоти)
- В) Космічному випромінюванню
- Г) Штучним інженерним спорудам людства

Який індикатор використовується в системному аналізі для кількісного виміру сукупного тиску людства на довкілля, вираженого в площі продуктивної території, необхідної для забезпечення ресурсами та асиміляції відходів?

- А) Коефіцієнт зволоження
- Б) Екологічний слід (Ecological Footprint)
- В) Індекс біорозформатингноманіття Шеннона
- Г) Бонітет ґрунту

Стан «фрухої рівноваги» довкілля, за якого його загальні інтегральні макропараметри залишаються сталими попри постійний потік речовини та енергії через межі системи, називається:

- А) Статичним спокоєм
- Б) Квазістаціонарним (динамічно рівноважним) станом
- В) Термодинамічним хаосом
- Г) Абсолютною ізоляцією

Ситуаційні задачі

У регіоні інтенсивного ведення сільського господарства тривалий час застосовували стійкі пестициди для захисту посівів. Через кілька років хімічний аналіз показав, що концентрація цих речовин у тканинах хижих птахів та рибоїдних ссавців місцевих водойм виявилася у багато разів вищою, ніж у самій воді чи ґрунті агроландшафту. Опишіть цей процес з погляду функціонування довкілля як системи, використовуючи поняття потоків речовини та акумуляції токсикантів у трофічних ланцюгах.

На околиці лісового масиву збудували широку швидкісну автомагістраль із суцільним асфальтним покриттям та високими захисними екранами. Екологи помітили, що це призвело не лише до загибелі тварин під колесами, а й до поступової деградації рослинного покриву вглиб лісу, зміни гідрологічного режиму та припинення природного поновлення лісоутворюючих порід. Яку системну роль відіграють бар'єри та штучні межі в геосистемах і які наслідки це має для цілісності довкілля?

Велике промислове місто розташоване в улоговині, оточеній пагорбами. У періоди тривалої безвітряної погоди над містом формується стійкий смог, який не розсіюється, попри те, що заводи працюють у звичному режимі й не перевищують установлені нормативи викидів. Проаналізуйте цю ситуацію з позицій концепції просторово-часової гетерогенності довкілля та поясніть, чому метеорологічні чинники можуть трансформувати поведінку урбоєкосистеми.

Металургійний комбінат здійснює постійне хронічне скидання стічних вод у велике озеро. Протягом багатьох років якість води в озері залишалася задовільною завдяки активній роботі донних мікроорганізмів та водної рослинності. Однак після того, як поруч відкрили невеликий цех гальванопластики, екосистема озера миттєво зруйнувалася, вода стала токсичною, а процеси самоочищення повністю припинилися. Поясніть це явище за допомогою понять асиміляційної ємності середовища та екологічної декомпозиції системи під дією критичного навантаження.

У результаті вирубки заплавних лісів уздовж русла річки відбулася кардинальна зміна місцевого мікроклімату: літні температури повітря зросли, почастишали засухи, а рівень води в річці під час паводків почав критично підніматися, викликаючи масштабні руйнування. Охарактеризуйте взаємозв'язок між біотичним та абіотичним компонентами довкілля і поясніть, як закон внутрішньої динамічної рівноваги системи описує реакцію ландшафту на втрату лісового покриву.

В екосистему Полісся активно впроваджується інвазійний вид рослин – рейнутрія японська, яка утворює густі одновидові зарості на порушених землях. Це призводить до витіснення аборигенних видів трав і чагарників, зміни структури комах-запилювачів та прискорення ерозії берегів водойм. Опишіть цей процес як системну трансформацію довкілля, де поява одного нового елемента змінює вектор динаміки та якісні характеристики всієї підсистеми.

Науковці порівнюють стан двох природних систем: незайманого заповідного степу та монокультурного кукурудзяного поля. Під час тривалої посухи поле практично повністю висохло і

потребувало штучного відновлення, тоді як заповідний степ зберіг свою структуру та швидко відновився після перших дощів. Порівняйте ці системи за допомогою термодинамічного показника ентропії та поясніть, як рівень різноманітності зв'язків впливає на загальну стійкість довкілля.

При аналізі соціоекологічної системи промислового регіону виявилось, що кошти, які виділяються на лікування хронічних захворювань населення, значно перевищують витрати, необхідні для встановлення сучасних очисних фільтрів на місцевих фабриках. Проаналізуйте цю ситуацію з позицій теорії систем і докажіть необхідність урахування прямих та зворотних зв'язків між підсистемою охорони здоров'я та підсистемою промислового виробництва для оптимізації якості життєвого середовища.

У великому місті реалізували проект масового вертикального озеленення фасадів будівель та створення «зелених дахів». За кілька років спостережень з'ясувалося, що це не лише покращило естетичний вигляд, а й знизило середню температуру повітря на вулицях у літню спеку, зменшило навантаження на дощову каналізацію під час злив та знизило рівень шуму. Які системні властивості довкілля (зокрема емерджентність) проявилися внаслідок інтеграції природних елементів у технічну інфраструктуру міста?

Дослідники помітили, що тривалий помірний випас диких копитних тварин на луках стимулює ріст травостою та підтримує стабільний хімічний склад ґрунту. Однак повне вилучення тварин із системи призводить до накопичення відмерлої органіки, загнивання коріння та зниження якості лучної екосистеми. Охарактеризуйте стан «рухомої рівноваги» або квазістаціонарного стану довкілля та поясніть роль біотичних сигналів у підтримці стабільності макропараметрів системи.

Рекомендована література

1. Збірник задач з моделювання та прогнозування стану довкілля / уклад. І.В. Хом'як. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 42 с.
2. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. / уклад. І.В. Хом'як – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 72 с.
3. Хом'як І. В. Системний аналіз якості навколишнього середовища: навчальний посібник Житомир: видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2026. 193 с.
4. Хом'як І.В. Екосистемологія: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 235 с.
5. Хом'як І.В. Методологія та організація наукових досліджень з екології. Житомир: Видавництво ЖДУ імені Івана Франка, 2024. 167 с.

Практичні роботи № 18-22

Тема. 4. Моделювання природних систем

Мета: Ознайомити здобувачів із поняттям моделювання природних систем

Професійна спрямованість: матеріал дає змогу майбутнім фахівцям екологам орієнтуватися в моделюванні природних систем

Ключові поняття: моделювання, природні системи, моделі.

Теоретичні запитання

1. Що таке екологічне моделювання та яка його головна мета в рамках системного аналізу якості довкілля?
2. Які основні етапи побудови математичної моделі природної системи виділяють у системному аналізі?
3. Чим принципово відрізняються детерміновані моделі екосистем від стохастичних (імовірнісних)?
4. Охарактеризуйте концептуальне моделювання навколишнього середовища та його роль на початкових етапах дослідження.
5. Поясніть суть та сфери застосування імітаційного моделювання для прогнозування стану складних природно-техногенних систем.
6. Що таке верифікація та валідація (адекватність) екологічної моделі і якими методами вони перевіряються?
7. Опишіть особливості моделювання дифузії та адвекції забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.
8. Як класична модель Стрітера-Фелпса використовується для моделювання процесів самоочищення та динаміки кисню у водних об'єктах?
9. У чому полягає специфіка застосування методів Монте-Карло для оцінки екологічних ризиків та невизначеностей?
10. Як штучні нейронні мережі (ШНМ) використовуються для прогнозування якості навколишнього середовища в умовах браку точних аналітичних даних?
11. Поясніть принципи використання апарату нечіткої логіки (fuzzy logic) при моделюванні антропогенного пресингу на екосистеми.
12. Що таке просторово-розподілене моделювання довкілля і як воно інтегрується з геоінформаційними системами (ГІС)?
13. Охарактеризуйте балансові моделі (моделі матеріального балансу) та їхнє значення для аналізу міграції токсикантів у трофічних ланцюгах.
14. Як моделі «хижак – жертва» (наприклад, Лотки-Вольтерри) адаптуються для аналізу динаміки популяцій під впливом хімічного забруднення?
15. Що розуміють під чутливістю екологічної моделі та як проводиться аналіз чутливості до зміни вихідних параметрів?
16. Які обмеження та труднощі виникають при спробах моделювання глобальних біосферних процесів і кліматичних змін?
17. Як у моделях природних систем враховується чинник часу (дискретні та безперервні моделі за часом)?
18. Поясніть сутність оптимізаційного моделювання при вирішенні задач раціонального природокористування та мінімізації викидів.
19. Що таке «ефект метелика» або хаотична динаміка в нелінійних екологічних моделях і як вона впливає на точність довгострокових прогнозів?
20. Яким чином результати комп'ютерного моделювання природних систем трансформуються в конкретні управлінські рішення в екологічній політиці?

Тестові завдання

Як у системному аналізі називається процес перевірки відповідності побудованої математичної моделі реальному екологічному об'єкту або процесу за допомогою незалежних експериментальних даних?

- А) Верифікація
- Б) Валідація (оцінка адекватності)
- В) Декомпозиція
- Г) Агрегування

Які моделі природних систем обов'язково враховують випадкові чинники, ймовірнісні розподіли та стохастичну природу екологічних процесів?

- А) Детерміновані моделі
- Б) Статичні моделі
- В) Стохастичні моделі
- Г) Лінійні аналітичні моделі

Перенесення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, яке зумовлене виключно упорядкованим горизонтальним рухом повітряних мас (вітром), описується за допомогою моделі:

- А) Моделі адвекції
- Б) Моделі молекулярної дифузії
- В) Моделі Стрітера-Фелпса
- Г) Балансової моделі біоти

Для моделювання яких процесів у річкових екосистемах традиційно застосовується класична двокритеріальна модель Стрітера-Фелпса?

- А) Поширення радіонуклідів у донних відкладах
- Б) Динаміки біохімічного споживання кисню (БСК) та розчиненого кисню
- В) іграції важких металів по трофічних ланцюгах
- Г) Процесів ерозії берегової лінії

Який метод моделювання екологічних систем базується на багаторазовому чисельному моделюванні з використанням випадкових величин для оцінки ризиків та невизначеностей?

- А) Метод нечіткої логіки
- Б) Метод штучних нейронних мереж
- В) Метод Монте-Карло
- Г) Метод аналітичної екстраполяції

Який інструмент інтелектуального моделювання найкраще використовувати для прогнозування якості довкілля за наявності великих масивів даних, але за повної відсутності точних аналітичних формул чи фізичних законів зв'язку між параметрами?

- А) Рівняння матеріального балансу
- Б) Штучні нейронні мережі (ШНМ)
- В) Концептуальні матричні моделі
- Г) Лінійне програмування

Інтеграція математичних моделей просторового поширення токсикантів із геоінформаційними системами (ГІС) дозволяє створювати:

- А) Текстові реферативні звіти
- Б Цифрові прогностичні карти-схеми забруднення
- В) Стаціонарні таблиці нормативів ГДК
- Г) Тільки експертні опитувальні листи

Якщо екологічна модель оперує якісними лінгвістичними змінними (наприклад: «високий рівень забруднення», «помірна стійкість»), то математичним апаратом для її побудови є:

- А) Диференціальні рівняння вищих порядків
- Б) Нечітка логіка (Fuzzy Logic)
- В) Теорія ймовірностей часових рядів
- Г) Матрична алгебра Леслі

Як у теорії моделювання складних нелінійних систем називається висока чутливість прогнозних моделей до найменших змін початкових умов, що робить довгостроковий екологічний прогноз неможливим?

- А) Ефект синергізму
- Б) Закон оптимуму
- В) Ефект метелика (детермінований хаос)
- Г) Принцип емерджентності

Робота з якою моделлю полягає у дослідженні балансу речовини чи енергії на «вході» та «виході» системи, без детального математичного опису складних внутрішніх біохімічних процесів самого об'єкта (принцип «чорної скриньки»)?

- А) Імітаційна динамічна модель
- Б) Модель матеріального балансу
- В) Просторово-розподілена тривимірна модель
- Г) Нейромережева модель класифікації

Ситуаційні задачі

Регіональне екологічне управління використовує комп'ютерну модель для прогнозування поширення викидів новозбудованого сміттєспалювального заводу. Модель бездоганно пройшла перевірку на відповідність законам аеродинаміки за допомогою тестових математичних рівнянь у лабораторних умовах. Проте під час першої реальної пилової бурі прогноз повністю розійшовся з фактичними замірами на місцевості. Проаналізуйте цю ситуацію з позицій відмінностей між верифікацією та валідацією екологічних моделей і поясніть, чому математична коректність не гарантує адекватності моделі.

Аналітики розробляють модель прогнозування якості води у водосховищі, яка має враховувати як закономірні сезонні зміни температури та сонячної радіації, так і випадкові фактори, як-от аварійні залпові скиди стічних вод чи раптові зливи. Поясніть, які методологічні обмеження виникнуть у дослідників, якщо вони спробують побудувати виключно детерміновану модель, і чому в даному випадку необхідне залучення стохастичного моделювання.

У місті, оточеному промисловою зоною, зафіксовано постійний сильний вітер, що дме в одному напрямку. Екологи помітили, що хмара забруднюючих речовин від заводу рухається чітким шлейфом уздовж міських кварталів практично без розсіювання в бокові сторони. Опишіть, який саме процес перенесення домінує в атмосфері за таких умов, та яку базову модель фізики середовища (адвекції чи молекулярної дифузії) слід обрати за основу для комп'ютерного моделювання цієї ситуації.

На річці, що протікає через великий промисловий центр, зафіксовано різке падіння рівня розчиненого кисню нижче за течією від місця випуску комунальних стічних вод, багатих на органічні сполуки. Згодом, на значній відстані від міста, показники кисню самостійно повернулися до норми. Яку класичну екологічну модель динаміки біохімічного споживання кисню слід застосувати для математичного опису цього процесу самоочищення річки та які ключові протилежні процеси вона має балансувати?

Дослідницька група намагається змоделювати потенційні екологічні ризики від підземного захоронення токсичних відходів у регіоні з надзвичайно складною і неоднорідною геологічною структурою, де точні фізичні параметри пластів неможливо виміряти безпосередньо. Які переваги надасть використання методів моделювання Монте-Карло у цій ситуації та як випадковий пошук допомагає подолати брак точних вихідних даних?

Перед науковцями стоїть завдання спрогнозувати рівень забруднення приземного шару повітря озonom у мегаполісі. У них є колосальний масив історичних даних щохвилинних спостережень за багато років, але хімічні реакції утворення озону під дією сонячного світла за участю вихлопних газів є занадто складними, нелінійними і до кінця не вивченими. Обґрунтуйте, чому в таких умовах доцільно відмовитися від класичних аналітичних моделей і застосувати штучні нейронні мережі.

Команда програмістів створила модель поширення нафтової плями в морі, але вона існує лише у вигляді набору диференціальних рівнянь у текстовому редакторі, що ускладнює роботу рятувальних служб. Як інтеграція цієї математичної моделі з геоінформаційними системами (ГІС) змінить якість сприйняття інформації та які нові можливості з'являться для управління кризовою ситуацією в режимі реального часу?

Для оцінки екологічного стану лісового масиву, що межує з хімічним підприємством, експерти використовують лінгвістичні описи місцевих лісників, такі як «стан хвої переважно пригнічений», «вплив викидів помірний» або «густота крони близька до норми». Поясніть, за допомогою якого математичного апарату теорії моделювання можна перевести ці якісні, суб'єктивні експертні висловлювання у чіткий алгоритм для прийняття рішень щодо екологічної безпеки.

Еколог-моделіст намагається створити довгостроковий прогноз динаміки глобальних кліматичних параметрів на століття вперед. Навіть після врахування всіх відомих факторів, найменша зміна початкової температури океану в моделі всього на мікроскопічну частку призводить до кардинально протилежних результатів прогнозу (від повного вимерзання до екстремального потепління). Яку властивість складних нелінійних природних систем ілюструє цей випадок і як детермінований хаос обмежує можливості екологічного прогнозування?

На підприємстві необхідно оцінити, яка кількість важких металів потрапляє в навколишнє середовище з димовими газами. Внутрішня будова печей та хімічні перетворення всередині камери згоряння є комерційною таємницею виробника і невідомі екологам. Опишіть, як за допомогою принципу «чорної скриньки» та побудови моделі матеріального балансу між сировиною на вході та готовою продукцією і відходами на виході можна розв'язати цю задачу без вивчення внутрішніх процесів агрегату.

Рекомендована література

1. Збірник задач з моделювання та прогнозування стану довкілля / уклад. І.В. Хом'як. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 42 с.
2. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. / уклад. І.В. Хом'як – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 72 с.
3. Хом'як І. В. Системний аналіз якості навколишнього середовища: навчальний посібник Житомир: видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2026. 193 с.
4. Хом'як І.В. Екосистемологія: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 235 с.
5. Хом'як І.В. Методологія та організація наукових досліджень з екології. Житомир: Видавництво ЖДУ імені Івана Франка, 2024. 167 с.

Практичні роботи № 23-26

Тема. 5. Методологія і практика побудови прогностичних алгоритмів.

Мета: Ознайомити здобувачів із методологією і практикою побудови прогностичних алгоритмів

Професійна спрямованість: матеріал дає змогу майбутнім фахівцям екологам орієнтуватися в методології і практиці побудови прогностичних алгоритмів

Ключові поняття: прогноз, алгоритм, прогнозування.

Теоретичні запитання:

1. Що таке екологічне прогнозування з позицій системного аналізу та які основні етапи розробки прогностичних алгоритмів?
2. Які існують класифікації методів прогнозування якості довкілля за термінами випередження (коротко-, середньо- та довгострокові)?
3. Охарактеризуйте різницю між експертними (інтуїтивними) та формалізованими методами побудови екологічних прогнозів.
4. Як у прогностичних алгоритмах враховується чинник невизначеності вихідних екологічних даних та природної стохастичності?
5. Поясніть сутність методу екстраполяції трендів при прогнозуванні динаміки забруднення атмосферного повітря та назвіть його обмеження.
6. Як критерії автокореляції та стаціонарності часових рядів впливають на вибір алгоритму прогнозування екологічних показників?
7. Опишіть методологію побудови прогностичних алгоритмів на основі авторегресійних моделей (наприклад, ARIMA) для моніторингу водних екосистем.
8. Що таке багатофакторний регресійний аналіз і як будується алгоритм прогнозування стану довкілля за наявності кількох джерел техногенного впливу?
9. Поясніть принципи формування навчальної, валідаційної та тестової вибірок екологічних даних при розробці прогностичних алгоритмів машинного навчання.
10. Як алгоритми класифікації та регресії на основі дерев рішень (Decision Trees) та випадкового лісу (Random Forest) застосовуються для прогнозування екологічних ризиків?
11. Охарактеризуйте використання прогностичних алгоритмів на базі генетичних алгоритмів для оптимізації параметрів екологічних моделей.
12. Яким чином алгоритми на основі нечітких часових рядів (Fuzzy Time Series) дозволяють прогнозувати якість середовища за умов якісних або неточних описів?
13. У чому полягає сутність метрик оцінки якості прогностичних алгоритмів (наприклад, MSE, RMSE, MAE, MAPE) стосовно екологічних задач?
14. Як алгоритми адаптивного прогнозування (зокрема метод експоненціального згладжування) реагують на швидкі зміни в техногенному навантаженні?
15. Опишіть особливості побудови прогностичних алгоритмів для оцінки динаміки поширення інвазійних видів рослин під впливом кліматичних факторів.
16. Як при розробці прогностичних алгоритмів розв'язується проблема «прокляття розмірності» (великої кількості контрольованих параметрів довкілля)?
17. Поясніть роль та специфіку алгоритмів сценарного прогнозування (інструменти «що, якщо...») в управлінні якістю навколишнього середовища.
18. Що таке перенавчання (overfitting) прогностичного алгоритму і якими методами еколог-аналітик може його уникнути?
19. Як інтегруються прогностичні алгоритми з геоінформаційними системами (ГІС) для створення карт-прогнозів просторового розподілу токсикантів?
20. Які етичні та методологічні ризики пов'язані з автоматичним прийняттям управлінських екологічних рішень на основі результатів роботи прогностичних алгоритмів?

Тестові завдання

Як у методології прогнозування часових рядів називається екологічний показник, статистичні характеристики якого (середнє значення, дисперсія) не змінюються з часом?

- А) Трендовий часовий ряд
- Б) Стаціонарний часовий ряд
- В) Мультиплікативний процес
- Г) Нелінійний стохастичний тренд

Який метод прогнозування стану довкілля доцільно обрати, якщо аналітичний опис системи повністю відсутній, а історичні статистичні дані замінені суб'єктивними оцінками висококваліфікованих фахівців?

- А) Авторегресійне моделювання
- Б) Метод екстраполяції найменших квадратів
- В) Експертні (інтуїтивні) методи прогнозування
- Г) Алгоритми регресії дерев рішень

Прогнозування за допомогою математичних моделей класу ARIMA (авторегресія інтегрованого рухомого середнього) найчастіше застосовується для оцінки:

- А) Просторово-розподіленого вимивання ґрунтів
- Б) Динаміки екологічних показників у вигляді послідовних часових рядів
- В) Генетичних мутацій рослин в інвазійних вогнищах
- Г) Кумулятивного ефекту від раптового хімічного викиду

Для чого при розробці прогностичних алгоритмів на основі машинного навчання вихідний масив екологічних даних обов'язково розділяють на навчальну (training) та тестову (testing) вибірки?

- А) Для штучного збільшення об'єму зібраної інформації
- Б) Для навчання алгоритму на одних даних та незалежної перевірки його прогностичної точності на інших
- В) Для автоматичного видалення помилок вимірювання екологічних приладів
- Г) Для приведення всіх екологічних показників до єдиної розмірності

Як називається негативне явище в моделюванні, коли прогностичний алгоритм занадто підлаштувався під специфічні шуми навчальної вибірки, через що показує високу точність на навчальних даних, але повністю втрачає здатність до прогнозування на нових реальних показниках довкілля?

- А) Перенавчання (overfitting)
- Б) Недонавчання (underfitting)
- В) Мультиколінеарність
- Г) Автокореляція залишків

Сценарне прогнозування екологічних процесів (інструментарій «що, якщо...») розробляється аналітиками насамперед для:

- А) Точного визначення дати настання конкретної екологічної катастрофи
- Б) Оцінки можливих варіантів розвитку стану довкілля залежно від прийняття різних управлінських рішень
- В) Спрощення структури прогностичного алгоритму до лінійного вигляду
- Г) Повного виключення математичного апарату з процесу моделювання

Яка метрика найчастіше використовується для оцінки похибки прогностичного алгоритму та розраховується як корінь квадратний із середнього значення квадратів різниць між прогнозованими та фактичними параметрами якості середовища?

- А) MAE (Середня абсолютна похибка)
- Б) MAPE (Середня абсолютна відсоткова похибка)
- В) RMSE (Середньоквадратична помилка)
- Г) Коефіцієнт детермінації R-квадрат

Який алгоритм машинного навчання, що базується на ансамблі безлічі незалежних дерев рішень, ефективно застосовується для прогнозування складних нелінійних екологічних ризиків?

- А) Проста лінійна регресія
- Б) Випадковий ліс (Random Forest)
- В) Метод експоненціального згладжування
- Г) Алгоритм найближчих сусідів без навчання

У чому полягає суть проблеми «прокляття розмірності» при побудові прогностичних алгоритмів екологічного моніторингу?

- А) У повній відсутності географічних координат пунктів спостереження
- Б) У стрімкому зростанні вимог до обсягу даних та складності моделі при збільшенні кількості контрольованих факторів довкілля
- В) У використанні застарілих одиниць вимірювання концентрації речовин
- Г) У неможливості округлення розрахованих прогностичних значень

Поєднання прогностичних алгоритмів динаміки забруднювачів із геоінформаційними системами (ГІС) дає можливість аналітики:

- А) Візуалізувати майбутні зміни екологічної ситуації у вигляді динамічних карт просторового розподілу
- Б) Повністю відмовитися від комп'ютерних обчислень
- В) Автоматично скасувати дію державних екологічних нормативів
- Г) Зменшити кількість хімічних елементів у періодичній системі Менделєєва

Ситуаційні задачі

Студент-еколог розробляє алгоритм для прогнозування концентрації діоксиду сірки в атмосферному повітрі міста на основі багаторічних щоденних спостережень. Перед початком моделювання він помітив, що середні значення та розмах коливань цього показника суттєво змінюються від року до року через закриття одних фабрик та відкриття інших. Охарактеризуйте цей часовий ряд за критерієм стаціонарності та поясніть, які труднощі виникнуть при спробі застосувати класичні методи лінійної екстракції тренду без попередньої трансформації даних.

На території Центрального Полісся необхідно терміново оцінити ризики та спрогнозувати швидкість поширення інвазійного виду рослин – рейнутрії японської – у заплавах річок після масштабної повені. Оскільки детальний моніторинг цього виду раніше не проводився і статистична база даних повністю відсутня, аналітики вирішили залучити провідних ботаніків та екологів регіону для побудови прогнозу. До якої групи методів належить такий підхід, які його головні переваги та обмеження в умовах дефіциту часу та інформації?

Наукова група будує прогностичний алгоритм для оцінки рівня кисню у воді озера, використовуючи математичні моделі класу авторегресії рухомого середнього. Під час аналізу вихідних даних з'ясувалося, що поточний стан екосистеми критично залежить від її параметрів у попередні дні, тижні та сезони. Поясніть, яке явище в аналізі часових рядів ілюструє ця залежність і чому неврахування внутрішньої пам'яті системи призведе до повної втрати точності прогнозу.

Для побудови прогностичного алгоритму машинного навчання, що оцінює якість підземних вод навколо хімічного полігону, дослідники зібрали великий масив даних. Перед запуском навчання вони розділили всю інформацію на дві нерівні частини: на більшій частині алгоритм підбирав внутрішні коефіцієнти, а на меншій – перевірялася його здатність видавати правильні результати на незнайомих об'єктах. Опишіть методологічний сенс такого розділення вибірки та поясніть, чому не можна тестувати якість прогнозу на тих самих даних, де алгоритм навчався.

Інженер-еколог створив складну нейромережеву модель для прогнозування появи смогу в мегаполісі. Під час тестування на архівних даних, які використовувалися для її налаштування, модель показала абсолютну точність і безпомилково вгадувала кожне коливання. Однак, коли модель спробували використати для прогнозу на наступний місяць у реальному часі, вона почала видавати хаотичні результати з величезними помилками. Яку класичну проблему методології побудови прогностичних алгоритмів ілюструє цей випадок і як її уникнути?

Регіональне міністерство екології замовляє розробку прогностичної системи для оцінки стану лісових масивів Словечансько-Овруцького кряжу в умовах глобальних кліматичних змін. Розробники пропонують створити кілька варіантів прогнозу: за умови збереження поточних тенденцій, за умови посилення засух та за умови впровадження активних лісотехнічних заходів підсіву стійких порід. Як у системному аналізі називається такий підхід до прогнозування та яка його роль у прийнятті стратегічних управлінських рішень?

Еколог-аналітик порівнює два алгоритми прогнозування середньодобової концентрації пилу в робочій зоні кар'єру. Для оцінки їхньої ефективності він використовує метрику, що обчислює корінь квадратний із середнього значення квадратів відхилень прогнозованих значень від фактичних, отриманих із датчиків. Пояснить, яку саме сторону похибки оцінює ця метрика та чому вона сильніше реагує на поодинокі великі промахи в прогнозі, ніж на часті, але дрібні неточності.

Команда дослідників розробляє систему раннього попередження про спалахи розмноження комах-шкідників лісу. Вони вирішили побудувати алгоритм на основі ансамблю дерев рішень, де кожне окреме дерево голосує за певну ймовірність екологічної загрози на основі температури, вологості та віку насаджень, а остаточний прогноз формується як усереднений результат усього «лісу». Який сучасний метод машинного навчання реалізовано в цьому алгоритмі та в чому його перевага при аналізі нелінійних природних процесів?

Під час розробки алгоритму прогнозування якості поверхневих вод для великого річкового басейну науковці намагалися врахувати абсолютно всі можливі фактори: від хімічного складу опадів та швидкості течії до щільності населення в кожному селі та поголів'я худоби. У результаті алгоритм став настільки громіздким, що комп'ютерні потужності перестали справлятися з обчисленнями, а точність прогнозу впала через накопичення дрібних помилок у другорядних параметрах. Яку методологічну проблему, відому як «прокляття розмірності», ілюструє ця ситуація і як виконати оптимізацію моделі?

Муніципальна екологічна служба інтегрувала прогностичний алгоритм поширення вихлопних газів транспорту з цифровою картою міста. Тепер система здатна не просто видавати графік майбутніх концентрацій речовин, а й візуально відображати кольором зони найбільшого екологічного ризику на кожній вулиці залежно від часу доби та напрямку вітру. Опишіть переваги інтеграції прогностичних алгоритмів із геоінформаційними системами (ГІС) для практичного управління якістю навколишнього середовища.

Рекомендована література

1. Збірник задач з моделювання та прогнозування стану довкілля / уклад. І.В. Хом'як. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 42 с.
2. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. / уклад. І.В. Хом'як – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 72 с.
3. Хом'як І. В. Системний аналіз якості навколишнього середовища: навчальний посібник Житомир: видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2026. 193 с.
4. Хом'як І.В. Екосистемологія: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 235 с.
5. Хом'як І.В. Методологія та організація наукових досліджень з екології. Житомир: Видавництво ЖДУ імені Івана Франка, 2024. 167 с.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСИ

Основна:

1. Коробкова Г. В., Коляда О. В., Головань Л. В., Системний аналіз якості навколишнього середовища: навчальний посібник. Харків: ДБТУ, 2025. 162 с.
2. Збірник задач з моделювання та прогнозування стану довкілля / уклад. І.В. Хом'як. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 42 с.
3. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. / уклад. І.В. Хом'як – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 72 с.
4. Хом'як І.В. Екосистемологія: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 235 с.
5. Дяченко-Богун М.М., Гомля Л.М. Системний аналіз якості навколишнього середовища: методичні рекомендації для виконання практичних і самостійних робіт з навчальної дисципліни. Полтава: Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка, 2023. 18 с.

Додаткова:

1. Адаменко Я. О. Оцінка впливів на навколишнє середовище: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Супрун В. П., 2014. – 284 с.
2. 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
3. Бараннік В. О. Конспект лекцій з дисциплін “Системний аналіз довкілля”, “Системний аналіз” (для студентів 2 курсу денної і 3 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.040106 “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування”) / Бараннік В.О., Дмитренко Т.В.; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 44 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Вернадський В. І. Біосфера. Львів : Наукова думка, 2013. 192 с.
10. Відьмаченко А.П., Мороженко О.В. Порівняльна планетологія. Навчальний посібник. Київ: ТОВ ДІА. 2013. 552 с.
11. Відьмаченко А.П., Стеклов О.Ф. Фізичні характеристики природних супутників планет. Монографія. Київ: НУБіП України, 2023. 198 с.

12. Впровадження методології екологічного сліду продукту в Україні. URL: https://www.eu4environment.org/app/uploads/2024/10/PE_F-Executive-Report-Ukraine-UKR.pdf. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення; затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 721 від 02 травня 2022 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text>.
13. Гарбар О. В., Весельська Е. В., Хом'як І. В., Гарбар Д. А. Просторово-часові зміни структури земельного покриття Словечансько-Овруцького кряжу. Український журнал природничих наук. № 7 2024. с. 197-209.
14. Гігієнічні регламенти допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті, затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 1595 від 14 липня 2020 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text>.
15. Гітельзон І. І., Левінських М. О. Замкнуті екологічні системи: Людина – Рослини. Красноярськ : ІБФ СО РАН, 2008. 310 с.
16. Гокінг С. Коротка історія часу / пер. з англ. Г. Лелів. Харків : Клуб Сімейного Дозвілля, 2016. 240 с.
17. Горбань О. М. Основи теорії систем і системного аналізу / О. М. Горбань, В. Є. Бахрушин. – Запоріжжя : ГУ «ЗІДМУ», 2011. – 204 с.
18. ДБН А.2.2-1:2021 Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС). 2022. 26 с.
19. Державні санітарні норми і правила ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/trebovaniya-kachestvupitevoy-vody/>.
20. Дзюбенко М.І. Вступ до фізики навколоземного середовища. Навчальний посібник. Київ: ІСДО, 1994. 294 с.
21. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ, 2016. 37 с.
22. ДСТУ ISO 14004:2016. Системи екологічного управління. Загальні настанови щодо запровадження. Київ, 2017. 60 с.
23. Євсюков М.М., Александров Ю.В. Хімія і геологія планет. Навчальний посібник. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2000. 190 с.
24. Закон України «Про державні цільові програми». 1621-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1621-15#Text>.
25. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.
26. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>.
27. Захожай В.А. Вступ до астрофізики та космогонії. Навчальний посібник. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2012. 208 с.
28. Захожай В.А., Захожай О.В. Основи елементарної астрономії: навчальний посібник. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2021. 232 с.
29. Золенко І., Хом'як І. В. Перспективи використання *Tusilago farfara* L. з метою тератрансформації та рекультиватії. Сталій розвиток країни в рамках Європейської інтеграції : тези Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених. Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 32.
30. Коніщук В.В., Хом'як І.В., Шумигай І.В. Антропогенна трансформація фітоценозів мезотрофних боліт Українського Полісся. Агроєкологічний журнал. 2025. № 1. С. 16-23.
31. 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.
32. 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.

33. 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.
34. Медведєва О., Кропівний В., Мірзак Т., Немировський Я. Системний аналіз якості навколишнього середовища: навчальний посібник для студентів спеціальності 101 Екологія. Кропивницький, 2021. 80 с. 18.
35. Методичні рекомендації із здійснення стратегічної екологічної оцінки документів державного планування. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FN045244> .
36. Методичні рекомендації щодо змісту розроблення регіональних програм з охорони довкілля. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/486nd1.pdf>
37. Методичні рекомендації щодо змісту та порядку розроблення планів поліпшення якості атмосферного повітря та короткострокових планів і дій. URL: <https://mepr.gov.ua/wpcontent/uploads/2023/04/203ndMetodychi-rekomendatsiyi.pdf>.
38. Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум. Електронний навчальний посібник / Під ред. В.Б. Мокіна. Вінниця: ВНТУ, 2017. 84 с.
39. Мусієнко М. М. Екологія рослин : підручник. Київ : Либідь, 2005. 432 с.
40. Наказ Міністерства агрополітики та продовольства України «Про затвердження нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних 159 речовин у морських та прісних водах». №1369/21681 від 14.08.2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12#Text> .
41. Одум Ю. Екологія : у 2-х т. / пер. з англ. Москва : Мир, 1986. Т. 1. 328 с. ; Т. 2. 376 с.
42. Онищук І. П., Хом'як І. В., Кичкирук О. Ю., Зайко Є. О. Вплив йонів свинцю (II) на посівні якості насіння озимої пшениці сорту «Ювілейна». Український журнал природничих наук. 2023. № 6. 69-79
43. Охорона природи: Навчальний посібник для студентів природничих спеціальностей / уклад. І.В. Хом'як, Т.В. Андрійчук. – Житомир: В - тво ЖДУ, 2022. – 245 с.
44. Парновський С., Парновський О. Як влаштовано Всесвіт. Вступ до сучасної космології. Львів: Видавництво Старого Лева, 2018. 248 с.
45. Положення про Державне агентство водних ресурсів України (затверджене Постановою КМУ № 393 від 20 серпня 2014 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/393-2014-%D0%BF#Text>.
46. Положення про державну систему моніторингу довкілля» (затверджене постановою КМУ № 391 від 30 березня 1998 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text>.
47. Порядок проведення моніторингу якості освіти (затверджене постановою КМУ № 758 від 19 вересня 2018 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text>.
48. Прищепа А. М., Лико С. М., Портухай О. І. Системний аналіз якості навколишнього середовища: підручник. / А. М. Прищепа, С. М. Лико, О. І. Портухай – Київ: Кондор-Видавництво, 2016.– 496 с.
49. Проблеми екологічної безпеки позаземних поселень : матер. IX Житомирського астроекологічного семінару (13 березня 2026 р., м. Житомир) / за ред. І. В. Хом'яка. Житомир : Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2026. 39 с.
50. Проект Наказу «Про затвердження Порядку інформування населення про якість повітря за основними показниками з використанням індексу якості повітря в Україні». URL: (https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2025/01/Proyekt-nakazu_Indeksyakosti.pdf).
51. 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
52. Системний аналіз якості навколишнього середовища : навч. посіб. / В. В. Добровольський, Є. М. Безсонов. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2018. 164 с.

53. Системний аналіз якості навколишнього середовища: підручник /Т. А. Сафранов, Я. О. Адаменко, В. Ю. Приходько, Т. П. Шаніна, А. В. Чугай, А. В. Колісник. За ред. проф. Т. А. Сафранова і проф. Я. О. Адаменко. – Одеса: ТЕС, 2014. – 244 с.
54. Сікорська К. В., Хом'як І. В. Фітоценотичне різноманіття порушених оселищ з участю амброзії полинолистої 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.
55. Сорока К. О. Основи теорії систем і системного аналізу : навч. посіб. / К. О. Сорока. – Х. : ХНАМГ, 2004. – 291 с.
56. 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.
57. Теорія систем в екології : підручник / Ю. Г. Масікевич, О. В. Шестопалов, А. А. Негадайло та ін. Суми : Сумський державний університет, 2015. 330 с.
58. Український класифікатор нормативних документів НК 004:2020. URL: <https://drive.google.com/file/d/1zOdsiQQsGoTz34Fli5R KqpbCfqB5U1Ob/view>
59. 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.
60. 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.
61. 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.
62. 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..
63. Хом'як І. В. Історія екології : навчальний посібник. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2023. 310 с.
64. 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.
65. 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..
66. 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.
67. 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.
68. 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.
69. 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.

70. 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.
71. Хом'як І.В. Аналіз теорій поліклімаксу та моноклімаксу із позиції сучасної теорії динаміки екосистем. Екологічні науки. 2024. № 1(52), Том 2. 179-183.
72. Хом'як І.В. Антропогенна трансформація похідних лісів класу *Robinietaea* на території Українського Полісся Український журнал природничих наук. 2025. № 11. С. 314-324.
73. 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.
74. 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.
75. 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.
76. Хом'як І.В. Динаміка флори перелогів Українського Полісся. // ScienceRise:Biological Science – 2018, №1 (10). С 8-13.
77. 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.
78. Хом'як І.В. Ідеальний ландшафт та міські джунглі: вибір між щастям та успіхом. Жила, 2013. С. 14-19.
79. 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.
80. Хом'як І.В. Методологія та організація наукових досліджень з екології. Житомир: Видавництво ЖДУ імені Івана Франка, 2024. 167 с.
81. 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.
82. Хом'як І.В. Нове місцезнаходження *Botrychium lunaria* (Ophioglossaceae) на території Центрального Полісся К. УБЖ №2. 2014. С. 206-208.
83. Хом'як І.В. Особливості антропогенного впливу на природну динаміку екосистем Українського Полісся. Екологічні науки. 2018. №1 (20) том 2. С. 69-73.
84. Хом'як І.В. Проблема екотону в класифікації екосистем. // Наукові записки НаУКМА. – 2011. Т119. С. 70-72.
85. 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.
86. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз передклімаксичних стадій розвитку екосистем // Питання біоіндикації та екології – 2013. Вип. 18, №1. С. 20-29
87. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз ступеня трансформації екосистем Центрального Полісся. // Питання біоіндикації та екології – 2012. Вип. 17, №1. С. 3-11
88. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз трансформаційних процесів водно-болотних угідь. // Заповідна справа в Україні. – 2013. вип. 1. Т.19., С. 38-42.
89. Хом'як І.В. Характеристика асоціацій *Agrostio-Populetum tremulae* та *Epilobio-Salicetum carpeae* класу *Epilobietea angustifoliae* для Правобережного Полісся. УБЖ №4. 2016. С. 239-254.
90. 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
91. Хом'як І.В., Василенко О.М. Фітоценотичне різноманіття в районі полігону твердих побутових відходів м. Коростень. Екологічні науки, 2025. 4(61) 117-121
92. 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.

93. Хом'як І.В., Глобальні екологічні проблеми з точки зору астроекології. Екологічні науки. 2021, № 6 (39). С 154-157.
94. 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
95. 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.
96. 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.
97. 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.
98. 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.
99. 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.
100. Хом'як І.В., Коростецький В.О. Соціоекологія з основами екологічної етики. (посібник для студентів класичних університетів) Житомир. 2011. ПП «Рута» с.268.
101. 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.
102. 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.
103. Хом'як І.В., Овдіюк О.М. Контрольоване самовідновлення рослинності як альтернатива лісової рекультивції. Екологічні науки. № 4(55). 2024. С. 229-233.
104. 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.
105. 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.
106. 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.
107. 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.
108. 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.
109. 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.
110. 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.

111. 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.
112. Хомяк 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.
113. Хом'як І.В. Синтаксономія відновлюваної рослинності кар'єрів Центрального Полісся. Український ботанічний журнал, 2022. 79(3): 142–153.
114. Хусаїнов Д.Я., Харченко І.І., Шатирко А.В. Введення в моделювання динамічних систем: навч. посібник. Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2010. 132 с.
115. 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.
116. 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.
117. 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.
118. Чебра О.В. Відбір екологічних показників для інтегральної оцінки антропогенного впливу на довкілля. Екологічні науки. № 3(36). URL: <http://eco.j.dea.kiev.ua/archives/2021/3/7.pdf>
119. Черняєва О.П., Золенко І.С., Лещенко Д.Є., Хом'як І.В., Відновлення природної рослинності на порушених екотопах – 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.
120. 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.
121. Шамоніна 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.
122. 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.
123. Adams F., Laughlin G. The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. New York : Touchstone Books, 1999. 251 p.
124. Allen J. Biosphere 2: The Human Experiment. New York : Penguin Books, 1991. 156 p.
125. 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
126. 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.
127. Carroll B. W., Ostlie D. A. An Introduction to Modern Astrophysics. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2017. 1359 p.

128. 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.
129. Cockell C. S. *Astrobiology: Understanding Life in the Universe*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2015. 472 p.
130. 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.
131. 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.
132. 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.
133. 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)
134. Duri L. G., Caporale A. G., Rouphael 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.
135. Dyson F. *Infinite in All Directions: Gifford Lectures Given at Aberdeen, Scotland April–November 1985*. New York : Harper & Row, 1988. 319 p.
136. Dyson F. *Infinite in All Directions: Gifford Lectures Given at Aberdeen, Scotland April–November 1985*. New York : Harper & Row, 1988. 319 p.
137. 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.
138. 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.
139. Eckart P. *Spaceflight Life Support and Biospherics*. Torrance : Microcosm Press ; Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1996. 444 p.
140. Ellery A. Supplementing closed ecological life support systems with in-situ resources on the moon. *Life*. 2021. Vol. 11, no. 8. P. 770.
141. 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.
142. Ferl R. J., Paul A. L. Lunar Plant Biology– A Review of the Apollo Era. *Astrobiology*. 2010. Vol. 10. P. 261–274.
143. Fogg M. J. *Terraforming: Engineering Planetary Environments*. Warrendale : SAE International, 1995. 544 p.
144. 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.
145. 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.
146. 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.
147. 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.

148. 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.
149. Horneck, G., & Rettberg, P. Complete course in astrobiology. John Wiley & Sons. 2007. 413 p.
150. 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.
151. Jessie C. Buettel, Barry W. Brook, Andrew Cole, John Dickey, Emily J. Flies. Astroecology? Shifting the interdisciplinary collaboration paradigm. Ecology and Evolucion. 2018 №8: P. 9586-9589.
152. 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.
153. 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).
154. 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.
155. Khomiak I., Onishchuk I., Demchuk N. Phytoindicators of ecosystem dynamics in Ring-banc Ukrainian Polissia ScienceRise:Biological Science. – 2018 №4 (13) P. 25-30.
156. Khomiak I., Onyschuk I., Khomiak O. Analysis of the relevance of astroecological research. Екологічні науки. 2024. № 2. с. 35-38.
157. 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.
158. 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
159. Khomiak I.V., Onyshchuk I.P., Vasylenko O.M. Theoretical basis of classification of terraforming methods. Ecological sciences. 2024. 4(55) P. 234-237.
160. Khomiak I.V. Prospects and risks of using lunar regolith to form isolated ecosystems Ukrainian Journal of Natural Sciences. 2025. № 14. С. 270-278.
161. 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.
162. 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.
163. 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.
164. 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.
165. 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.

166. Khomiak, I. V., Onyshchuk, I. P., Vakerych, M. M., Hasynets, Y. S., & Schwartau, V. V. (2025). Restoration of floodplains' natural vegetation of Polissia to reduce the effects of climate change. *Biosystems Diversity*, 33(4), e2551.
167. Khomiak, I., Harbar, O., Kostiuk, 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.
168. 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,
169. Kolb, V. M. (Ed.). *Handbook of astrobiology*. CRC Press. 2018868 p.
170. 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.
171. 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.
172. 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.
173. Lewis J. S. *Mining the Sky*. Reading, Massachusetts : Helix Books, 1996. 274 p.
174. York : Addison-Wesley, 1996. 274 p.
175. Lewis J. S. *Physics and Chemistry of the Solar System*. New York : Academic Press, 1997. 591 p.
176. Lissauer J. J., de Pater I. *Fundamental Planetary Science: Physics, Chemistry and Habitability*. Cambridge : Cambridge University Press, 2013. 583 p.
177. 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).
178. 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.
179. Mautner M. N. Life in the Cosmological Future: Resources, Biomass and Populations. *Journal of the British Interplanetary Society*. 2005. Vol. 58. P. 167–180.
180. 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.
181. 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.
182. 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.
183. Mautner M. N. *Seeding the Universe with Life: Securing Our Cosmological Future*. Washington D. C. : Legacy Books, 2000. 376 p.
184. 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.
185. Michael Noah Mautner. Astroecology, cosmo-ecology, and the future of life. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2014. №4 (83): P. 449-464.
186. 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.
187. 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.

188. 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.
189. 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
190. 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.
191. O'Neill G. K. The Colonization of Space. *Physics Today*. 1974. Vol. 27, No. 9. P. 32–38. doi: 10.1063/1.3128863.
192. O'Neill G. K. *The High Frontier*. New York : William Morrow, 1977. 275 p.
193. 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.
194. Plaxco K. W., Gross M. *Astrobiology: A Brief Introduction*. 2nd ed. Baltimore : Johns Hopkins University Press, 2011. 330 p.
195. 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-1AF_Characterization.pdf (дата звернення: 28.07.2014).
196. 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.
197. Seager S. *Exoplanet Atmospheres: Physical Processes*. Princeton : Princeton University Press, 2010. 264 p.
198. Taylor L., Pieters C., Britt D. Evaluations of lunar regolith simulants. *Planetary and Space Science*. 2016. Vol. 126. P. 1–7.
199. Thomson (Lord Kelvin) W. Inaugural Address to the British Association Edinburgh. *Nature*. 1871. Vol. 4, No. 92. P. 261–278. doi: 10.1038/004261a0.
200. 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.
201. 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.
202. Weber P., Greenberg J. Can spores survive in interstellar space? *Nature*. 1985. Vol. 316, No. 6027. P. 403–407. doi: 10.1038/316403a0.
203. Weinberg S. *Cosmology*. Oxford University Press Inc., New York, 2008. –593 C.
204. 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. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.05.011>.

Інтернет ресурси:

<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://www.youtube.com/@Astroeco-UA-y51>