

| | | | | |
|----------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 1 |

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол від 12 вересня 2024 р.
№5

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 103 «Науки про Землю»
освітньо-професійна програма «Управління земельними і водними ресурсами»
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
кафедра наук про Землю

Рекомендовано на засіданні
кафедри наук про Землю
26 серпня 2024 р., протокол №
08

Розробник: доктор біологічних наук,
професор кафедри наук про Землю ШЕВЧУК Лариса, асистент кафедри наук
про Землю ЦИГАНЕНКО-ДЗЮБЕНКО Ілля

Житомир

2024

| | | | | |
|----------------------------|---|----------------|----------------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | <i>Випуск 1</i> | <i>Зміни 0</i> | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 47 / 2</i> |

Методичні рекомендації призначені для виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 103 «Науки про Землю» освітньо-професійна програма «Управління земельними і водними ресурсами». Житомир, Житомирська політехніка, 2024. 27 с.

Рецензенти:

к.т.н., доц., завідувач кафедри гірничих технологій та будівництва імені проф. Бакка М.Т. БАШИНСЬКИЙ Сергій

к.п.н. доц., завідувач кафедри наук про Землю ГЕРАСИМЧУК Олена

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 3 |

Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни є формування у студентів системного розуміння методів моделювання та прогнозування стану довкілля, розвиток практичних навичок застосування математичних моделей для оцінки та передбачення змін у земельних та водних ресурсах, а також обґрунтування управлінських рішень щодо їх раціонального використання та охорони.

Завданнями навчальної дисципліни є:

- Засвоєння теоретичних основ моделювання природних процесів та явищ у контексті наук про Землю.
- Вивчення основних типів моделей, що застосовуються для опису стану та динаміки земельних і водних ресурсів.
- Опанування методами прогнозування змін стану довкілля на основі математичних моделей та статистичного аналізу даних.
- Формування навичок використання сучасних підходів до моделювання екологічних процесів та оцінки їх впливу на природні ресурси.
- Ознайомлення з практичними аспектами застосування результатів моделювання для прийняття управлінських рішень у сфері природокористування.
- Розвиток здатності до критичного аналізу та інтерпретації результатів моделювання екологічних процесів.

Під час вивчення навчальної дисципліни здобувачі вищої освіти зможуть отримати додатково наступні Soft skills:

- *комунікативні навички*: письмове, вербальне й невербальне спілкування; уміння грамотно спілкуватися по e-mail; вести дискусію і відстоювати свою позицію; навички працювати в команді;
- *уміння виступати привселюдно*: навички, необхідні для виступів на публіці; навички проведення презентації;
- *керування часом*: уміння справлятися із завданнями вчасно;
- *гнучкість і адаптивність*: гнучкість, адаптивність і здатність змінюватися; уміння аналізувати ситуацію, орієнтування на вирішення проблеми;
- *лідерські якості*: уміння спокійно працювати в напруженому середовищі; уміння ухвалювати рішення; уміння ставити мету, планувати діяльність;
- *особисті якості*: креативне й критичне мислення; етичність, чесність, терпіння, повага до оточуючих.

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 4 |

Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1. Теоретичні та прикладні аспекти моделювання і прогнозування стану довкілля

Тема 1. Вступ до моделювання та прогнозування стану довкілля: основні поняття та принципи. (К16, К17, ПР08, ПР11)

Мета, завдання та актуальність вивчення моделювання та прогнозування стану довкілля для ефективного управління природними ресурсами. Поняття моделі та моделювання екологічних процесів, їх класифікація. Основні терміни: математична модель, прогноз, верифікація моделі, валідація, калібрування, точність прогнозу. Типи моделей довкілля: концептуальні, математичні, імітаційні, статистичні. Етапи створення моделі: концептуалізація, формалізація, параметризація, верифікація, валідація. Основи прогнозування стану довкілля, включаючи види прогнозів, методи їх розробки та оцінку достовірності. Принципи та методи збору даних для моделювання екологічних процесів. Критерії оцінки якості моделей та прогнозів. Специфіка моделювання та прогнозування у сфері управління земельними та водними ресурсами, включаючи особливості природних процесів та антропогенних впливів.

Тема 2. Типи моделей в екологічних дослідженнях: концептуальні, математичні, фізичні. (К16, К17, ПР08, ПР11)

Мета, завдання та актуальність вивчення різних типів моделей в екологічних дослідженнях. Поняття концептуальної, математичної та фізичної моделі, їх особливості та сфери застосування. Основні терміни: концептуалізація, математичний апарат, фізичне моделювання, масштабування, подібність, аналогія. Концептуальні моделі: блок-схеми, причинно-наслідкові діаграми, ментальні карти процесів. Математичні моделі: детерміновані, стохастичні, динамічні, статичні. Фізичні моделі: лабораторні установки, експериментальні системи, аналогові моделі. Принципи вибору типу моделі залежно від мети дослідження та доступних даних. Переваги та обмеження різних типів моделей. Специфіка застосування різних типів моделей у дослідженні земельних та водних ресурсів, включаючи особливості масштабування та верифікації.

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 5 |

Тема 3. Системний підхід у моделюванні екосистем та природних ресурсів. (К16, К17, ПР08, ПР11)

Мета, завдання та актуальність застосування системного підходу в моделюванні екосистем та природних ресурсів. Поняття системи, її структури та функцій в екологічному моделюванні. Основні терміни: системний аналіз, ієрархія систем, емерджентність, зворотні зв'язки, стійкість системи, саморегуляція. Компоненти екологічних систем: біотичні, абіотичні, антропогенні. Типи взаємозв'язків у системах: прямі, зворотні, циклічні. Принципи системного аналізу: цілісність, ієрархічність, структурованість, взаємозалежність системи і середовища. Методи декомпозиції складних систем при моделюванні. Особливості врахування системних зв'язків при моделюванні земельних та водних ресурсів. Значення системного підходу для розуміння динаміки природних процесів та прогнозування змін у довкіллі.

Тема 4. Моделювання гідрологічних процесів у річкових басейнах. (К16, К17, ПР08, ПР11)

Мета, завдання та актуальність моделювання гідрологічних процесів у річкових басейнах для управління водними ресурсами. Поняття річкового басейну як об'єкта моделювання та основні гідрологічні процеси. Основні терміни: водний баланс, стік, інфільтрація, евапотранспірація, гідрограф, час добігання, гідравлічні параметри. Компоненти моделей річкового басейну: поверхневий стік, підземний стік, руслові процеси, водообмін. Типи гідрологічних моделей: концептуальні моделі формування стоку, моделі руслових процесів, моделі якості води. Методи параметризації гідрологічних моделей та їх калібрування. Оцінка точності та надійності гідрологічних прогнозів. Специфіка моделювання гідрологічних процесів для різних природних умов та антропогенних впливів, включаючи особливості малих річок та великих річкових систем.

Тема 5. Моделювання та прогнозування порушення екологічного стану ґрунтів. (К16, К17, ПР08, ПР11)

Мета, завдання та актуальність моделювання і прогнозування порушень екологічного стану ґрунтів для управління земельними ресурсами. Поняття екологічного стану ґрунтів та типи їх порушень. Основні терміни: деградація ґрунтів, ерозія, забруднення, родючість, буферність, критичні навантаження. Фактори порушення екологічного стану ґрунтів: природні та антропогенні. Види деградаційних процесів: фізична деградація, хімічне забруднення, біологічна деградація, ерозія. Моделі ґрунтової ерозії: емпіричні, фізично-

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 6 |

обґрунтовані, концептуальні. Методи прогнозування змін властивостей ґрунтів та оцінки ризиків їх деградації. Критерії оцінки екологічного стану ґрунтів та підходи до моделювання їх стійкості. Специфіка моделювання деградаційних процесів для різних типів землекористування та ґрунтово-кліматичних умов.

Тема 6. Моделювання та прогнозування стану атмосферного повітря. (К16, К17, ПР08, ПР11)

Мета, завдання та актуальність моделювання і прогнозування стану атмосферного повітря для оцінки екологічних ризиків. Поняття забруднення атмосфери та процесів розповсюдження забруднюючих речовин. Основні терміни: емісія, імісія, розсіювання домішок, інверсія температури, турбулентність, час перебування забруднювачів. Фактори впливу на розповсюдження забруднюючих речовин: метеорологічні умови, рельєф місцевості, характеристики джерел викидів. Види моделей розсіювання: гаусові моделі, моделі шлейфу, чисельні моделі. Методи прогнозування якості атмосферного повітря на різних просторових та часових масштабах. Оцінка точності прогнозів забруднення повітря. Специфіка моделювання атмосферного забруднення для різних типів джерел викидів та природних умов, включаючи особливості міського середовища та промислових зон.

Тема 7. Моделювання екосистемних послуг для підтримки прийняття рішень. (К16, К17, ПР08, ПР11)

Мета, завдання та актуальність моделювання екосистемних послуг для обґрунтування управлінських рішень у природокористуванні. Поняття екосистемних послуг та їх класифікація. Основні терміни: забезпечувальні послуги, регулюючі послуги, культурні послуги, підтримуючі послуги, економічна оцінка послуг, компроміси між послугами. Типи моделей екосистемних послуг: картографічні, балансові, економічні, інтегровані. Методи оцінки та картографування екосистемних послуг. Підходи до моделювання взаємозв'язків між різними типами екосистемних послуг. Прогнозування змін у наданні екосистемних послуг під впливом природних та антропогенних факторів. Специфіка моделювання екосистемних послуг у контексті управління земельними та водними ресурсами, включаючи оцінку альтернативних сценаріїв землекористування.

Тема 8. Моделі біорізноманіття та прогнозування змін в екосистемах. (К16, К17, ПР08, ПР11)

| | | | | |
|----------------------------|---|----------------|----------------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | <i>Випуск 1</i> | <i>Зміни 0</i> | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 47 / 7</i> |

Мета, завдання та актуальність моделювання біорізноманіття для оцінки стану та прогнозування змін в екосистемах. Поняття біорізноманіття та його компонентів як об'єктів моделювання. Основні терміни: видове багатство, чисельність популяцій, екологічна ніша, ареал поширення, індекси різноманіття, фрагментація оселищ. Види моделей біорізноманіття: моделі поширення видів, популяційні моделі, моделі угруповань. Підходи до моделювання просторового розподілу видів та прогнозування змін ареалів. Методи оцінки впливу природних та антропогенних факторів на біорізноманіття. Прогнозування реакції видів та екосистем на кліматичні зміни та антропогенні впливи. Специфіка моделювання біорізноманіття для різних типів екосистем та масштабів дослідження, включаючи особливості водних та наземних екосистем.

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 8 |

Завдання для самостійної роботи

| № з/п | Назва теми | Кількість годин | |
|---|--|-----------------|--------------|
| | | денна форма | заочна форма |
| Модуль 1 | | | |
| Змістовий модуль 1. Теоретичні та прикладні аспекти моделювання і прогнозування стану довкілля | | | |
| 1 | <p>Тема: Вступ до моделювання та прогнозування стану довкілля: основні поняття та принципи.</p> <p>1. Розробити порівняльну таблицю різних типів моделей довкілля (концептуальні, математичні, імітаційні, статистичні), вказавши їх переваги, недоліки та приклади застосування.</p> <p>2. Створити блок-схему етапів розробки екологічної моделі, детально описавши кожен етап.</p> <p>3. Підготувати огляд сучасних методів збору даних для екологічного моделювання з оцінкою їх точності та надійності.</p> | 12 | 16 |
| 2 | <p>Тема: Типи моделей в екологічних дослідженнях: концептуальні, математичні, фізичні.</p> <p>1. На конкретному прикладі екологічної системи розробити три моделі: концептуальну, математичну та фізичну. Описати особливості кожної.</p> <p>2. Провести порівняльний аналіз детермінованих та стохастичних моделей на прикладі конкретної екологічної задачі.</p> <p>3. Розробити критерії вибору оптимального типу моделі для різних екологічних задач.</p> | 12 | 16 |
| 3 | <p>Тема: Системний підхід у моделюванні екосистем та природних ресурсів</p> <p>1. Побудувати діаграму системних зв'язків для обраної екосистеми, включаючи всі типи взаємодій між компонентами.</p> <p>2. Проаналізувати роль зворотних зв'язків у функціонуванні екосистеми на конкретному прикладі.</p> <p>3. Розробити модель саморегуляції екосистеми з урахуванням природних та антропогенних факторів впливу.</p> | 12 | 16 |
| 4 | <p>Тема: Моделювання гідрологічних процесів у річкових басейнах.</p> <p>1. Розробити концептуальну модель водного балансу малого річкового басейну.</p> <p>2. Провести розрахунок основних гідрологічних характеристик річкового басейну за наданими вихідними даними.</p> <p>3. Створити прогноз зміни водного режиму річки при різних сценаріях кліматичних змін.</p> | 12 | 16 |
| 5 | Тема: Моделювання та прогнозування порушення екологічного | 12 | 16 |

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 9 |

| № з/п | Назва теми | Кількість годин | |
|--------------|--|-----------------|--------------|
| | | денна форма | заочна форма |
| | стану ґрунтів. 1. Розробити модель оцінки ризику ерозії ґрунтів для конкретної території з урахуванням різних факторів впливу. 2. Створити прогноз зміни родючості ґрунтів при різних сценаріях землекористування. 3. Підготувати карту потенційної деградації ґрунтів досліджуваної території з використанням ГІС-технологій. | | |
| 6 | Тема: Моделювання та прогнозування стану атмосферного повітря. 1. Розрахувати розсіювання забруднюючих речовин від стаціонарного джерела викидів з використанням різних моделей. 2. Створити прогноз якості атмосферного повітря для урбанізованої території на основі метеорологічних даних. 3. Розробити модель оцінки впливу зелених насаджень на якість атмосферного повітря в місті. | 12 | 16 |
| 7 | Тема: Моделювання екосистемних послуг для підтримки прийняття рішень. 1. Провести картування екосистемних послуг на прикладі конкретної території. 2. Розробити модель оцінки економічної цінності екосистемних послуг водно-болотних угідь. 3. Створити сценарії зміни екосистемних послуг при різних варіантах землекористування. | 12 | 16 |
| 8 | Тема: Моделі біорізноманіття та прогнозування змін в екосистемах. 1. Розробити модель прогнозування змін ареалу поширення певного виду під впливом кліматичних змін. 2. Створити карту потенційних оселищ рідкісних видів на основі аналізу екологічних факторів. 3. Провести оцінку впливу фрагментації середовища на біорізноманіття з використанням відповідних індексів та моделей. | 18 | 26 |
| РАЗОМ | | 102 | 138 |

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 10 |

Індивідуальні самостійні завдання

1. Розробка імітаційної моделі поширення забруднюючих речовин у річковому басейні (на прикладі конкретної річки).

2. Створення прогнозної моделі зміни якості ґрунтів під впливом сільськогосподарської діяльності для заданої території.

3. Моделювання змін біорізноманіття природного заповідника під впливом рекреаційного навантаження.

4. Розробка моделі оцінки екосистемних послуг міських зелених насаджень та прогноз їх змін.

5. Створення моделі прогнозування якості атмосферного повітря в умовах промислового міста.

6. Моделювання процесів відновлення порушених земель після гірничодобувної діяльності.

7. Розробка моделі оцінки стійкості прибережних екосистем до антропогенного навантаження.

8. Створення прогнозної моделі змін водного режиму малої річки під впливом кліматичних змін.

9. Моделювання процесів самоочищення водойми від органічного забруднення.

10. Розробка моделі оцінки ризиків підтоплення урбанізованих територій.

11. Створення моделі прогнозування стану популяцій рідкісних видів рослин.

12. Моделювання процесів ерозії ґрунтів на схилі землях та розробка протиерозійних заходів.

13. Розробка моделі оцінки впливу рекреаційного навантаження на лісові екосистеми.

14. Створення моделі прогнозування змін якості підземних вод під впливом господарської діяльності.

15. Моделювання процесів відновлення степових екосистем після пожеж.

Індивідуальне завдання має бути виконане за вибором у вигляді однієї з форм: 1) письмовий звіт обсягом 10-15 сторінок, що містить теоретичне обґрунтування та опис методики дослідження, оформлений згідно стандартних вимог (Times New Roman, 14 пт, інтервал 1,5); 2) у вигляді моделі, реалізованої в спеціалізованому програмному забезпеченні, з візуалізацією результатів у формі графіків, діаграм чи карт. Результати роботи представляються у вигляді презентації (7-10 слайдів) з демонстрацією робочої моделі за наявності

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 11 |

Практичне заняття 1

Ознайомлення з основними типами моделей в екології та їх класифікація.

Побудова концептуальної моделі локальної екосистеми

Мета заняття

Ознайомити студентів з основними типами екологічних моделей, їх класифікацією та методами побудови. Навчити створювати концептуальні моделі локальних екосистем з урахуванням взаємодії біотичних та абіотичних компонентів.

Хід роботи

Заняття починається з ознайомлення з теоретичними основами екологічного моделювання. Студенти вивчають різні типи моделей, що застосовуються в екології: аналітичні, імітаційні, стохастичні, детерміністичні, статичні та динамічні. Розглядаються приклади застосування кожного типу моделей для вирішення різноманітних екологічних задач. Студенти аналізують переваги та недоліки різних підходів до моделювання екологічних процесів.

Для закріплення теоретичного матеріалу студенти виконують пошукову роботу, збираючи інформацію про найбільш відомі екологічні моделі, їх особливості та сфери застосування. Результати оформлюються у вигляді короткого огляду, який повинен містити наступні відомості: назва моделі, рік створення, автори, тип моделі, основні рівняння або принципи функціонування, практичне застосування, обмеження.

У другій частині заняття студенти переходять до практичного завдання з побудови концептуальної моделі локальної екосистеми. Для цього вони обирають одну з запропонованих екосистем (лісовий масив, озеро, луг, болото) або пропонують власний варіант. Процес побудови концептуальної моделі включає наступні етапи:

1. Визначення меж системи та її компонентів (біотичних та абіотичних).
2. Ідентифікація взаємозв'язків між компонентами системи.
3. Визначення вхідних та вихідних потоків речовини та енергії.
4. Виявлення ключових процесів, що впливають на функціонування екосистеми.
5. Графічне представлення моделі з використанням спеціальних символів (блоків, стрілок тощо).

Студенти працюють у групах по 3-4 особи, обговорюючи та аналізуючи структуру обраної екосистеми. Результати роботи оформлюються у вигляді

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 12 |

схематичного зображення концептуальної моделі та її текстового опису. Після завершення роботи групи представляють свої моделі, обґрунтовуючи включення тих чи інших компонентів та взаємозв'язків.

Контрольні запитання:

1. Які основні типи моделей використовуються в екології та в чому полягають їх відмінності?
2. Чим відрізняються детерміністичні моделі від стохастичних?
3. У яких випадках доцільно застосовувати статичні моделі, а в яких – динамічні?
4. Що таке концептуальна модель екосистеми та які етапи її побудови?
5. Які основні компоненти повинна включати концептуальна модель локальної екосистеми?
6. Яким чином у концептуальній моделі відображаються взаємозв'язки між компонентами екосистеми?
7. Які переваги мають аналітичні моделі порівняно з імітаційними?
8. Як врахувати вплив зовнішніх факторів при побудові концептуальної моделі екосистеми?
9. Які обмеження мають концептуальні моделі та як їх можна подолати?
10. Яким чином результати концептуального моделювання можуть бути використані для вирішення практичних екологічних задач?

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 13 |

Практичне заняття 2

Розрахунок та моделювання процесів самоочищення річок за моделлю Стрітера-Фелпса. Визначення критичної точки дефіциту кисню

Мета заняття

Навчити студентів застосовувати модель Стрітера-Фелпса для розрахунку та моделювання процесів самоочищення річок, визначати критичну точку дефіциту кисню та аналізувати отримані результати.

Хід роботи

На початку заняття студенти знайомляться з теоретичними основами моделі Стрітера-Фелпса, яка є класичною моделлю для розрахунку розподілу розчиненого кисню в річках під впливом органічного забруднення. Розглядаються основні рівняння моделі, які описують процеси біохімічного споживання кисню (БСК) та реаерації. Особлива увага приділяється фізичному змісту коефіцієнтів моделі та умовам її застосування.

Студенти вивчають математичне представлення моделі Стрітера-Фелпса:

$$dL/dt = -K_1L \quad dD/dt = K_1L - K_2D$$

де L - БСК (мг/л), D - дефіцит кисню (мг/л), K_1 - константа швидкості біохімічного окислення органічних речовин (доба⁻¹), K_2 - константа реаерації (доба⁻¹), t - час (доба).

Далі студенти переходять до практичної частини, де виконують розрахунки для конкретної річки з використанням наданих вихідних даних:

| Параметр | Значення |
|--|----------|
| Відстань від джерела забруднення, км | 0 |
| Швидкість течії, м/с | 0.5 |
| Початкова концентрація БСК ₅ , мг/л | 25 |
| Початкова концентрація розчиненого кисню, мг/л | 6.5 |
| Температура води, °С | 20 |
| Насичення киснем при даній температурі, мг/л | 9.1 |
| Глибина річки, м | 2.5 |

За допомогою цих даних студенти розраховують:

1. Коефіцієнти K_1 та K_2 для кожної ділянки річки, враховуючи залежність цих коефіцієнтів від температури води та гідравлічних характеристик потоку.
2. Значення БСК та дефіциту кисню на різних відстанях від джерела забруднення.
3. Концентрацію розчиненого кисню на різних ділянках річки.

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 14 |

4. Критичну точку дефіциту кисню (місце та час досягнення мінімальної концентрації кисню).

Для визначення критичної точки дефіциту кисню студенти використовують формулу:

$$t_{кр} = (1/(K_2 - K_1)) * \ln(K_2/K_1)$$

Після виконання розрахунків студенти будують графіки зміни БСК, дефіциту кисню та концентрації розчиненого кисню вздовж течії річки, визначають на них критичну точку та аналізують отримані результати. Особлива увага приділяється аналізу впливу різних факторів (температури води, швидкості течії, глибини річки тощо) на процеси самоочищення.

Контрольні запитання:

1. Які процеси описує модель Стрітера-Фелпса та в чому полягає її фізичний зміст?
2. Які фактори впливають на константу швидкості біохімічного окислення органічних речовин (K_1)?
3. Від чого залежить константа реаерації (K_2) та як її можна розрахувати?
4. Що таке критична точка дефіциту кисню та як вона визначається?
5. Чому концентрація розчиненого кисню спочатку зменшується, а потім починає зростати вздовж течії річки після скиду органічних забруднень?
6. Як впливає температура води на процеси самоочищення річки?
7. Яким чином швидкість течії та глибина річки впливають на реаерацію води?
8. У яких випадках може виникнути явище повної деоксигенації води в річці та які наслідки це може мати для водної екосистеми?
9. Які обмеження має модель Стрітера-Фелпса та в яких випадках її застосування є некоректним?
10. Як можна використовувати результати моделювання за моделлю Стрітера-Фелпса для розробки заходів з охорони водних об'єктів?

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 15 |

Практичне заняття 3

Застосування моделі MONERIS для оцінки надходження біогенних речовин у водні об'єкти з точкових та дифузних джерел

Мета заняття

Ознайомити студентів з принципами роботи моделі MONERIS (MOdelling Nutrient Emissions in RIver Systems), навчити оцінювати надходження біогенних речовин у водні об'єкти з різних джерел та аналізувати результати моделювання.

Хід роботи

Заняття розпочинається з огляду теоретичних основ моделі MONERIS. Студенти вивчають структуру моделі, її складові модулі та принципи функціонування. Особлива увага приділяється опису шляхів надходження біогенних речовин (зокрема, азоту та фосфору) у водні об'єкти, які враховуються в моделі: атмосферні опади, поверхневий стік, ґрунтова ерозія, дренажні води, ґрунтові води, урбанізовані території та точкові джерела.

Студенти проводять пошукову роботу, збираючи інформацію про успішне застосування моделі MONERIS для різних річкових басейнів у Європі та світі. Вони аналізують наукові публікації та звіти, виявляючи особливості адаптації моделі до різних географічних та кліматичних умов, а також результати моделювання та їх практичне застосування для розробки водоохоронних заходів.

Далі студенти переходять до практичної частини, де працюють з вхідними даними для моделі MONERIS для умовного річкового басейну. Вони отримують таблицю з наступними даними:

| Параметр | Значення |
|---|----------|
| Площа басейну, км ² | 1250 |
| Середньорічна кількість опадів, мм/рік | 650 |
| Середньорічний стік, мм/рік | 200 |
| Площа сільськогосподарських земель, км ² | 750 |
| Площа лісів, км ² | 350 |
| Площа урбанізованих територій, км ² | 100 |
| Площа водних об'єктів, км ² | 50 |
| Середній вміст азоту в ґрунті, мг/кг | 1850 |
| Середній вміст фосфору в ґрунті, мг/кг | 720 |
| Кількість жителів у басейні | 180000 |
| Частка жителів, підключених до очисних споруд, % | 65 |

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 16 |

| | |
|---|------|
| Ефективність видалення азоту на очисних спорудах, % | 70 |
| Ефективність видалення фосфору на очисних спорудах, % | 80 |
| Кількість азоту, що вноситься з добривами, т/рік | 2200 |
| Кількість фосфору, що вноситься з добривами, т/рік | 450 |

На основі цих даних студенти виконують розрахунки за спрощеною методикою MONERIS для оцінки надходження азоту та фосфору в річковий басейн з різних джерел. Вони розраховують:

1. Надходження біогенних речовин з точкових джерел (комунальні стоки, промислові підприємства).
2. Надходження з атмосферними опадами (прямі випадіння на водну поверхню).
3. Надходження з поверхневим стоком з різних типів територій.
4. Надходження з ґрунтовими водами.
5. Надходження внаслідок ерозії ґрунту.
6. Сумарне надходження біогенних речовин та частку кожного шляху надходження.

Після виконання розрахунків студенти будують діаграми, що відображають внесок різних джерел у загальне надходження азоту та фосфору в річковий басейн. На основі отриманих результатів вони аналізують основні шляхи надходження біогенних речовин та пропонують можливі заходи щодо їх зменшення.

Контрольні запитання:

1. Що таке модель MONERIS та які основні процеси вона описує?
2. Які шляхи надходження біогенних речовин у водні об'єкти враховуються в моделі MONERIS?
3. Які вхідні дані необхідні для застосування моделі MONERIS?
4. Чим відрізняються точкові та дифузні джерела надходження біогенних речовин та які особливості їх моделювання?
5. Як враховується вплив землекористування на надходження біогенних речовин у водні об'єкти в моделі MONERIS?
6. Яким чином гідрологічні характеристики басейну впливають на надходження біогенних речовин?
7. Які фактори впливають на інтенсивність вимивання азоту та фосфору з сільськогосподарських угідь?
8. Як можна використовувати результати моделювання за допомогою MONERIS для розробки стратегій зменшення евтрофікації водних об'єктів?

| | | | | |
|----------------------------|---|----------------|----------------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | <i>Випуск 1</i> | <i>Зміни 0</i> | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 47 / 17</i> |

9. Які обмеження має модель MONERIS та в яких випадках її застосування може бути некоректним?
10. Яким чином можна адаптувати модель MONERIS до конкретних умов річкового басейну?

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 18 |

Практичне заняття 4

Регресійний аналіз залежності концентрацій забруднюючих речовин від гідрологічних параметрів річки

Мета заняття

Навчити студентів застосовувати методи регресійного аналізу для встановлення залежностей між концентраціями забруднюючих речовин та гідрологічними параметрами річки, будувати регресійні моделі та оцінювати їх адекватність.

Хід роботи

На початку заняття студенти ознайомлюються з теоретичними основами регресійного аналізу та його застосуванням в екологічних дослідженнях. Розглядаються основні типи регресійних моделей (лінійна, поліноміальна, логарифмічна, експоненціальна), методи оцінки параметрів регресійних моделей (метод найменших квадратів) та критерії оцінки їх адекватності (коефіцієнт детермінації, середня квадратична похибка, критерій Фішера тощо). Студенти отримують набір реальних даних спостережень за гідрологічними параметрами річки та концентраціями забруднюючих речовин:

| Дата | Витрата води, м ³ /с | Температура води, °С | Завислі речовини, мг/л | БСК ₅ , мг/л | Амоній, мг/л | Нітрати, мг/л | Фосфати, мг/л |
|-------|---------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|--------------|---------------|---------------|
| 15.01 | 12.5 | 2.0 | 18.2 | 2.8 | 0.35 | 5.8 | 0.12 |
| 15.02 | 14.2 | 1.5 | 22.5 | 2.5 | 0.42 | 6.2 | 0.15 |
| 15.03 | 25.8 | 3.5 | 48.3 | 3.2 | 0.38 | 4.8 | 0.18 |
| 15.04 | 42.6 | 8.2 | 75.6 | 3.6 | 0.28 | 3.5 | 0.24 |
| 15.05 | 35.4 | 14.5 | 42.8 | 4.2 | 0.22 | 2.8 | 0.32 |
| 15.06 | 22.8 | 18.6 | 28.4 | 4.8 | 0.18 | 2.2 | 0.28 |
| 15.07 | 15.2 | 22.3 | 22.6 | 5.5 | 0.25 | 1.8 | 0.35 |
| 15.08 | 10.8 | 23.8 | 18.5 | 6.2 | 0.36 | 1.5 | 0.42 |
| 15.09 | 9.5 | 18.4 | 15.2 | 5.8 | 0.32 | 2.2 | 0.38 |
| 15.10 | 11.2 | 12.6 | 17.5 | 4.5 | 0.28 | 3.4 | 0.25 |
| 15.11 | 13.8 | 7.5 | 24.6 | 3.8 | 0.32 | 4.6 | 0.18 |
| 15.12 | 11.6 | 3.2 | 19.8 | 3.2 | 0.36 | 5.2 | 0.14 |

Використовуючи ці дані, студенти виконують наступні завдання:

1. Побудувати графіки залежності концентрацій забруднюючих речовин (завислі речовини, БСК₅, амоній, нітрати, фосфати) від гідрологічних параметрів (витрата води, температура води).
2. Провести регресійний аналіз для встановлення залежності концентрації завислих речовин від витрати води. Побудувати лінійну та поліноміальну

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 19 |

(другого степеня) регресійні моделі. Порівняти отримані моделі за коефіцієнтом детермінації та обрати найбільш адекватну.

- Провести регресійний аналіз для встановлення залежності БСК₅ від температури води. Побудувати лінійну та експоненціальну регресійні моделі. Порівняти отримані моделі та обрати найбільш адекватну.
- Провести множинний регресійний аналіз для встановлення залежності концентрації нітратів від витрати води та температури води. Отримати рівняння регресії виду: $C(\text{нітрати}) = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot T + a_3 \cdot Q \cdot T$ де $C(\text{нітрати})$ - концентрація нітратів, мг/л; Q - витрата води, м³/с; T - температура води, °С; a_0, a_1, a_2, a_3 - коефіцієнти регресії.
- Оцінити адекватність отриманих регресійних моделей за допомогою статистичних критеріїв. Перевірити значущість коефіцієнтів регресії.
- Використовуючи отримані регресійні моделі, спрогнозувати концентрації забруднюючих речовин для заданих значень гідрологічних параметрів:
 - витрата води 30 м³/с, температура води 10°С;
 - витрата води 8 м³/с, температура води 20°С.
- Проаналізувати отримані результати та зробити висновки щодо впливу гідрологічних параметрів на концентрації забруднюючих речовин у річці.

Контрольні запитання:

- Що таке регресійний аналіз та які його основні цілі в екологічних дослідженнях?
- Які типи регресійних моделей використовуються для аналізу залежностей між екологічними показниками?
- Як визначити коефіцієнти регресійної моделі за методом найменших квадратів?
- Що таке коефіцієнт детермінації та як він інтерпретується?
- Як оцінюється статистична значущість коефіцієнтів регресії?
- Чому для опису залежності концентрації завислих речовин від витрати води часто використовують нелінійні регресійні моделі?
- Які фактори, крім гідрологічних параметрів, можуть впливати на концентрації забруднюючих речовин у річках?
- Як впливає сезонність на залежності між гідрологічними параметрами та концентраціями забруднюючих речовин?
- Які обмеження має регресійний аналіз при моделюванні екологічних процесів?
- Як можна використовувати результати регресійного аналізу для прогнозування якості води в річках?

| | | | | |
|------------------------------------|--|----------------|----------------------|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | <i>Випуск 1</i> | <i>Зміни 0</i> | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 47 / 20</i> |

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 21 |

Практичне заняття 5

Побудова та аналіз кореляційних зв'язків між показниками якості води.

Розрахунок коефіцієнтів кореляції та детермінації

Мета заняття

Навчити студентів визначати та аналізувати кореляційні зв'язки між різними показниками якості води, розраховувати коефіцієнти кореляції та детермінації, інтерпретувати отримані результати та використовувати їх для оцінки стану водних екосистем.

Хід роботи

Заняття починається з вивчення теоретичних основ кореляційного аналізу. Студенти ознайомлюються з поняттями кореляції, коваріації, коефіцієнта кореляції Пірсона, коефіцієнта рангової кореляції Спірмена, коефіцієнта детермінації. Розглядаються методи перевірки статистичної значущості коефіцієнтів кореляції та інтерпретація їх значень.

Для проведення практичної роботи студенти отримують набір даних з результатами моніторингу якості води в озері протягом року:

| Місяць | Температура, °С | pH | Розчинений кисень, мг/л | БСК, мг/л | ХСК, мг/л | Завислі речовини, мг/л | Амоній, мг/л | Нітрати, мг/л | Фосфати, мг/л | Хлорофіль-а, мкг/л |
|----------|-----------------|-----|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------------|
| Січень | 2.5 | 7.8 | 12.5 | 2.1 | 18.5 | 8.2 | 0.12 | 4.5 | 0.08 | 3.2 |
| Лютий | 2.1 | 7.7 | 12.8 | 2.0 | 17.8 | 7.5 | 0.14 | 4.8 | 0.07 | 2.8 |
| Березень | 5.6 | 7.6 | 11.2 | 2.4 | 19.2 | 10.3 | 0.18 | 4.2 | 0.10 | 4.5 |
| Квітень | 11.2 | 7.5 | 10.1 | 2.8 | 21.5 | 15.2 | 0.22 | 3.8 | 0.15 | 8.2 |
| Травень | 16.8 | 7.4 | 8.5 | 3.2 | 24.8 | 18.5 | 0.28 | 3.2 | 0.22 | 15.6 |
| Червень | 22.5 | 7.2 | 7.8 | 3.8 | 28.2 | 22.4 | 0.35 | 2.8 | 0.28 | 25.4 |
| Липень | 25.8 | 7.0 | 6.2 | 4.5 | 32.5 | 25.6 | 0.42 | 2.2 | 0.32 | 38.6 |
| Серпень | 24.5 | 6.8 | 5.5 | 5.2 | 36.8 | 28.2 | 0.48 | 1.8 | 0.36 | 45.2 |
| Вересень | 19.2 | 7.1 | 7.2 | 4.8 | 34.2 | 24.5 | 0.40 | 2.0 | 0.30 | 32.8 |
| Жовтень | 12.5 | 7.3 | 8.9 | 3.5 | 26.5 | 18.2 | 0.30 | 2.6 | 0.24 | 18.5 |
| Листопад | 7.2 | 7.1 | 10.2 | 2.8 | 22.8 | 12.5 | 0.20 | 3.4 | 0.15 | 9.2 |

| | | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 | |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 22 | |

| | | | | | | | | | | |
|---------|-----|---------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| | | 5 | | | | | | | | |
| Грудень | 3.5 | 7. 7 | 11.8 | 2.2 | 19.5 | 9.2 | 0.15 | 4.2 | 0.10 | 4.5 |

Використовуючи ці дані, студенти виконують наступні завдання:

1. Побудувати матрицю коефіцієнтів парної кореляції Пірсона для всіх показників якості води.
2. Визначити статистично значущі коефіцієнти кореляції при рівні значущості $\alpha = 0.05$.
3. Виявити пари показників з найбільш сильною позитивною та негативною кореляцією.
4. Побудувати графіки залежностей для пар показників з сильною кореляцією ($|r| > 0.7$).
5. Розрахувати коефіцієнти детермінації для виявлених залежностей та інтерпретувати їх значення.
6. Провести аналіз кореляційних зв'язків між температурою води та іншими показниками. Пояснити виявлені закономірності.
7. Провести аналіз кореляційних зв'язків між концентрацією розчиненого кисню та іншими показниками. Пояснити виявлені закономірності з точки зору процесів, що відбуваються у водоймі.
8. Визначити групи взаємопов'язаних показників якості води та представити їх у вигляді кореляційних плеяд (графічне зображення, де показники з'єднуються лініями, якщо між ними існує значуща кореляція).
9. Розрахувати коефіцієнти рангової кореляції Спірмена для пар показників "температура - розчинений кисень" та "фосфати - хлорофіл-а". Порівняти отримані значення з коефіцієнтами кореляції Пірсона та пояснити можливі відмінності.
10. На основі результатів кореляційного аналізу зробити висновки про основні процеси, що впливають на формування якості води в озері протягом року, та можливі причини евтрофікації водойми.

Контрольні запитання:

1. Що таке кореляційний аналіз та яка його роль в екологічних дослідженнях?
2. Чим відрізняються коефіцієнти кореляції Пірсона та Спірмена і в яких випадках доцільно застосовувати кожен з них?
3. Як інтерпретується значення коефіцієнта кореляції та коефіцієнта детермінації?
4. Яким чином можна перевірити статистичну значущість коефіцієнта кореляції?

| | | | | |
|----------------------------|---|----------------|----------------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | <i>Випуск 1</i> | <i>Зміни 0</i> | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 47 / 23</i> |

5. Чому між температурою води та концентрацією розчиненого кисню зазвичай спостерігається негативна кореляція?
6. Якими біохімічними процесами можна пояснити кореляцію між концентраціями біогенних елементів та вмістом хлорофілу-а у воді?
7. Як сезонні зміни впливають на кореляційні зв'язки між показниками якості води?
8. Чому не можна стверджувати, що наявність кореляції між двома показниками обов'язково вказує на причинно-наслідковий зв'язок?
9. Які обмеження має кореляційний аналіз при вивченні екологічних процесів?
10. Як можна використовувати результати кореляційного аналізу для розробки програм моніторингу якості води?

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 24 |

Практичне заняття 6

Моделювання процесів евтрофікації водойм. Розрахунок балансу фосфору та азоту

Мета заняття

Навчити студентів моделювати процеси евтрофікації водойм, проводити розрахунок балансу біогенних елементів (фосфору та азоту) та оцінювати ризик евтрофікації на основі отриманих результатів.

Хід роботи

На початку заняття студенти вивчають теоретичні основи процесу евтрофікації водойм, його причини, механізми та наслідки. Розглядаються основні підходи до моделювання евтрофікації, зокрема, моделі Фолленвейдера та Диллона-Ріглера. Особлива увага приділяється ролі фосфору та азоту як ключових біогенних елементів, що обмежують розвиток фітопланктону у водоймах.

Для практичної частини заняття студенти отримують вихідні дані для моделювання процесів евтрофікації в озері:

| Параметр | Значення |
|---|----------|
| Площа озера, км ² | 12.5 |
| Середня глибина, м | 5.8 |
| Об'єм, млн м ³ | 72.5 |
| Площа водозбору, км ² | 285 |
| Річний приплив води, млн м ³ /рік | 45.2 |
| Час водообміну, роки | 1.6 |
| Надходження загального фосфору, т/рік | 8.5 |
| Надходження загального азоту, т/рік | 125 |
| Середня концентрація загального фосфору у притоках, мг/л | 0.188 |
| Середня концентрація загального азоту у притоках, мг/л | 2.765 |
| Коефіцієнт седиментації фосфору | 0.45 |
| Коефіцієнт седиментації азоту | 0.25 |
| Критичне навантаження фосфором для озера, г/м ² ·рік | 0.13 |
| Співвідношення N:P для розвитку фітопланктону (масове) | 16:1 |

Використовуючи ці дані, студенти виконують наступні завдання:

1. Розрахувати гідравлічне навантаження на озеро (м/рік).
2. Розрахувати зовнішнє навантаження озера фосфором та азотом (г/м²·рік).
3. Визначити допустиме навантаження фосфором та азотом для озера за моделлю Фолленвейдера.

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 25 |

4. Розрахувати очікувану рівноважну концентрацію загального фосфору в озері за моделлю Диллона-Ріглера: $[P]_{\text{озеро}} = L(P) \cdot (1 - R(P)) / (z \cdot \rho)$ де $[P]_{\text{озеро}}$ - концентрація загального фосфору в озері, мг/л; $L(P)$ - зовнішнє навантаження фосфором, г/м²·рік; $R(P)$ - коефіцієнт утримання фосфору в озері; z - середня глибина, м; ρ - гідравлічне навантаження, м/рік.
5. Розрахувати очікувану рівноважну концентрацію загального азоту в озері за аналогічною формулою.
6. Визначити, який з біогенних елементів (фосфор чи азот) є лімітуючим фактором для розвитку фітопланктону в озері, враховуючи оптимальне співвідношення N:P.
7. Оцінити ризик евтрофікації озера, порівнявши розраховані концентрації біогенних елементів з критичними значеннями:
 - оліготрофний стан: $[P] < 0.01$ мг/л, $[N] < 0.3$ мг/л;
 - мезотрофний стан: $0.01 \leq [P] < 0.035$ мг/л, $0.3 \leq [N] < 0.9$ мг/л;
 - евтрофний стан: $0.035 \leq [P] < 0.1$ мг/л, $0.9 \leq [N] < 1.8$ мг/л;
 - гіпертрофний стан: $[P] \geq 0.1$ мг/л, $[N] \geq 1.8$ мг/л.
8. Розробити сценарії зменшення зовнішнього навантаження біогенними елементами для досягнення мезотрофного стану озера. Розрахувати необхідне зниження надходження фосфору та азоту (у відсотках).
9. Побудувати графік залежності очікуваної концентрації загального фосфору в озері від зовнішнього навантаження фосфором.
10. Проаналізувати отримані результати та зробити висновки щодо стану озера та необхідних природоохоронних заходів.

Контрольні запитання:

1. Що таке евтрофікація водойм та які її основні причини?
2. Яка роль фосфору та азоту в процесах евтрофікації?
3. За яких умов фосфор або азот стає лімітуючим фактором для розвитку фітопланктону?
4. Які основні принципи покладено в основу моделі Фолленвейдера?
5. Як розраховується допустиме навантаження біогенними елементами для озера?
6. Які фактори впливають на коефіцієнт утримання біогенних елементів у водоймі?
7. Чому для моделювання евтрофікації частіше використовується фосфор, а не азот?
8. Як впливає час водообміну на процеси евтрофікації?

| | | | | |
|----------------------------|---|----------------|----------------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | <i>Випуск 1</i> | <i>Зміни 0</i> | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 47 / 26</i> |

9. Які методи можна застосувати для зменшення зовнішнього навантаження водойм біогенними елементами?
10. Які методи внутрішньоводоймної боротьби з евтрофікацією існують та в яких випадках їх доцільно застосовувати?

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 27 |

Практичне заняття 7

Прогнозування якості поверхневих вод методом екстраполяції трендів сезонних змін гідрохімічних показників

Мета заняття

Навчити студентів виявляти тренди сезонних змін гідрохімічних показників якості поверхневих вод, проводити їх екстраполяцію для прогнозування майбутнього стану водних об'єктів та оцінювати точність отриманих прогнозів.

Хід роботи

Заняття розпочинається з ознайомлення з теоретичними основами аналізу часових рядів та методами прогнозування. Студенти вивчають різні типи трендів (лінійний, експоненціальний, логарифмічний, поліноміальний), сезонні коливання та випадкові флуктуації, а також методи їх виявлення та математичного опису.

Для практичної роботи студенти отримують часовий ряд даних щомісячного моніторингу якості води в річці за 5 років (60 місяців) для наступних показників: температура води, розчинений кисень, БСК₅, амоній, нітрати, фосфати. Через великий обсяг даних наведемо фрагмент таблиці для перших та останніх 12 місяців:

| Рік | Місяць | Температура води, °С | Розчинений кисень, мг/л | БСК ₅ , мг/л | Амоній, мг/л | Нітрати, мг/л | Фосфати, мг/л |
|-----|--------|----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|---------------|---------------|
| 1 | 1 | 2.3 | 11.8 | 2.2 | 0.35 | 5.2 | 0.12 |
| 1 | 2 | 1.8 | 12.2 | 2.0 | 0.38 | 5.5 | 0.11 |
| 1 | 3 | 4.5 | 10.8 | 2.5 | 0.32 | 4.8 | 0.15 |
| 1 | 4 | 10.2 | 9.5 | 2.8 | 0.25 | 4.2 | 0.18 |
| 1 | 5 | 15.8 | 8.2 | 3.2 | 0.18 | 3.5 | 0.22 |
| 1 | 6 | 20.5 | 7.2 | 3.8 | 0.15 | 2.8 | 0.28 |
| 1 | 7 | 23.8 | 6.3 | 4.5 | 0.22 | 2.2 | 0.32 |
| 1 | 8 | 22.5 | 6.0 | 4.8 | 0.28 | 1.8 | 0.35 |
| 1 | 9 | 18.2 | 7.2 | 4.0 | 0.25 | 2.4 | 0.30 |
| 1 | 10 | 12.5 | 8.5 | 3.5 | 0.30 | 3.2 | 0.25 |
| 1 | 11 | 7.2 | 9.8 | 2.8 | 0.35 | 4.1 | 0.18 |
| 1 | 12 | 3.5 | 11.2 | 2.5 | 0.40 | 4.8 | 0.14 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5 | 1 | 2.1 | 10.8 | 2.6 | 0.48 | 5.8 | 0.18 |
| 5 | 2 | 1.5 | 11.2 | 2.5 | 0.52 | 6.2 | 0.16 |
| 5 | 3 | 4.2 | 9.8 | 3.0 | 0.45 | 5.5 | 0.22 |
| 5 | 4 | 9.8 | 8.2 | 3.4 | 0.38 | 4.8 | 0.25 |
| 5 | 5 | 15.2 | 7.2 | 3.8 | 0.30 | 4.0 | 0.30 |

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 28 |

| | | | | | | | |
|---|----|------|------|-----|------|-----|------|
| 5 | 6 | 21.0 | 6.0 | 4.5 | 0.25 | 3.2 | 0.38 |
| 5 | 7 | 24.2 | 5.2 | 5.2 | 0.32 | 2.5 | 0.42 |
| 5 | 8 | 23.0 | 5.0 | 5.5 | 0.38 | 2.0 | 0.45 |
| 5 | 9 | 18.5 | 6.2 | 4.8 | 0.35 | 2.8 | 0.38 |
| 5 | 10 | 12.2 | 7.5 | 4.2 | 0.42 | 3.8 | 0.32 |
| 5 | 11 | 6.8 | 8.8 | 3.5 | 0.48 | 4.6 | 0.25 |
| 5 | 12 | 3.0 | 10.2 | 3.0 | 0.55 | 5.4 | 0.20 |

Використовуючи ці дані, студенти виконують наступні завдання:

1. Побудувати графіки часових рядів для кожного з гідрохімічних показників за весь період спостережень.
2. Виявити наявність сезонної компоненти в часових рядах кожного показника. Для цього побудувати графіки середньомісячних значень показників.
3. Розрахувати індекси сезонності для кожного показника за методом відношення до ковзної середньої.
4. Виділити трендову компоненту часових рядів. Для кожного показника підібрати найбільш відповідну функцію тренду (лінійну, поліноміальну, експоненціальну або логарифмічну) та оцінити її адекватність за коефіцієнтом детермінації.
5. На основі виявлених трендів та сезонних коливань розробити прогностні моделі для кожного показника на наступний рік (12 місяців).
6. Для перевірки точності прогнозування використати метод перехресної перевірки: виключити з аналізу останній рік спостережень (12 місяців), побудувати прогностні моделі на основі даних за 4 роки, спрогнозувати значення показників на 5-й рік та порівняти їх з фактичними даними. Розрахувати середню абсолютну та відносну похибки прогнозу.
7. Проаналізувати виявлені тренди змін гідрохімічних показників та зробити висновки щодо динаміки якості води в річці.
8. Виявити показники з найбільш вираженими негативними трендами та запропонувати можливі причини погіршення якості води.
9. На основі отриманих прогнозів оцінити ризик перевищення нормативів якості води для кожного показника в наступному році.
10. Підготувати звіт з результатами аналізу та прогнозування, включаючи графіки, таблиці та висновки.

Контрольні запитання:

1. Що таке часовий ряд та які компоненти він може містити?
2. Які методи використовуються для виявлення тренду в часових рядах?

| | | | | |
|-------------------------|---|----------------|----------------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | <i>Випуск 1</i> | <i>Зміни 0</i> | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 47 / 29</i> |

3. Як виділити сезонну компоненту часового ряду та розрахувати індекси сезонності?
4. Які типи трендів можуть спостерігатися в часових рядах гідрохімічних показників?
5. Які фактори можуть впливати на сезонні коливання показників якості води в річках?
6. Як оцінити адекватність трендової моделі та точність прогнозу?
7. У чому полягає метод перехресної перевірки та для чого він використовується?
8. Які обмеження має метод екстраполяції трендів для прогнозування якості води?
9. Як може впливати зміна клімату на тренди гідрохімічних показників у річках?
10. Яким чином результати прогнозування якості води можуть бути використані в системі екологічного управління водними ресурсами?

| | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---------|--|---------------|--|--|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 | |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | | Екземпляр № 1 | | | Арк 47 / 30 | |

Практичне заняття 8

Оцінка та моделювання процесів забруднення ґрунтів важкими металами.

Розрахунок коефіцієнтів накопичення

Мета заняття

Навчити студентів оцінювати та моделювати процеси забруднення ґрунтів важкими металами, розраховувати коефіцієнти накопичення та використовувати ці дані для прогнозування екологічних ризиків.

Хід роботи

На початку заняття студенти вивчають теоретичні основи поведінки важких металів у ґрунтах, механізми їх міграції та акумуляції, а також фактори, що впливають на рухливість важких металів у ґрунтовому профілі. Розглядаються основні показники оцінки забруднення ґрунтів: коефіцієнт концентрації, коефіцієнт накопичення, сумарний показник забруднення, індекс геоакумуляції. Для практичної роботи студенти отримують результати аналізу зразків ґрунту, відібраних на різних відстанях від металургійного підприємства за різними напрямками:

| Точка відбору | Відстань від джерела, км | Напрямок | Вміст у ґрунті, мг/кг | | | | | рН ґрунту | Вміст гумусу, % | Гранулометричний склад (вміст фізичної глини), % |
|---------------|--------------------------|----------|-----------------------|-----|----|-----|----|-----------|-----------------|--|
| | | | Pb | Cd | Cu | Zn | Ni | | | |
| Фон | - | - | 12 | 0.5 | 18 | 45 | 25 | 6.8 | 3.2 | 42 |
| T1 | 0.5 | Північ | 85 | 3.2 | 75 | 185 | 65 | 6.2 | 2.8 | 38 |
| T2 | 1.0 | Північ | 62 | 2.1 | 58 | 145 | 52 | 6.4 | 3.0 | 40 |
| T3 | 2.0 | Північ | 35 | 1.2 | 42 | 95 | 42 | 6.5 | 3.1 | 41 |
| T4 | 5.0 | Північ | 18 | 0.7 | 25 | 65 | 32 | 6.7 | 3.2 | 42 |
| T5 | 0.5 | Схід | 95 | 3.8 | 82 | 205 | 72 | 6.1 | 2.7 | 37 |
| T6 | 1.0 | Схід | 72 | 2.5 | 65 | 165 | 58 | 6.3 | 2.9 | 39 |
| T7 | 2.0 | Схід | 42 | 1.5 | 48 | 105 | 45 | 6.4 | 3.0 | 40 |
| T8 | 5.0 | Схід | 22 | 0.8 | 28 | 75 | 35 | 6.6 | 3.1 | 41 |

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---------|--|--|---------------|--|--|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | | | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 | |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | | | Екземпляр № 1 | | | Арк 47 / 31 | |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|---------|----|---------|----|---------|--------|-----|-----|----|
| T9 | 0.5 | Південь | 65 | 2. 8 | 68 | 16 5 | 6 0 | 6.3 | 2.9 | 38 |
| T10 | 1.0 | Південь | 48 | 1. 8 | 52 | 12 5 | 4 8 | 6.5 | 3.0 | 40 |
| T11 | 2.0 | Південь | 28 | 1. 0 | 35 | 85 | 3 8 | 6.6 | 3.1 | 41 |
| T12 | 5.0 | Південь | 15 | 0. 6 | 22 | 55 | 2 8 | 6.8 | 3.2 | 42 |
| T13 | 0.5 | Захід | 80 | 3. 0 | 70 | 17 5 | 6 2 | 6.2 | 2.8 | 38 |
| T14 | 1.0 | Захід | 58 | 2. 0 | 55 | 13 5 | 5 0 | 6.4 | 3.0 | 40 |
| T15 | 2.0 | Захід | 32 | 1. 1 | 38 | 90 | 4 0 | 6.5 | 3.1 | 41 |
| T16 | 5.0 | Захід | 16 | 0. 6 | 24 | 60 | 3 0 | 6.7 | 3.2 | 42 |

Студенти також отримують значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) важких металів у ґрунтах:

- Pb: 30 мг/кг
- Cd: 1.0 мг/кг
- Cu: 55 мг/кг
- Zn: 100 мг/кг
- Ni: 50 мг/кг

Використовуючи ці дані, студенти виконують наступні завдання:

1. Розрахувати коефіцієнти концентрації (K_c) важких металів для кожної точки відбору за формулою: $K_c = C / C_{\text{фон}}$ де C - вміст металу в ґрунті, $C_{\text{фон}}$ - фоновий вміст металу.
2. Розрахувати коефіцієнти перевищення ГДК для кожного металу в кожній точці відбору.
3. Розрахувати сумарний показник забруднення (Z_c) для кожної точки відбору за формулою: $Z_c = \sum K_c - (n - 1)$ де n - кількість металів.
4. Оцінити рівень забруднення ґрунтів за сумарним показником забруднення:
 - $Z_c < 16$ - допустимий рівень забруднення;
 - $16 \leq Z_c < 32$ - помірно небезпечний рівень;
 - $32 \leq Z_c < 128$ - небезпечний рівень;
 - $Z_c \geq 128$ - надзвичайно небезпечний рівень.
5. Побудувати графіки залежності вмісту важких металів від відстані до джерела забруднення для кожного напрямку.

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 32 |

6. Підібрати математичні залежності (регресійні моделі), що описують зміну концентрації важких металів з відстанню від джерела забруднення. Перевірити наступні моделі:
 - $C = a \cdot e^{(-b \cdot r)}$
 - $C = a/r^b$ де C - концентрація металу, r - відстань від джерела, a і b - коефіцієнти моделі.
7. Визначити радіуси зон забруднення (відстані, на яких концентрація металу перевищує ГДК) для кожного металу за допомогою отриманих регресійних моделей.
8. Побудувати карту-схему зон забруднення території важкими металами, використовуючи метод інтерполяції.
9. Проаналізувати вплив властивостей ґрунту (рН, вміст гумусу, гранулометричний склад) на накопичення важких металів шляхом розрахунку коефіцієнтів кореляції.
10. Зробити висновки щодо просторового розподілу забруднення ґрунтів важкими металами та оцінити екологічні ризики.

Контрольні запитання:

1. Які основні джерела надходження важких металів у ґрунти?
2. Які фактори впливають на рухливість важких металів у ґрунтах?
3. Що таке коефіцієнт концентрації та сумарний показник забруднення ґрунтів?
4. Яким чином рН ґрунту впливає на рухливість та біодоступність важких металів?
5. Чому концентрація важких металів у ґрунті зменшується з відстанню від джерела забруднення?
6. Які математичні моделі можуть бути використані для опису просторового розподілу забруднення ґрунтів?
7. Що таке радіус зони забруднення та як його можна визначити?
8. Які методи можна використовувати для інтерполяції даних при побудові карти забруднення ґрунтів?
9. Яким чином вміст гумусу та гранулометричний склад впливають на накопичення важких металів у ґрунтах?
10. Які заходи можна запропонувати для зменшення забруднення ґрунтів важкими металами та їх рекультивації?

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 33 |

Практичне заняття 9

Моделювання міграції забруднюючих речовин у системі "грунт-рослина". Розрахунок транслокаційних коефіцієнтів

Мета заняття

Навчити студентів моделювати процеси міграції забруднюючих речовин у системі "грунт-рослина", розраховувати транслокаційні коефіцієнти та використовувати їх для оцінки ризику забруднення рослинної продукції.

Хід роботи

(продовження)

На початку заняття студенти ознайомлюються з теоретичними основами міграції забруднюючих речовин у системі "грунт-рослина". Розглядаються основні шляхи надходження забруднювачів у рослини, механізми їх поглинання кореневою системою та транспорту по рослині, фактори, що впливають на інтенсивність цих процесів. Особлива увага приділяється поняттю транслокаційного коефіцієнта та методам його визначення.

Для практичної роботи студенти отримують результати польового експерименту, в якому були відібрані зразки ґрунту та різних частин рослин (коріння, стебла, листя, плоди) з ділянок, забруднених важкими металами та органічними забруднювачами:

| Ділянка | Культура | Тип ґрунту | pH ґрунту | Вміст забруднюючих речовин у ґрунті, мг/кг | | | | | Вміст забруднюючих речовин у різних частинах рослин, мг/кг | | | |
|---------|----------|---------------------|-----------|--|-----|-----|------|------|--|------|------|------|
| | | | | Pb | Cd | Cu | Zn | ДДТ | Частина рослини | Pb | Cd | Cu |
| 1 | Пшениця | Чорнозем | 6.8 | 45 | 1.2 | 6.5 | 12.0 | 0.15 | Коріння | 18.5 | 0.65 | 42.5 |
| | | | | | | | | | Стебло | 5.2 | 0.28 | 15.2 |
| | | | | | | | | | Листя | 8.5 | 0.35 | 18.5 |
| | | | | | | | | | Зерно | 2.1 | 0.12 | 8.2 |
| 2 | Картопля | Дерново-підзолистий | 5.5 | 38 | 0.9 | 4.8 | 95 | 0.12 | Коріння | 14.2 | 0.52 | 32.5 |

| | | | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|--|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 | | |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 34 | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|---------------------|-----|----|-----|-----|------|------|---------|------------|------|------|------|
| | | | | | | | | | | Стебло | 4.5 | 0.2 | 12.8 |
| | | | | | | | | | | Листя | 7.2 | 0.3 | 15.5 |
| | | | | | | | | | | Бульби | 1.8 | 0.0 | 6.5 |
| 3 | Морква | Сірий лісовий | 6.2 | 42 | 1.0 | 5.5 | 10.5 | 0.14 | Коріння | 16.8 | 0.58 | 38.5 | |
| | | | | | | | | | | Стебло | 5.0 | 0.2 | 14.2 |
| | | | | | | | | | | Листя | 7.8 | 0.3 | 16.8 |
| | | | | | | | | | | Коренеплід | 2.5 | 0.1 | 9.5 |
| 4 | Томати | Чорнозем | 7.0 | 40 | 1.1 | 6.0 | 11.0 | 0.13 | Коріння | 15.5 | 0.62 | 40.2 | |
| | | | | | | | | | | Стебло | 4.8 | 0.2 | 13.5 |
| | | | | | | | | | | Листя | 7.5 | 0.3 | 17.2 |
| | | | | | | | | | | Плоди | 1.2 | 0.0 | 5.8 |
| 5 | Капуста | Дерново-підзолистий | 5.8 | 35 | 0.8 | 4.5 | 90 | 0.10 | Коріння | 13.8 | 0.48 | 30.5 | |
| | | | | | | | | | | Стебло | 4.2 | 0.2 | 11.8 |
| | | | | | | | | | | Листя | 6.8 | 0.3 | 14.5 |
| | | | | | | | | | | Качан | 1.5 | 0.0 | 7.2 |

Студенти також отримують значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин у рослинній продукції:

- Рb: 0.5 мг/кг для зерна, 0.4 мг/кг для овочів
- Cd: 0.1 мг/кг для зерна, 0.03 мг/кг для овочів
- Cu: 10 мг/кг
- Zn: 50 мг/кг
- ДДТ: 0.1 мг/кг

Використовуючи ці дані, студенти виконують наступні завдання:

1. Розрахувати коефіцієнти біологічного поглинання (КБП) для кожної забруднюючої речовини та кожної частини рослини за формулою: $КБП = \frac{С_{рослина}}{С_{грунт}}$ де $С_{рослина}$ - концентрація забруднювача в рослині, $С_{грунт}$ - концентрація забруднювача в ґрунті.

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 35 |

2. Розрахувати транслокаційні коефіцієнти (ТК) для переходу забруднюючих речовин з коріння в надземні частини рослин за формулою: $TK = \frac{\text{Снадземна частина}}{\text{Скоріння де Снадземна частина}}$ - концентрація забруднювача в надземній частині рослини, Скоріння - концентрація забруднювача в корінні.
3. Побудувати ряди рухливості забруднюючих речовин у системі "грунт-рослина" на основі отриманих КБП.
4. Побудувати ряди інтенсивності транслокації забруднюючих речовин з коріння в надземні частини рослин на основі отриманих ТК.
5. Порівняти інтенсивність накопичення забруднюючих речовин різними сільськогосподарськими культурами. Виявити культури з найвищою та найнижчою здатністю до накопичення забруднювачів.
6. Дослідити вплив типу ґрунту та його рН на інтенсивність накопичення забруднюючих речовин рослинами. Для цього розрахувати коефіцієнти кореляції між рН ґрунту та КБП для різних забруднювачів.
7. Побудувати математичні моделі, що описують залежність вмісту забруднюючих речовин у їстівних частинах рослин від їх вмісту в ґрунті. Перевірити лінійні та нелінійні моделі.
8. Використовуючи отримані моделі, розрахувати критичні концентрації забруднюючих речовин у ґрунті, при яких їх вміст у рослинній продукції не перевищуватиме ГДК.
9. Розробити рекомендації щодо вирощування сільськогосподарських культур на забруднених ґрунтах з урахуванням їх здатності до накопичення забруднювачів.
10. Підготувати звіт з результатами розрахунків та аналізу, включаючи таблиці, графіки та висновки.

Контрольні запитання:

1. Що таке коефіцієнт біологічного поглинання та транслокаційний коефіцієнт?
2. Які фактори впливають на інтенсивність поглинання забруднюючих речовин рослинами з ґрунту?
3. Чому різні види рослин мають різну здатність до накопичення забруднювачів?
4. Як впливає рН ґрунту на біодоступність важких металів для рослин?
5. Чому концентрація забруднюючих речовин у різних частинах однієї рослини може суттєво відрізнятися?

| | | | | |
|-------------------------|---|----------------|----------------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | <i>Випуск 1</i> | <i>Зміни 0</i> | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 47 / 36</i> |

6. Які механізми захисту рослин від надмірного накопичення токсичних речовин існують?
7. Які математичні моделі можуть бути використані для опису залежності вмісту забруднювачів у рослинах від їх вмісту в ґрунті?
8. У чому полягає концепція критичного навантаження ґрунту забруднюючими речовинами з точки зору безпеки рослинної продукції?
9. Які сільськогосподарські культури доцільно вирощувати на ґрунтах, забруднених важкими металами?
10. Які заходи можна запропонувати для зменшення накопичення забруднюючих речовин у рослинній продукції?

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 37 |

Практичне заняття 10

Оцінка екологічної стійкості ландшафтів за допомогою геоінформаційних систем (ГІС). Розрахунок коефіцієнтів екологічної стабільності

Мета заняття

Навчити студентів використовувати геоінформаційні системи для оцінки екологічної стійкості ландшафтів, проводити розрахунок коефіцієнтів екологічної стабільності та розробляти рекомендації щодо оптимізації ландшафтної структури території.

Хід роботи

Заняття розпочинається з ознайомлення з теоретичними основами оцінки екологічної стійкості ландшафтів. Студенти вивчають поняття ландшафтної структури території, екологічного каркасу, стабілізуючих та дестабілізуючих угідь, а також методи кількісної оцінки екологічної стійкості ландшафтів.

Для практичної роботи студенти отримують цифрову карту адміністративного району з класифікацією земельних угідь та їх площами:

| Тип угідь | Площа, га | Коефіцієнт значимості | екологічної |
|----------------------------------|--------------|--------------------------|-------------|
| Водойми та водотоки | 850 | 0.79 | |
| Ліси | 3500 | 1.00 | |
| Лісосмуги | 280 | 0.85 | |
| Природні луки та пасовища | 2100 | 0.68 | |
| Сіножаті | 1200 | 0.62 | |
| Фруктові сади та виноградники | 450 | 0.50 | |
| Орні землі | 12500 | 0.14 | |
| Населені пункти | 1800 | 0.10 | |
| Промислові об'єкти | 320 | 0.00 | |
| Всього | 23000 | - | |

Студенти також отримують інформацію про гідрографічну мережу району, рельєф та розташування населених пунктів.

Використовуючи ці дані та геоінформаційну систему (QGIS, ArcGIS або іншу), студенти виконують наступні завдання:

1. Створити цифрову карту досліджуваної території з класифікацією земельних угідь.

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 38 |

2. Розрахувати коефіцієнт екологічної стабільності ландшафту (КЕСЛ) за формулою: $КЕСЛ = \sum(K_i \cdot P_i) / \sum P_i$ де K_i - коефіцієнт екологічної значимості і-го виду угідь, P_i - площа і-го виду угідь.
3. Оцінити екологічну стійкість території за значенням КЕСЛ:
 - $КЕСЛ < 0.33$ - нестабільна екологічна ситуація;
 - $0.34 \leq КЕСЛ < 0.67$ - нестійка екологічна ситуація;
 - $0.67 \leq КЕСЛ < 1.00$ - умовно стабільна екологічна ситуація;
 - $КЕСЛ \geq 1.00$ - стабільна екологічна ситуація.
4. Розрахувати коефіцієнт антропогенного навантаження (КАН) для території: $КАН = \sum(V_i \cdot P_i) / \sum P_i$ де V_i - бал антропогенного навантаження для і-го виду угідь (для лісів - 1, для луків та пасовищ - 2, для садів - 3, для орних земель - 4, для забудованих територій - 5), P_i - площа і-го виду угідь.
5. Визначити співвідношення стабілізуючих (ліси, луки, водойми) та дестабілізуючих (орні землі, забудовані території) угідь.
6. Розрахувати коефіцієнт екологічної стабільності для окремих частин території (наприклад, басейнів річок або адміністративних одиниць) та виявити території з найбільш несприятливою екологічною ситуацією.
7. Провести аналіз просторового розподілу КЕСЛ по території та побудувати карту екологічної стійкості території.
8. Розробити сценарії оптимізації ландшафтної структури території для підвищення її екологічної стійкості. Розрахувати КЕСЛ для кожного сценарію та обрати найбільш ефективний.
9. Для обраного сценарію розробити картосхему оптимізованої ландшафтної структури території, включаючи розміщення нових лісових насаджень, відновлення природних луків, створення водоохоронних зон тощо.
10. Підготувати звіт з результатами аналізу та рекомендаціями щодо оптимізації ландшафтної структури території, включаючи карти, таблиці та висновки.

Контрольні запитання:

1. Що таке екологічна стійкість ландшафту та які фактори на неї впливають?
2. Які типи угідь відносяться до стабілізуючих, а які - до дестабілізуючих?
3. Як розраховується коефіцієнт екологічної стабільності ландшафту?
4. Які значення коефіцієнта екологічної стабільності відповідають різним рівням екологічної стійкості території?

| | | | | |
|----------------------------|---|----------------|----------------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | <i>Випуск 1</i> | <i>Зміни 0</i> | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 47 / 39</i> |

5. Як впливає просторове розміщення угідь на екологічну стійкість ландшафту?
6. Які переваги надає використання геоінформаційних систем для оцінки екологічної стійкості ландшафтів?
7. Які заходи можна запропонувати для підвищення екологічної стійкості агроландшафтів?
8. Яким чином рельєф місцевості впливає на екологічну стійкість ландшафтів?
9. Як можна оптимізувати співвідношення угідь для досягнення стабільної екологічної ситуації?
10. Як пов'язані екологічна стійкість ландшафту та його здатність протистояти негативним природним та антропогенним впливам?

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 40 |

Практичне заняття 11

Моделювання поширення інвазійних видів рослин з використанням кліматичних факторів

Мета заняття

Навчити студентів використовувати методи моделювання для прогнозування поширення інвазійних видів рослин з урахуванням кліматичних факторів, оцінювати екологічні ризики біологічних інвазій та розробляти заходи щодо їх запобігання.

Хід роботи

На початку заняття студенти ознайомлюються з теоретичними основами моделювання поширення інвазійних видів рослин. Розглядаються основні типи моделей, що використовуються для цієї мети: кореляційні моделі, моделі ніш, моделі на основі фізіологічних обмежень, популяційні моделі. Особлива увага приділяється впливу кліматичних факторів на поширення інвазійних видів та методам прогнозування змін ареалів в умовах кліматичних змін.

Для практичної роботи студенти обирають один з інвазійних видів рослин (наприклад, амброзія полинолиста, борщівник Сосновського, золотарник канадський) та збирають інформацію про його біологічні особливості, екологічні вимоги та сучасне поширення.

Студенти отримують набір даних про кліматичні фактори для досліджуваної території (адміністративної області або регіону України):

| Кліматичний фактор | Просторовий розподіл |
|------------------------------------|----------------------|
| Середньорічна температура | Карта ізотерм |
| Сума активних температур вище 10°C | Карта ізоліній |
| Річна сума опадів | Карта ізогіет |
| Гідротермічний коефіцієнт | Карта ізоліній |
| Тривалість вегетаційного періоду | Карта ізоліній |
| Середня температура січня | Карта ізотерм |
| Середня температура липня | Карта ізотерм |

Студенти також отримують дані про сучасне поширення обраного інвазійного виду в межах досліджуваної території та інформацію про типи ландшафтів, ґрунтовий покрив, гідрографічну мережу, шляхи сполучення тощо.

Використовуючи ці дані та геоінформаційні системи, студенти виконують наступні завдання:

1. Створити цифрову карту сучасного поширення інвазійного виду на досліджуваній території.

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 41 |

2. Проаналізувати зв'язок між поширенням інвазійного виду та кліматичними факторами. Для цього визначити діапазони кліматичних факторів у місцях присутності виду.
3. Побудувати кореляційну модель залежності ймовірності присутності інвазійного виду від кліматичних факторів. Для цього використати методи логістичної регресії або максимальної ентропії (MaxEnt).
4. На основі отриманої моделі побудувати карту потенційного ареалу інвазійного виду для сучасних кліматичних умов.
5. Визначити ключові кліматичні фактори, що обмежують поширення інвазійного виду на досліджуваній території.
6. Розробити сценарії зміни клімату для досліджуваної території на основі прогнозів загальноприйнятих кліматичних моделей (наприклад, IPCC). Розглянути сценарії на 2050 та 2100 роки.
7. Спрогнозувати зміни потенційного ареалу інвазійного виду для різних сценаріїв кліматичних змін.
8. Оцінити ризики подальшого поширення інвазійного виду та його впливу на природні та антропогенні екосистеми.
9. Визначити території з найвищим ризиком інвазії та розробити рекомендації щодо запобігання поширенню інвазійного виду.
10. Підготувати звіт з результатами моделювання та прогнозування, включаючи карти, графіки, таблиці та висновки.

Контрольні запитання:

1. Які основні підходи використовуються для моделювання поширення інвазійних видів рослин?
2. Які кліматичні фактори найбільше впливають на поширення інвазійних видів рослин?
3. Що таке екологічна ніша виду та як вона використовується в моделюванні поширення видів?
4. Які переваги та недоліки має метод максимальної ентропії (MaxEnt) для моделювання поширення видів?
5. Як глобальні кліматичні зміни можуть вплинути на поширення інвазійних видів рослин?
6. Які некліматичні фактори можуть впливати на поширення інвазійних видів і як їх можна врахувати в моделях?
7. Як можна оцінити точність прогнозних моделей поширення видів?
8. Які практичні заходи можна запропонувати для запобігання поширенню інвазійних видів рослин?

| | | | | |
|----------------------------|---|----------------|----------------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | <i>Випуск 1</i> | <i>Зміни 0</i> | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 47 / 42</i> |

9. Як можна використовувати результати моделювання поширення інвазійних видів для розробки стратегій боротьби з ними?
10. Які обмеження мають сучасні моделі прогнозування поширення інвазійних видів та як їх можна подолати?

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 43 |

Глосарій

| № з/п | Термін англійською мовою | Відповідник українською мовою |
|-------|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | Anthropogenic landscape | Антропогенний ландшафт |
| 2 | Biogeocenosis | Біогеоценоз |
| 3 | Biosphere | Біосфера |
| 4 | Climate | Клімат |
| 5 | Cultural landscape | Культурний ландшафт |
| 6 | Ecological function | Екологічна функція |
| 7 | Ecosystem | Екосистема |
| 8 | Environmental monitoring | Екологічний моніторинг |
| 9 | Geosystem | Геосистема |
| 10 | Habitat | Оселище |
| 11 | Hydrological cycle | Гідрологічний цикл |
| 12 | Landscape | Ландшафт |
| 13 | Landscape components | Компоненти ландшафту |
| 14 | Landscape diversity | Ландшафтне різноманіття |
| 15 | Landscape dynamics | Динаміка ландшафту |
| 16 | Landscape ecology | Ландшафтна екологія |
| 17 | Landscape planning | Ландшафтне планування |
| 18 | Landscape structure | Структура ландшафту |
| 19 | Lithosphere | Літосфера |
| 20 | Natural zone | Природна зона |
| 21 | Physical geography | Фізична географія |
| 22 | Relief | Рельєф |
| 23 | Resource management | Управління ресурсами |

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 44 |

Рекомендована література

Основна література

1. Біла книга 2021. Оборонна політика України : інформ. бюл. / підгот. робочою групою фахівців М-ва оборони України, Ген. штабу Збройних Сил України та Адміністрації Держ. спец. служби транспорту, 2021. 34 с. URL: https://archive.r2p.org.ua/wp-content/uploads/2020/10/white_book_risks_3p-consortium.pdf
2. Войтків П., Іванов Є. Методи геоєкологічних досліджень: навч.-метод. посіб. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2022. 106 с. URL: <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/bitstream/123456789/4017/1/2022-VOYTKIV.-IVANOV.-METODY-NEOEKOLOGICHNYKH-DOSLIDZHEN-book-2022.pdf>
3. Шовкун Т. М., Мирон І. В. Основи загального землезнавства та ландшафтознавства: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і допов. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2023. 95 с. URL: <http://lib.ndu.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/3076/1/Основи%20заг%20зва%20та%20ландш..pdf>
4. Яворський Б. І., Карабінюк М. М. Ландшафтознавство: навч.-метод. посіб. Ужгород: Говерла, 2023. 104 с. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/51506> (дата звернення 18.11.2024)
5. Shevchenko L. S. Landscape Architecture: illustrative and informative educational book. Part 1. Poltava: National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", 2023. 80 p. URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PolNTU/14183>

Допоміжна література

1. Василега В. Д. Ландшафтна екологія: навч. посіб. Суми: СумДУ, 2010. 303 с.
2. Воловик В. М. Ландшафтознавство: курс лекцій. Вінниця: Твори, 2018. 254 с. URL: https://repository.ldufk.edu.ua/bitstream/34606048/23344/1/Воловик_landshaftoznavstvo_2018.pdf
3. Домбровський К. О., Рильський О. Ф. Урбоекологія: навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗНУ, 2023. 124 с. URL: <https://dspace.znu.edu.ua/xmlui/handle/12345/12897?locale-attribute=uk>

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 45 |

4. Іванюта С. П., Коломієць О. О., Малиновська О. А., Якушенко Л. М. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації. Київ : НІСД, 2020. 110 с. URL: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf
5. Корнус А. О. Теорія фізичної географії і раціональне природокористування (курс лекцій): навч. посіб. Суми: Інститут стратегій інноваційного розвитку і трансферу знань, 2023. 176 с. URL: http://aokornus.at.ua/BOOKS/Laboratorni_roboty.pdf
6. Оптимізація природокористування : навч. посіб. Одеса : Одеський держ. екол. ун-т, 2024. 116 с. URL: <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/13067/>
7. Цимбалюк І. О. Інвестиційне забезпечення сталого розвитку: навч. посіб. Луцьк: Вежа-Друк, 2023. 244 с. URL: <https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/23341>

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України)
URL: <https://dsns.gov.ua/>
2. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України
URL: <https://mepr.gov.ua/>
3. Державне агентство водних ресурсів України
URL: <https://www.davr.gov.ua/>
4. Український гідрометеорологічний центр
URL: <https://meteo.gov.ua/>
5. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)
URL: <https://www.undrr.org/>
6. European Commission - European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations
URL: <https://ec.europa.eu/echo/>
7. World Health Organization (WHO) - Emergencies
URL: <https://www.who.int/emergencies/en/>
8. The International Disaster Database (EM-DAT)
URL: <https://www.emdat.be/>
9. PreventionWeb - Knowledge platform for disaster risk reduction
URL: <https://www.preventionweb.net/>
10. Global Disaster Alert and Coordination System (GDACS)
URL: <https://www.gdacs.org/>
11. European Environment Agency

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 46 |

URL: <https://www.eea.europa.eu/>

12. United States Environmental Protection Agency (EPA)

URL: <https://www.epa.gov/>

13. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

URL: <https://www.noaa.gov/>

14. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

URL: <https://www.ipcc.ch/>

15. European Flood Awareness System (EFAS)

URL: <https://www.efas.eu/>

Нормативні документи

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
2. Закон України «Про екологічну мережу України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15#Text>
3. Земельний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>
4. Закон України «Про охорону культурної спадщини». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text>
5. Закон України «Про благоустрій населених пунктів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15#Text>
6. Закон України «Про природно-заповідний фонд України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text>
7. Закон України «Про освіту». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text>.
8. Закон України «Про вищу освіту». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text>
9. ДСТУ 7739:2015 Захист довкілля. Ландшафти. Терміни та визначення понять (2015). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62365
10. Європейська ландшафтна конвенція. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_154#Text
11. Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття (1995). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_711#Text

| | | | | |
|-------------------------|---|---------|---------------|---|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | | | Ф-23.10- 05.01/103.00.1/Б/ОК23- 01-2024 |
| | Випуск 1 | Зміни 0 | Екземпляр № 1 | Арк 47 / 47 |

12. Конвенція про охорону всесвітньої культурної та природної спадщини (Париж, 16 листопада 1972 року). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_089#Text
13. Закони України «Про місцеве самоврядування в Україні». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-%D0%B2%D1%80#Text>
14. Закон України «Про місцеві державні адміністрації». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/586-14#Text>
15. Закон України «Про основи містобудування». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2780-12#Text>
16. Закон України «Про державні будівельні норми». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17#Text>
17. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>
18. Закон України «Про архітектурну діяльність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-14#Text>
19. Закон України «Про відповідальність за правопорушення у сфері містобудівної діяльності». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/208/94-%D0%B2%D1%80#Text>
20. Закон України «Про Генеральну схему планування території України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3059-14#Text>
21. Закон України «Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/525-16#Text>
22. Закон України «Про будівельні норми». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1704-17#Text>