

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІКИ ТА ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА НАУКОВА УСТАНОВА
«ІНСТИТУТ ЕКОЛОГІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ УКРАЇНИ»



ЗАТВЕРДЖУЮ
в.о. директора *Олександр БОНДАР*
07 серпня 2026 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Екологічний моніторинг та просторово-часовий аналіз екосистем

Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

Галузь знань: 10 Природничі науки

Спеціальність: 101 Екологія

Освітня програма: Екологія

Київ - 2026



Розробники: Морозова Тетяна Василівна

Робоча програма навчальної дисципліни «Екологічний моніторинг та просторово-часовий аналіз екосистем» затверджена на засіданні Центру моніторингу біологічного і ландшафтного різноманіття

Протокол від “05” серпня 2026 р. № 1

Керівник Центру _____ Ігор ІВАНЕНКО

Погоджено із гарантом освітньої програми «Екологія»

_____ Тетяна МОРОЗОВА

Схвалено Вченою радою Державної наукової установи «Інститут екологічного відновлення і розвитку України»

Протокол від “07” серпня 2026 р. № 5-26

Голова Вченої ради _____ Олександр БОНДАР

Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни «Екологічний моніторинг та просторово-часовий аналіз екосистем» є формування у здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти системного розуміння принципів організації екологічного моніторингу та здатності планувати, здійснювати й науково обґрунтовувати просторово-часовий аналіз стану, динаміки та трансформації екосистем із використанням сучасних методів екологічних досліджень, геоінформаційних технологій, дистанційного зондування Землі, статистичного аналізу та цифрових даних.

Завдання навчальної дисципліни

Основними завданнями дисципліни є:

1. **Формування системного розуміння принципів екологічного моніторингу**, його завдань, рівнів, видів, об'єктів, показників та організаційних засад.
2. **Опанування принципів планування моніторингових досліджень**, включаючи визначення мети, об'єктів і показників спостережень, просторового охоплення, періодичності та тривалості моніторингу.
3. **Формування здатності обґрунтовувати систему екологічних показників та індикаторів** для оцінювання стану, функціонування і трансформації екосистем.
4. **Опанування методів збору, верифікації, систематизації та контролю якості екологічних даних**, отриманих у результаті польових спостережень, лабораторних досліджень, дистанційного зондування та інших джерел.
5. **Формування навичок просторового аналізу екологічних даних** із використанням геоінформаційних систем, цифрових картографічних матеріалів та геопросторових баз даних.
6. **Опанування сучасних можливостей дистанційного зондування Землі** для моніторингу стану рослинного покриву, земного покриву, водних об'єктів, оселищ та інших компонентів екосистем.
7. **Формування здатності здійснювати часовий аналіз екологічних даних**, виявляти тенденції, циклічність, сезонність, точки зміни та довготривалі трансформації екосистем.
8. **Опанування методів статистичного та просторово-статистичного аналізу** для виявлення закономірностей просторової неоднорідності та часової динаміки екологічних показників.
9. **Формування здатності інтегрувати просторові та часові дані** для комплексного оцінювання екологічного стану та динаміки екосистем.
10. **Опанування підходів до візуалізації та картографування екологічної інформації**, представлення просторових закономірностей, динаміки та результатів моніторингу.
11. **Формування здатності виявляти та інтерпретувати просторово-часові закономірності** змін екосистем під впливом природних і антропогенних чинників.
12. **Опанування підходів до моделювання та прогнозування екологічних змін** на основі часових рядів, просторових даних та результатів моніторингових спостережень.
13. **Формування навичок оцінювання невизначеності, похибок та обмежень моніторингових даних**, а також критичного оцінювання надійності отриманих результатів.
14. **Розвиток здатності використовувати результати просторово-часового моніторингу** для оцінювання екологічних ризиків, підтримки природоохоронних рішень, управління екосистемами та обґрунтування наукових висновків.
15. **Формування дослідницької компетентності** щодо застосування сучасних методів моніторингу та просторово-часового аналізу у власному дисертаційному дослідженні.

знати:

- ✓ теоретичні засади, принципи та завдання екологічного моніторингу;
- ✓ рівні, види та системи екологічного моніторингу;
- ✓ принципи формування програм і дизайну моніторингових досліджень;
- ✓ основні типи екологічних показників та індикаторів;
- ✓ методи польового спостереження, відбору проб та отримання екологічних даних;
- ✓ принципи стандартизації, верифікації та контролю якості моніторингових даних;

- ✓ принципи організації просторових і часових вибірок;
- ✓ основи просторового аналізу та геостатистики;
- ✓ основи аналізу часових рядів екологічних даних;
- ✓ можливості геоінформаційних систем у моніторингу та аналізі екосистем;
- ✓ принципи та методи дистанційного зондування Землі для екологічних досліджень;
- ✓ методи картографування та візуалізації просторово-часових екологічних даних;
- ✓ методи статистичного аналізу, виявлення трендів, сезонності та змін у часових рядах;
- ✓ принципи моделювання та прогнозування просторово-часової динаміки екосистем;
- ✓ основні джерела похибок, невизначеності та систематичних зміщень у моніторингових даних;
- ✓ принципи інтерпретації просторово-часових закономірностей та використання результатів моніторингу в екологічному управлінні.

вміти:

- ✓ формулювати мету, завдання та дослідницькі питання екологічного моніторингу;
- ✓ проєктувати програму моніторингових досліджень з урахуванням просторових і часових особливостей об'єкта;
- ✓ обґрунтовувати вибір об'єктів спостереження, показників, методів та частоти моніторингу;
- ✓ формувати репрезентативні вибірки та оцінювати їх достатність;
- ✓ збирати, систематизувати та структурувати екологічні дані з різних джерел;
- ✓ здійснювати контроль якості, верифікацію та первинне очищення екологічних даних;
- ✓ інтегрувати польові, лабораторні, дистанційні та геопросторові дані;
- ✓ здійснювати просторовий аналіз екологічних показників із використанням ГІС;
- ✓ використовувати дані дистанційного зондування Землі для оцінювання стану та змін екосистем;
- ✓ аналізувати часові ряди екологічних показників та виявляти тренди, сезонні коливання і точки зміни;
- ✓ застосовувати статистичні та просторово-статистичні методи для аналізу екологічних даних;
- ✓ виявляти просторово-часові закономірності та оцінювати їх екологічне значення;
- ✓ створювати тематичні карти та інші форми візуалізації результатів моніторингу;
- ✓ оцінювати похибки, невизначеність та обмеження отриманих даних і результатів аналізу;
- ✓ застосовувати моделі для аналізу та прогнозування змін екосистем;
- ✓ інтерпретувати результати просторово-часового аналізу з урахуванням природних та антропогенних чинників;
- ✓ формулювати науково обґрунтовані висновки за результатами моніторингових досліджень;
- ✓ використовувати результати екологічного моніторингу для оцінювання екологічних ризиків та обґрунтування природоохоронних рішень;
- ✓ представляти результати просторово-часового аналізу у формі наукових текстів, таблиць, графіків, карт і презентацій;
- ✓ застосовувати методи екологічного моніторингу та просторово-часового аналізу у власному дисертаційному дослідженні.

Під час вивчення навчальної дисципліни здобувачі вищої освіти набудуть додаткових загальних (soft skills), необхідних для професійної діяльності, зокрема:

- аналітичне мислення – опрацювання великих масивів екологічної інформації та виявлення закономірностей;
- системне мислення – розуміння взаємозв'язків між просторовими, часовими та функціональними характеристиками екосистем;
- критичне мислення – оцінювання якості, достовірності та обмежень екологічних даних;
- дослідницьке мислення – формулювання наукових питань, гіпотез і вибір адекватних методів їх перевірки;

- просторове мислення – інтерпретація просторової неоднорідності та закономірностей розподілу екологічних явищ;
- прогностичне мислення – оцінювання можливих напрямів майбутніх змін екосистем на основі наявних даних;
- цифрову компетентність – ефективне використання сучасних цифрових інструментів для роботи з екологічними даними;
- навички роботи з інформацією – пошук, відбір, систематизація та критичне оцінювання наукових і геопросторових даних;
- проблемно-орієнтоване мислення – пошук науково обґрунтованих способів вирішення комплексних екологічних проблем;
- наукову комунікацію – представлення та аргументування результатів досліджень;
- командну роботу – ефективну взаємодію під час виконання комплексних моніторингових досліджень;
- самоорганізацію – планування довготривалих моніторингових і дослідницьких робіт;
- наукову доброчесність – відповідальне поводження з даними, джерелами та результатами досліджень;
- адаптивність – опанування нових методів, технологій та інструментів екологічного моніторингу

Програма навчальної дисципліни

«Екологічний моніторинг та просторово-часовий аналіз екосистем»

Модуль 1. Теоретичні засади та дизайн екологічного моніторингу

Тема 1. Теоретичні основи екологічного моніторингу

Поняття, мета, завдання та принципи екологічного моніторингу. Моніторинг як складова системи екологічних досліджень та інформаційного забезпечення природоохоронних рішень. Об'єкти, компоненти та рівні моніторингу. Види екологічного моніторингу за об'єктами, масштабом, тривалістю, періодичністю та призначенням. Взаємозв'язок моніторингу, оцінювання стану довкілля, прогнозування та управління екологічними процесами.

Практична робота 1. Формування структури системи екологічного моніторингу для визначеного об'єкта дослідження.

Тема 2. Проектування програми екологічного моніторингу

Формулювання мети, завдань і дослідницьких питань моніторингу. Вибір об'єктів та показників спостережень. Просторова організація пунктів спостережень. Визначення періодичності, тривалості та сезонності спостережень. Репрезентативність вибірки. Просторове та часове охоплення моніторингових досліджень. Баланс між науковою інформативністю, ресурсними обмеженнями та потребами управління.

Практична робота 2. Проектування програми просторово-часового моніторингу екосистеми.

Тема 3. Екологічні показники та індикатори

Поняття показника, індикатора та індексу. Вимоги до екологічних індикаторів. Індикатори стану, навантаження, впливу та реакції екосистем. Біологічні, фізико-хімічні, ландшафтні та просторові індикатори. Індикатори біорізноманіття, стану середовища, функціонування екосистем та антропогенного навантаження. Вибір системи індикаторів відповідно до мети моніторингу.

Практична робота 3. Обґрунтування системи індикаторів для моніторингу визначеної екосистеми.

Модуль 2. Отримання, структурування та контроль якості екологічних даних

Тема 4. Методи отримання та організація екологічних даних

Польові, лабораторні, інструментальні та дистанційні методи отримання екологічної інформації. Первинні та вторинні дані. Використання відкритих екологічних даних, баз даних,

геопросторової інформації та результатів попередніх досліджень. Стандартизація форматів даних. Просторові та часові атрибути спостережень. Організація бази моніторингових даних.

Практична робота 4. Формування та структурування набору первинних екологічних даних.

Тема 5. Якість, верифікація та надійність екологічних даних

Основні джерела похибок у моніторингових дослідженнях. Випадкові та систематичні похибки. Валідація та верифікація даних. Виявлення пропущених, аномальних і помилкових значень. Контроль якості даних (QA/QC). Простежуваність походження даних. Оцінювання повноти, точності та репрезентативності моніторингових вибірок. Документування процедур оброблення даних та забезпечення відтворюваності дослідження.

Практична робота 5. Контроль якості та верифікація набору екологічних даних.

Тема 6. Інтеграція різнорідних екологічних даних

Поєднання польових, лабораторних, статистичних, картографічних, дистанційних та інших джерел інформації. Узгодження просторових і часових масштабів. Структурування багатовимірних наборів даних. Метадані та документування даних. Принципи FAIR для управління науковими даними. Підготовка даних до статистичного, просторового та просторово-часового аналізу.

Практична робота 6. Інтеграція різних типів екологічних даних у єдиний аналітичний набір.

Модуль 3. Просторовий і часовий аналіз екосистем

Тема 7. Геоінформаційні технології в екологічному моніторингу

Основи просторового представлення екологічних даних. Векторні та растрові моделі. Географічні та проєктовані системи координат. Просторові бази даних. Геоприв'язка та просторове позиціонування моніторингових спостережень. Просторові запити та операції. Аналіз просторового розподілу екологічних показників.

Практична робота 7. Просторове представлення та аналіз моніторингових даних у ГІС.

Тема 8. Дистанційне зондування Землі в екологічному моніторингу

Принципи дистанційного зондування Землі. Оптичні, мультиспектральні та радарні дані. Супутникові та аерокосмічні джерела екологічної інформації. Моніторинг рослинності, земного покриття, водних об'єктів, оселищ та порушених територій. Спектральні індекси. Виявлення просторових змін екосистем за даними ДЗЗ. Поєднання даних ДЗЗ із наземними спостереженнями.

Практична робота 8. Аналіз стану та просторової динаміки екосистеми за даними дистанційного зондування.

Тема 9. Просторовий аналіз і просторово-статистичні методи

Просторова неоднорідність екосистем. Просторові закономірності розподілу екологічних показників. Автокореляція та просторова залежність. Просторове згладжування та інтерполяція. Геостатистичні підходи. Аналіз просторових кластерів і зон концентрації. Урахування просторової структури даних під час статистичного аналізу.

Практична робота 9. Виявлення просторових закономірностей у розподілі екологічного показника.

Тема 10. Часові ряди та аналіз динаміки екосистем

Поняття часового ряду в екологічних дослідженнях. Тренди, сезонність, циклічність та випадкові коливання. Довготривалі зміни екологічних показників. Порівняння часових періодів. Методи виявлення трендів. Точки зміни (change points). Аналіз короткострокової та довгострокової динаміки. Виявлення стійких і нестійких змін у стані екосистем.

Практична робота 10. Аналіз часового ряду екологічного показника та визначення основних тенденцій його динаміки.

Тема 11. Просторово-часовий аналіз екосистем

Поєднання просторової та часової інформації. Просторово-часова неоднорідність і динаміка. Зміни меж, площ та структури екосистем. Аналіз трансформації земного покриття та оселищ.

Виявлення зон стійких змін, деградації або відновлення. Просторово-часові патерни під впливом природних і антропогенних чинників. Візуалізація просторово-часових змін.

Практична робота 11. Просторово-часове оцінювання трансформації екосистеми.

Модуль 4. Статистичний аналіз, моделювання та прогнозування

Тема 12. Статистичний аналіз моніторингових даних

Особливості статистичного аналізу екологічних даних. Описова статистика та оцінювання варіабельності. Перевірка розподілів та припущень статистичних методів. Порівняння груп і часових періодів. Кореляційний та регресійний аналіз. Багатофакторний аналіз. Залежність між екологічними показниками та чинниками середовища. Вибір статистичного методу відповідно до структури даних і дослідницького питання.

Практична робота 12. Вибір та застосування статистичних методів для аналізу моніторингових даних.

Тема 13. Моделювання стану та динаміки екосистем

Моделювання як інструмент екологічного дослідження. Концептуальні та математичні моделі. Статистичне моделювання просторових і часових закономірностей. Моделі залежності екологічних показників від природних та антропогенних факторів. Просторові моделі. Оцінювання якості моделей. Валідація та перехресна перевірка. Інтерпретація параметрів моделей та оцінювання невизначеності.

Практична робота 13. Побудова та оцінювання моделі просторової або часової динаміки екологічного показника.

Тема 14. Прогнозування та оцінювання невизначеності

Прогнозування екологічних змін на основі моніторингових даних. Коротко- та довгострокові прогнози. Екстраполяція та сценарний підхід. Джерела невизначеності прогнозів. Інтервали прогнозу та довіри. Чутливість результатів до зміни параметрів. Обмеження прогнозних моделей. Інтерпретація прогнозів у контексті екологічного ризику та управлінських рішень.

Практична робота 14. Оцінювання прогнозу зміни екологічного показника та аналіз його невизначеності.

Модуль 5. Наукове використання результатів моніторингу

Тема 15. Інтерпретація результатів моніторингу та їх використання в екологічних дослідженнях

Інтерпретація просторово-часових закономірностей. Встановлення зв'язків між змінами екосистем та природними й антропогенними чинниками. Відокремлення закономірностей від випадкових коливань. Формування наукових висновків на основі моніторингових даних. Використання результатів моніторингу для оцінювання екологічних ризиків, охорони біорізноманіття, відновлення екосистем та екологічного управління. Обмеження причинно-наслідкової інтерпретації моніторингових даних.

Практична робота 15. Інтерпретація просторово-часових закономірностей та формулювання наукових висновків.

Тема 16. Екологічний моніторинг у дисертаційних дослідженнях

Використання моніторингових підходів у сучасних екологічних дослідженнях. Формування моніторингової частини дисертаційного дослідження. Вибір показників, просторового та часового масштабу відповідно до наукової проблеми. Поєднання польових спостережень, ГІС, ДЗЗ, статистичних методів і моделювання. Відтворюваність досліджень. Представлення результатів у наукових статтях, дисертації та наукових доповідях. Критичне оцінювання обмежень власного дослідження та визначення напрямів подальшого моніторингу.

Практична робота 16. Розроблення фрагмента програми екологічного моніторингу для власного дисертаційного дослідження.

Орієнтовна структура практичних занять

1. Структура системи екологічного моніторингу.
2. Проектування програми просторово-часового моніторингу.

3. Вибір екологічних показників та індикаторів.
4. Формування набору первинних екологічних даних.
5. Контроль якості та верифікація даних.
6. Інтеграція різнорідних екологічних даних.
7. Просторове представлення даних у ГІС.
8. Аналіз даних дистанційного зондування Землі.
9. Просторово-статистичний аналіз.
10. Аналіз часових рядів.
11. Просторово-часовий аналіз трансформації екосистем.
12. Статистичний аналіз моніторингових даних.
13. Моделювання екологічних процесів.
14. Прогнозування та оцінювання невизначеності.
15. Інтерпретація результатів моніторингу.
16. Проектування моніторингової частини дисертаційного дослідження.

Підсумковий індивідуальний дослідницький проєкт

Підсумкове завдання передбачає підготовку здобувачем фрагмента системи екологічного моніторингу для конкретного об'єкта або проблеми, пов'язаної з темою дисертаційного дослідження.

Проєкт має містити:

1. обґрунтування проблеми та мети моніторингу;
2. визначення об'єкта і предмета спостережень;
3. формулювання дослідницьких питань та/або гіпотез;
4. обґрунтування системи показників та індикаторів;
5. визначення просторового і часового дизайну спостережень;
6. характеристику джерел та способів отримання даних;
7. систему контролю якості та верифікації даних;
8. обґрунтування методів просторового і часового аналізу;
9. можливості використання ГІС та ДЗЗ;
10. статистичні методи та/або модельний підхід;
11. оцінювання похибок і невизначеності;
12. способи візуалізації та представлення результатів;
13. очікувані результати та можливості їх використання;
14. обмеження запропонованого дизайну;
15. перспективи інтеграції моніторингу з дисертаційним дослідженням.

Основний результат проєкту має бути представлений у формі **обґрунтованого дизайну моніторингового дослідження**, а не лише опису окремих методів.

6. Самостійна робота

Самостійна робота з навчальної дисципліни «**Екологічний моніторинг та просторово-часовий аналіз екосистем**» спрямована на поглиблення теоретичних знань, опанування методології організації моніторингових досліджень, формування навичок роботи з екологічними даними та набуття здатності самостійно здійснювати їх просторово-часовий аналіз.

Для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня самостійна робота має дослідницьку спрямованість і максимально пов'язується з тематикою дисертаційного дослідження.

1. Основні завдання самостійної роботи

У процесі самостійної роботи здобувачі виконують такі види завдань:

1. опрацьовують сучасну наукову літературу з питань екологічного моніторингу, просторового аналізу та дослідження динаміки екосистем;
2. аналізують сучасні підходи до організації моніторингових досліджень;
3. порівнюють методи просторового та часового аналізу екологічних даних;

4. обґрунтовують вибір екологічних показників та індикаторів відповідно до мети дослідження;
5. опрацьовують набори первинних і вторинних екологічних даних;
6. здійснюють перевірку, очищення та структурування даних;
7. аналізують просторову структуру екологічних показників;
8. досліджують часову динаміку екологічних показників;
9. використовують геоінформаційні та дистанційні дані для характеристики стану й трансформації екосистем;
10. аналізують можливості застосування статистичних методів до моніторингових даних;
11. оцінюють похибки, невизначеність та обмеження отриманих результатів;
12. опрацьовують підходи до моделювання та прогнозування екологічних змін;
13. формують науково обґрунтовані висновки за результатами аналізу;
14. готують результати досліджень у формі таблиць, графіків, карт та наукового тексту;
15. інтегрують набуті методичні підходи у власне дисертаційне дослідження.

2. Тематика самостійної роботи

Тема 1. Аналіз сучасних систем екологічного моніторингу

Опрацювання наукових публікацій щодо принципів, структури та організації екологічного моніторингу. Порівняння систем моніторингу за об'єктами, просторовим масштабом, періодичністю та призначенням.

Результат: аналітична таблиця та короткий висновок щодо особливостей різних підходів до організації моніторингу.

Тема 2. Проєктування програми моніторингового дослідження

Формулювання мети, завдань, дослідницьких питань, визначення об'єкта, показників, просторового охоплення та періодичності спостережень.

Результат: структурна схема або проєкт програми моніторингу.

Тема 3. Вибір екологічних індикаторів

Аналіз критеріїв вибору індикаторів. Порівняння біологічних, фізико-хімічних, ландшафтних та просторових показників. Обґрунтування системи індикаторів для конкретної екосистеми.

Результат: матриця «мета моніторингу – показник – індикатор – метод отримання – просторова/часова характеристика – інформаційне значення».

Тема 4. Формування та підготовка екологічних даних

Опрацювання набору екологічних даних. Визначення структури таблиці, типів змінних, просторових і часових атрибутів. Виявлення пропущених та потенційно помилкових значень.

Результат: структурований набір даних із коротким описом його параметрів.

Тема 5. Контроль якості моніторингових даних

Визначення можливих джерел похибок. Перевірка повноти, узгодженості та внутрішньої логіки даних. Виявлення аномальних значень та оцінювання їх впливу на результати аналізу.

Результат: протокол контролю якості даних із зазначенням виявлених проблем та способів їх опрацювання.

Тема 6. Інтеграція різномірних джерел екологічної інформації

Поєднання польових, лабораторних, статистичних, картографічних та дистанційних даних. Аналіз проблем узгодження просторових і часових масштабів.

Результат: схема інтеграції джерел даних та опис структури інтегрованого набору.

Тема 7. Просторовий аналіз екологічних даних

Дослідження просторового розподілу екологічного показника. Визначення просторової неоднорідності, зон концентрації та закономірностей розподілу.

Результат: тематична карта та аналітичний коментар до неї.

Тема 8. Використання даних дистанційного зондування Землі

Аналіз можливостей супутникових та інших даних ДЗЗ для моніторингу стану екосистем. Вибір відповідних типів даних та показників для конкретного об'єкта.

Результат: обґрунтування застосування ДЗЗ та приклад просторового аналізу.

Тема 9. Аналіз часової динаміки екологічних показників

Опрацювання часового ряду. Виявлення трендів, сезонності, циклічності та аномальних періодів. Оцінювання характеру довготривалих змін.

Результат: графік часового ряду, результати аналізу та наукова інтерпретація.

Тема 10. Просторово-часовий аналіз трансформації екосистем

Поєднання просторової та часової інформації для оцінювання змін площі, структури або стану екосистем. Виявлення зон деградації, стабільності або відновлення.

Результат: серія тематичних карт або просторово-часова схема та аналітичний висновок.

Питання для підсумкового контролю

Навчальна дисципліна

«Екологічний моніторинг та просторово-часовий аналіз екосистем»

Теоретико-методологічний блок

1. Поняття, мета, завдання та основні принципи екологічного моніторингу.
2. Екологічний моніторинг у системі сучасних екологічних досліджень.
3. Об'єкти, рівні та види екологічного моніторингу.
4. Основні етапи організації моніторингового дослідження.
5. Принципи формування програми екологічного моніторингу.
6. Просторовий та часовий дизайн моніторингових досліджень.
7. Репрезентативність вибірки в екологічному моніторингу.
8. Критерії вибору показників та індикаторів стану екосистем.
9. Біологічні, фізико-хімічні, ландшафтні та просторові індикатори екологічного стану.
10. Взаємозв'язок моніторингу, оцінювання стану довкілля, прогнозування та екологічного управління.

Отримання та якість екологічних даних

11. Основні методи отримання первинних екологічних даних.
12. Польові, лабораторні, інструментальні та дистанційні методи спостережень.
13. Первинні та вторинні екологічні дані: особливості використання в моніторингових дослідженнях.
14. Принципи структурування та документування екологічних даних.
15. Стандартизація та гармонізація даних у моніторингових дослідженнях.
16. Основні джерела похибок екологічних вимірювань.
17. Випадкові та систематичні похибки: відмінності та способи врахування.
18. Валідація, верифікація та контроль якості екологічних даних.
19. Виявлення пропущених, аномальних та помилкових значень у моніторингових наборах даних.
20. Принципи забезпечення відтворюваності екологічного дослідження та управління науковими даними.

Просторовий аналіз та геоінформаційні технології

21. Просторові дані в екологічних дослідженнях: структура та основні типи.
22. Векторна та растрова моделі просторових даних.
23. Географічні інформаційні системи в екологічному моніторингу.
24. Геоприв'язка та просторове позиціонування результатів моніторингових спостережень.
25. Просторові бази даних та їх використання для екологічного моніторингу.
26. Методи аналізу просторового розподілу екологічних показників.
27. Просторова неоднорідність та просторова автокореляція екологічних даних.
28. Інтерполяція та геостатистичні методи в екологічних дослідженнях.
29. Просторовий аналіз зон концентрації та екологічних аномалій.
30. Основні принципи картографічного представлення результатів екологічного моніторингу.

Дистанційне зондування Землі

31. Принципи використання даних дистанційного зондування Землі для екологічного моніторингу.
32. Основні типи супутникових та аерокосмічних даних, що використовуються в екологічних дослідженнях.
33. Моніторинг рослинності, земного покриву та оселищ за даними ДЗЗ.
34. Використання спектральних індексів для оцінювання стану екосистем.
35. Виявлення просторових змін екосистем за багаточасовими даними ДЗЗ.
36. Поєднання наземних спостережень та даних дистанційного зондування.
37. Переваги та обмеження дистанційного зондування в екологічному моніторингу.

Часовий та просторово-часовий аналіз

38. Часові ряди в екологічних дослідженнях: структура та основні характеристики.
39. Тренд, сезонність, циклічність та випадкові коливання в екологічних часових рядах.
40. Методи виявлення та оцінювання трендів екологічних показників.
41. Виявлення точок зміни та переломних моментів у часових рядах.
42. Просторово-часова неоднорідність екосистем та методи її дослідження.
43. Методи аналізу просторово-часової трансформації екосистем.
44. Виявлення зон деградації, стабільності та відновлення екосистем за просторово-часовими даними.

Статистичний аналіз, моделювання та прогнозування

45. Особливості статистичного аналізу екологічних даних.
46. Критерії вибору статистичного методу відповідно до структури даних і дослідницького питання.
47. Кореляційний та регресійний аналіз в екологічному моніторингу.
48. Моделювання просторових і часових закономірностей екологічних процесів.
49. Прогнозування змін стану екосистем на основі моніторингових даних.
50. Невизначеність результатів екологічного моніторингу: джерела, оцінювання та способи врахування.

Практико-аналітичні екзаменаційні завдання

Для перевірки здатності застосовувати набуті знання доцільно включати до екзаменаційних білетів завдання такого типу:

1. Сформулювати програму екологічного моніторингу для визначеної екосистеми із зазначенням об'єкта, показників, просторового охоплення та періодичності спостережень.
2. Обґрунтувати систему індикаторів для оцінювання стану конкретної екосистеми.
3. Визначити потенційні джерела похибок у наведеному моніторинговому дослідженні та запропонувати процедури контролю якості.
4. Вибрати метод просторового аналізу для заданого набору екологічних даних та обґрунтувати його застосування.
5. Визначити оптимальний тип просторового представлення заданого набору екологічних даних.
6. Запропонувати схему використання даних ДЗЗ для моніторингу визначеної екосистеми.
7. За наведеним часовим рядом визначити наявність тренду, сезонності або аномальних періодів та обґрунтувати спосіб їх аналізу.
8. Запропонувати підхід до просторово-часового аналізу трансформації визначеної території.
9. Обґрунтувати вибір статистичного методу для аналізу залежності екологічного показника від факторів середовища.
10. Визначити джерела невизначеності запропонованого прогнозу та способи їх врахування.
11. Інтерпретувати карту просторового розподілу екологічного показника та сформулювати науково обґрунтовані висновки.

12. Проаналізувати результати моніторингу та визначити, які висновки можуть бути зроблені на їх основі, а які потребують додаткових досліджень.
13. Сформулювати просторово-часовий дизайн моніторингу для наукової проблеми, пов'язаної з дисертаційним дослідженням.
14. Обґрунтувати поєднання польових, геоінформаційних та дистанційних методів для вирішення конкретного дослідницького завдання.
15. Запропонувати структуру набору даних для довготривалого екологічного моніторингу та визначити основні метадані.

Рекомендована структура екзаменаційного білета

Екзаменаційний білет доцільно формувати з **трьох завдань**:

- 1. Теоретичне питання** – перевірка системного розуміння методології екологічного моніторингу.
- 2. Теоретико-аналітичне питання** – застосування методів просторового, часового, статистичного або геоінформаційного аналізу.
- 3. Практичне дослідницьке завдання** – розв'язання конкретної моніторингової ситуації з обґрунтуванням дизайну дослідження, вибору даних, методів аналізу та способів інтерпретації результатів.

Такий формат забезпечує перевірку не лише відтворення теоретичного матеріалу, а й здатності здобувача **самостійно проєктувати моніторингове дослідження, обирати адекватні методи просторово-часового аналізу, критично оцінювати якість даних та формулювати наукові висновки**

Політики дисципліни

«Екологічний моніторинг та просторово-часовий аналіз екосистем»

Політика академічної доброчесності. Здобувачі зобов'язані дотримуватися принципів академічної доброчесності під час виконання практичних, самостійних та індивідуальних дослідницьких завдань. Не допускаються фабрикація або фальсифікація екологічних даних, результатів статистичного аналізу, картографічних матеріалів, результатів дистанційного зондування, моделей та прогнозів, а також використання чужих результатів без належного посилання на джерело. Під час підготовки аналітичних матеріалів здобувач повинен чітко розмежовувати власні результати, результати інших дослідників та інформацію, отриману з відкритих баз даних.

Політика достовірності та якості даних. Екологічні дані, використані у виконанні завдань, мають бути достовірними, документованими та придатними для відповідного виду аналізу. Здобувач повинен зазначати походження даних, період і просторовий масштаб їх отримання, за можливості – методику збору та первинного опрацювання. У разі виявлення пропущених, аномальних або потенційно помилкових значень необхідно обґрунтувати спосіб їх опрацювання. Не допускається довільне видалення даних з метою отримання бажаного результату.

Політика відтворюваності досліджень. Розрахунки, статистичні процедури, просторові операції та модельні підходи мають бути достатньо документованими для можливості перевірки та відтворення отриманих результатів. За можливості здобувачі мають зберігати вихідні та оброблені набори даних, опис послідовності аналітичних процедур, параметри моделей та інші матеріали, необхідні для відтворення дослідження.

Політика використання цифрових інструментів. Під час виконання завдань можуть використовуватися геоінформаційні системи, засоби статистичного аналізу, бази екологічних даних, цифрові картографічні ресурси, платформи дистанційного зондування та інші спеціалізовані цифрові інструменти. Використання програмного забезпечення не замінює наукового обґрунтування вибору методу та критичного аналізу отриманих результатів. Здобувач відповідає за коректність вихідних даних, параметрів аналізу та інтерпретації результатів незалежно від використаного програмного засобу.

Політика використання штучного інтелекту. Інструменти штучного інтелекту можуть використовуватися як допоміжні засоби для пошуку ідей, структурування матеріалу, мовного редагування, підготовки робочих запитів, програмного коду або попереднього опрацювання інформації. Не допускається використання ШІ для створення неіснуючих наукових джерел, даних, результатів спостережень, статистичних показників, посилань або висновків, які подаються як результати власного дослідження. Усі результати, отримані за допомогою ШІ, мають бути перевірені здобувачем. У разі істотного використання таких інструментів це має бути зазначено відповідно до вимог академічної доброчесності та правил закладу освіти.

Політика роботи з науковими джерелами. Під час виконання завдань використовуються наукові публікації, монографії, офіційні звіти, стандарти, відкриті набори даних та інші надійні інформаційні ресурси. Здобувачі повинні критично оцінювати актуальність, наукову якість та відповідність джерела поставленому дослідницькому питанню. Усі запозичені положення, методи, дані та результати мають супроводжуватися відповідними бібліографічними посиланнями.

Політика виконання практичних і самостійних робіт. Практичні та самостійні завдання виконуються у встановлені строки. Робота повинна містити не лише отриманий результат, а й достатнє методичне обґрунтування використаних підходів. У разі виявлення методичної або статистичної помилки здобувач має право повторно опрацювати завдання відповідно до встановленого викладачем порядку.

Політика наукової дискусії. Під час обговорення результатів досліджень заохочуються аргументовані наукові позиції, критичний аналіз методів та конструктивне обговорення альтернативних підходів. Критика має стосуватися наукових положень, методів і результатів, а не особистості учасника обговорення.

Політика індивідуальної дослідницької траєкторії. Здобувачі можуть адаптувати окремі самостійні та індивідуальні завдання до тематики власного дисертаційного дослідження за умови збереження визначених результатів навчання. Вибір об'єкта, показників, джерел даних та методів аналізу має бути обґрунтований відповідно до наукової проблеми.

Політика використання відкритих даних. Під час роботи з відкритими екологічними та геопросторовими даними необхідно дотримуватися умов їх використання, ліцензійних вимог та правил цитування. Походження набору даних, дата його отримання, просторове та часове охоплення, а також істотні обмеження мають бути зазначені в роботі, якщо ці характеристики впливають на інтерпретацію результатів.

Політика оцінювання. Оцінювання здійснюється за визначеними критеріями та ґрунтується на якості виконання завдання, правильності застосування методів, обґрунтованості висновків, якості роботи з даними та дотриманні академічної доброчесності. Оцінюється не лише кінцевий результат, а й логіка дослідницького процесу та здатність здобувача обґрунтувати прийняті методичні рішення.

Політика пропусків та відпрацювання. Пропущені практичні заняття відпрацьовуються відповідно до встановленого закладом освіти порядку. Відпрацювання передбачає виконання відповідного завдання та демонстрацію розуміння використаних методів. У разі неможливості своєчасного виконання індивідуального або самостійного завдання здобувач завчасно погоджує з викладачем можливий строк його подання.

Політика комунікації. Основною формою комунікації щодо навчальної дисципліни є визначені закладом освіти канали взаємодії. Здобувачі мають своєчасно отримувати інформацію про завдання, строки їх виконання, критерії оцінювання та зміни в організації освітнього процесу.

Політика професійної відповідальності. Під час роботи з екологічними даними здобувачі повинні усвідомлювати можливі наслідки некоректної інтерпретації результатів моніторингу.

Особлива увага приділяється розмежуванню виявленої статистичної залежності, просторово-часової закономірності та доведеної причинно-наслідкової залежності.

Наукові висновки мають відповідати якості та обсягу наявних даних і не виходити за межі обґрунтованості використаних методів.

ЛІТЕРАТУРА ДО НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Основна література

1. Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2010). The science and application of ecological monitoring. *Biological Conservation*, 143(6), 1317–1328. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.013>. Джерело комплексно розглядає принципи побудови та функціонування ефективних програм екологічного моніторингу.
2. Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2009). Adaptive monitoring: A new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(9), 482–486. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.005>. Важливе джерело для тем, пов'язаних із довготривалим та адаптивним моніторингом, дизайном досліджень і зміною моніторингових програм відповідно до нових даних.
3. Yoccoz, N. G., Nichols, J. D., & Boulinier, T. (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(8), 446–453. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02205-4](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02205-4). Розглядає дизайн моніторингу біологічного різноманіття, просторово-часові закономірності та джерела похибок.
4. Nichols, J. D., & Williams, B. K. (2006). Monitoring for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(12), 668–673. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.08.007>. Розкриває зв'язок між моніторингом, науковим дослідженням та прийняттям природоохоронних рішень.
5. Magurran, A. E., Baillie, S. R., Buckland, S. T., Dick, J. McP., Elston, D. A., Scott, E. M., Smith, R. I., Somerfield, P. J., & Watt, A. D. (2010). Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: Assessing change in ecological communities through time. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(10), 574–582. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.06.016>. Основне джерело для теми довготривалих даних та аналізу змін екологічних угруповань у часі.
6. Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical ecology* (3rd English ed.). Elsevier. Фундаментальне джерело з кількісного аналізу екологічних даних, багатовимірної статистики, просторового аналізу та ординаційних методів.
7. Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2018). *Numerical ecology with R* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71404-2>. Практичне джерело для кількісного аналізу екологічних даних із використанням R, зокрема багатовимірного, просторового та ординаційного аналізу.
8. Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>. Джерело для статистичного моделювання екологічних даних, зокрема ієрархічних, повторних та залежних спостережень.
9. Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1), 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>. Особливо важливе джерело для контролю якості даних, виявлення викидів, неоднорідності, колінеарності та інших проблем перед статистичним моделюванням.
10. O'Sullivan, D., & Unwin, D. J. (2010). *Geographic information analysis* (2nd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470549094>. Фундаментальне джерело з просторового аналізу, просторових процесів, автокореляції, інтерполяції, картографування та геовізуалізації.
11. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information science and systems* (4th ed.). Wiley. Системне джерело з географічних інформаційних систем, геопросторових даних, просторового аналізу та управління геоінформацією.

12. Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices* (3rd ed.). CRC Press. Основне джерело для оцінювання точності результатів дистанційного зондування та тематичного картографування.
13. Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H., & Turner, W. (2014). Satellite remote sensing for applied ecologists: Opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 839–848. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12261>. Розглядає можливості та обмеження супутникового дистанційного зондування для прикладних екологічних досліджень.
14. Pebesma, E. (2018). Simple features for R: Standardized support for spatial vector data. *The R Journal*, 10(1), 439–446. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>. Джерело для роботи з векторними геопросторовими даними в R та інтеграції статистичного і просторового аналізу.
15. Pebesma, E., & Bivand, R. (2023). *Spatial data science: With applications in R*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429459016> Сучасне джерело з просторової науки, просторового аналізу та роботи з геопросторовими даними в R.

Додаткова література

16. Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D. A., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., Takahashi, K., Vaughan, D., Wilke, C., Woo, K., & Yutani, H. (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>. Корисне джерело для відтворюваного опрацювання, трансформації та візуалізації екологічних даних у R.
17. Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Smith, G. M. (2007). *Analysing ecological data*. Springer.
18. Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Meesters, E. H. W. G. (2009). *A beginner's guide to R*. Springer.
19. Wood, S. N. (2017). *Generalized additive models: An introduction with R* (2nd ed.). Chapman and Hall/CRC.
20. Cressie, N., & Wikle, C. K. (2011). *Statistics for spatio-temporal data*. Wiley.
21. Kéry, M., & Royle, J. A. (2016). *Applied hierarchical modeling in ecology: Analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS* (Vol. 1). Academic Press.
22. Bolker, B. M. (2008). *Ecological models and data in R*. Princeton University Press.
23. Fortin, M.-J., & Dale, M. R. T. (2005). *Spatial analysis: A guide for ecologists*. Cambridge University Press.
24. Nagendra, H. (2001). Using remote sensing to assess biodiversity. *International Journal of Remote Sensing*, 22(12), 2377–2400. <https://doi.org/10.1080/01431160117096>.
25. Weng, Q. (Ed.). (2010). *Remote sensing and GIS integration: Theories, methods, and applications*. McGraw-Hill.

Інформаційні та цифрові ресурси

26. **R Project for Statistical Computing** – програмне середовище для статистичного аналізу та візуалізації даних.
27. **CRAN (Comprehensive R Archive Network)** – репозитарій пакетів R та документації.
28. **QGIS Documentation** – документація до відкритої геоінформаційної системи QGIS.
29. **Copernicus Data Space Ecosystem** – доступ до супутникових даних програми Copernicus, зокрема Sentinel.
30. **USGS EarthExplorer** – платформа пошуку та отримання даних дистанційного зондування Землі.
31. **GBIF (Global Biodiversity Information Facility)** – глобальна інфраструктура доступу до даних про біорізноманіття.
32. **iNaturalist** – платформа громадянської науки та джерело геопросторово прив'язаних спостережень біорізноманіття.
33. **OBIS (Ocean Biodiversity Information System)** – міжнародна система даних про морське біорізноманіття.



- 34. **Google Earth Engine** – платформа для аналізу великих масивів геопросторових та супутникових даних.
- 35. **OpenStreetMap** – відкрита база геопросторових даних.
- 36. **Scopus** – бібліографічна та наукометрична база даних для пошуку й аналізу наукових публікацій.
- 37. **Web of Science Core Collection** – бібліографічна та наукометрична база даних для пошуку наукових джерел.
- 38. **Crossref** – реєстр цифрових ідентифікаторів DOI та метаданих наукових публікацій.
- 39. **ORCID** – міжнародний реєстр ідентифікаторів дослідників.

Нормативно-методичні та міжнародні ресурси

- 40. Convention on Biological Diversity. Матеріали щодо моніторингу біорізноманіття та систем індикаторів.
- 41. IPBES. Методичні та оцінювальні матеріали щодо оцінювання стану біорізноманіття, екосистем і факторів їх змін.
- 42. European Environment Agency. Матеріали щодо екологічного моніторингу, екологічних показників, просторових даних та оцінювання стану довкілля.
- 43. Copernicus Land Monitoring Service. Дані та інформаційні продукти для моніторингу земного покриття, екосистем і змін територій.
- 44. United Nations Environment Programme. Методичні матеріали та глобальні екологічні оцінювання.

Рекомендації щодо використання літератури

Для **лекційного та теоретичного блоку** доцільно використовувати насамперед позиції 1–5.
Для **статистичного та кількісного аналізу** – позиції 6–9, 17–22.
Для **просторового аналізу та ГІС** – позиції 10, 11, 14, 15, 23.
Для **дистанційного зондування Землі** – позиції 12, 13, 24, 25.
Для **практичних робіт та індивідуального дослідницького проєкту** – поєднувати основні джерела з актуальними статтями з Web of Science та Scopus за тематикою конкретного дисертаційного дослідження.

Особливу увагу під час самостійної роботи слід приділяти **актуальним публікаціям останніх 5 років**, оскільки методи дистанційного зондування, просторового аналізу, цифрової екології, статистичного моделювання та оброблення великих екологічних даних швидко оновлюються.