



СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

Дні занять, час занять, аудиторія: будуть доступні згідно розкладу.

Лекції проводить

ПІБ	Академік НААН України, доктор. біол. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України в.о директора, Бондар Олександр Іванович
Контактна інформація	електронна пошта – tetiana.morozova@ukr.net
Аудиторія	
Час консультацій	Середа 13.10-15.00

Семінарські / практичні / лабораторні заняття проводить

ПІБ	канд. біол. наук, доцент кафедри, Морозова Тетяна Василівна	Д-
Контактна інформація	електронна пошта – tetiana.morozova@ukr.net	ел те
Аудиторія		31
Час консультацій	Середа 13.10-15.00	С

Анотація дисципліни

Навчальна дисципліна «Сучасні методи оцінки якості стану довкілля» спрямована на формування у здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня системного розуміння сучасних підходів до оцінювання стану атмосферного повітря, водних, ґрунтових, наземних і міських екосистем.

Дисципліна охоплює інструментальні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні, біоіндикаційні, дистанційні, геоінформаційні, статистичні та модельні методи оцінювання якості довкілля. Особлива увага приділяється інтегрованому оцінюванню екологічного стану, вибору системи показників, просторово-часовому аналізу, оцінюванню невизначеності та інтерпретації результатів екологічного моніторингу.

Розглядаються сучасні цифрові технології, дистанційне зондування Землі, ГІС, автоматизовані системи моніторингу, біомоніторинг, екотоксикологічні методи, аналіз великих масивів екологічних даних та можливості застосування методів машинного навчання і штучного інтелекту

Предмет вивчення

Предметом вивчення дисципліни є методи, методики та технології оцінювання якісного і кількісного стану компонентів довкілля, екосистем та соціоекологічних систем, а також підходи до інтеграції результатів різних видів екологічних спостережень для визначення просторово-часових змін і рівня екологічної безпеки.

Міждисциплінарні зв'язки

Дисципліна пов'язана з екологічним моніторингом, екологічною безпекою, екотоксикологією, аналітичною хімією, біоіндикацією, гідроекологією, ґрунтознавством, атмосферною екологією, геоінформаційними системами, дистанційним зондуванням Землі, статистикою, математичним моделюванням та управлінням природними ресурсами.

Мета дисципліни

Формування у здобувачів здатності застосовувати сучасні інструментальні, біологічні, дистанційні, геоінформаційні, статистичні та модельні методи для комплексного оцінювання якості стану довкілля, виявлення просторово-часових закономірностей його змін та наукового обґрунтування екологічних висновків і управлінських рішень.

Основні завдання дисципліни

1. Розкрити сучасні методологічні підходи до оцінювання якості стану довкілля.
2. Охарактеризувати основні критерії та показники якості довкілля.
3. Розглянути принципи формування систем екологічних показників та індикаторів.
4. Проаналізувати методи оцінювання стану атмосферного повітря.
5. Розглянути сучасні методи оцінювання якості поверхневих і підземних вод.
6. Охарактеризувати методи оцінювання стану ґрунтів та земель.
7. Розглянути біологічні методи та біоіндикаційні підходи.
8. Проаналізувати можливості біомоніторингу та екотоксикологічної оцінки.
9. Розкрити можливості дистанційного зондування Землі для екологічного оцінювання.
10. Сформувати навички застосування ГІС для просторового аналізу екологічних даних.
11. Розглянути статистичні методи аналізу екологічних показників.
12. Охарактеризувати методи багатовимірної та інтегральної оцінювання.
13. Розглянути математичне моделювання екологічних процесів.
14. Проаналізувати методи виявлення трендів, аномалій та екологічних змін.
15. Сформувати навички оцінювання невизначеності та якості екологічних даних.
16. Розглянути сучасні цифрові технології, Big Data, машинне навчання та ШІ в екологічному моніторингу.
17. Сформувати здатність критично інтерпретувати результати різних методів оцінювання.
18. Сформувати здатність інтегрувати результати оцінювання довкілля у власні наукові дослідження.

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Модуль 1. Теоретико-методологічні основи оцінювання стану довкілля

Тема 1. Якість довкілля: поняття, критерії та показники

Поняття якості довкілля та екологічного стану. Компоненти довкілля та рівні їх організації. Фоновий, природний та антропогенно трансформований стан. Критерії якості. Екологічні показники та індикатори. Порогові та референтні значення. Просторові й часові характеристики якості довкілля.

Тема 2. Методологія екологічного оцінювання

Принципи комплексного оцінювання. Об'єкти та рівні оцінювання. Вибір показників. Репрезентативність спостережень. Просторова та часова масштабність. Прямі та непрямі методи. Інструментальні, лабораторні, біологічні та дистанційні методи. Валідація результатів.

Тема 3. Система показників та індикаторів якості довкілля

Індикатори стану, навантаження та реакції. Екологічні індекси. Інтегральні показники. Переваги та обмеження агрегування даних. Системи індикаторів сталого розвитку та екологічної безпеки. Вибір індикаторів для конкретної екосистеми або території.

Модуль 2. Методи оцінювання окремих компонентів довкілля

Тема 4. Сучасні методи оцінювання якості атмосферного повітря

Основні забруднювачі атмосферного повітря. Інструментальні та автоматизовані методи вимірювання. Газова та аерозольна складові. Дистанційне спостереження за якістю повітря. Метеорологічні фактори. Просторове моделювання концентрацій. Індекси якості атмосферного повітря.

Тема 5. Методи оцінювання якості водних екосистем

Фізичні, хімічні та біологічні показники якості води. Оксигенний режим, мінералізація, біогенні елементи та органічне забруднення. Методи визначення поллютантів. Гідробіологічні показники. Біологічна оцінка стану водних екосистем. Інтегроване оцінювання екологічного стану водних об'єктів.

Тема 6. Методи оцінювання стану ґрунтів та земель

Фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунтів. Оцінювання забруднення важкими металами, органічними речовинами та іншими поллютантами. Ґрунтова біота як індикатор стану. Деградація та ерозія ґрунтів. Просторове картографування. Оцінювання якості земель.

Тема 7. Методи оцінювання стану біорізноманіття та екосистем

Видове та функціональне різноманіття. Популяційні показники. Структура угруповань. Індекси Шеннона, Сімпсона та інші показники різноманіття. Оцінювання стану оселищ. Екосистемні індикатори. Біомоніторинг та оцінювання екосистемних змін.

Модуль 3. Біологічні та інструментальні методи

Тема 8. Біоіндикація та біомоніторинг

Принципи біоіндикації. Індикаторні організми. Морфологічні, фізіологічні, біохімічні та поведінкові біомаркери. Лишайники, рослини, безхребетні, риби та інші біоіндикатори. Переваги та обмеження біологічних методів. Інтеграція біологічних та хімічних показників.

Тема 9. Екотоксикологічні методи оцінювання якості довкілля

Біотестування. Гостра та хронічна токсичність. Дозо-ефектні залежності. Оцінювання біодоступності поллютантів. Біоаккумуляція та біомагніфікація. Біомаркери токсичного впливу. Adverse Outcome Pathways. Застосування екотоксикологічних даних для оцінювання екологічного ризику.

Тема 10. Сучасні аналітичні та сенсорні технології

Спектрофотометричні, хроматографічні та мас-спектрометричні методи. Електрохімічні методи. Біосенсори та хімічні сенсори. Автоматизовані станції спостереження. Портативні прилади. Пасивний відбір проб. Порівняння лабораторних та польових методів.

Модуль 4. Геопросторові та цифрові методи

Тема 11. Дистанційне зондування Землі в оцінюванні стану довкілля

Основи дистанційного зондування. Оптичні, мультиспектральні, гіперспектральні, теплові та радарні дані. Супутникові та безпілотні системи. Спектральні індекси. Оцінювання рослинності, водних об'єктів, ґрунтів та землекористування. Динамічний моніторинг екосистем.

Тема 12. Геоінформаційні системи та просторовий аналіз

Просторові бази екологічних даних. Геокодування та геостатистика. Інтерполяція. Просторовий аналіз екологічних показників. Картографування забруднення. Аналіз просторових закономірностей. ГІС як інструмент інтеграції різноманітних екологічних даних.

Тема 13. Автоматизований та цифровий екологічний моніторинг

ІоТ-сенсори та мережі спостережень. Автоматизований збір даних. Інтернет речей в екологічному моніторингу. Цифрові платформи. Геопросторові бази даних. Поточкові дані. Цифрові двійники екосистем. Інтеграція польових, лабораторних та дистанційних даних.

Модуль 5. Статистичне, модельне та інтегроване оцінювання

Тема 14. Статистичні методи аналізу екологічних даних

Описова статистика. Перевірка статистичних гіпотез. Кореляційний та регресійний аналіз. Аналіз часових рядів. Виявлення трендів. Кластерний аналіз. Метод головних компонент. Багатовимірні методи. Виявлення аномалій.

Тема 15. Математичне та екологічне моделювання

Концептуальні та математичні моделі. Моделювання поширення забруднювачів. Моделі динаміки популяцій та екосистем. Просторово-розподілені моделі. Сценарне моделювання. Калібрування та валідація моделей. Аналіз чутливості.

Тема 16. Інтегральне оцінювання якості стану довкілля

Методи нормування показників. Агрегування екологічних індикаторів. Інтегральні індекси. Багатокритеріальне оцінювання. Зважування показників. Порівняння територій. Переваги та обмеження інтегральних оцінок.

Тема 17. Оцінювання невизначеності та якості екологічних даних

Джерела невизначеності. Похибки вимірювання. Просторова та часова варіабельність. Репрезентативність вибірки. Межі виявлення. Пропущені дані. Аналіз чутливості. Валідація та контроль якості даних. Достовірність екологічних висновків.

Тема 18. Сучасні технології Big Data, машинного навчання та ШІ

Великі масиви екологічних даних. Автоматизоване розпізнавання об'єктів. Класифікація супутникових зображень. Прогнозування екологічних процесів. Машинне навчання. Глибоке навчання. Виявлення аномалій. Інтерпретованість моделей. Ризики та обмеження застосування ШІ.

Тема 19. Комплексне оцінювання стану соціоекологічних систем

Інтеграція даних моніторингу, дистанційного зондування, ГІС, біологічних досліджень та статистичного аналізу. Оцінювання взаємодії природних і антропогенних факторів. Системний підхід. Виявлення критичних зон. Екологічне зонування. Підтримка прийняття рішень.

Тема 20. Сучасні системи екологічного оцінювання та перспективи їх розвитку

Перехід від фрагментарного моніторингу до інтегрованого оцінювання. Автоматизація спостережень. Відкриті екологічні дані. FAIR-принципи. Інтероперабельність даних. Цифрові екологічні платформи. Інтеграція наземних і супутникових спостережень. Перспективи розвитку систем оцінювання стану довкілля в Україні.

Практична спрямованість дисципліни

Практичні заняття передбачають:

1. визначення системи показників для оцінювання стану конкретного компонента довкілля;
2. аналіз та первинну статистичну обробку екологічних даних;
3. оцінювання якості атмосферного повітря за системою показників;
4. комплексне оцінювання якості води;
5. оцінювання рівня забруднення ґрунтів;
6. застосування біоіндикаційних методів;
7. розрахунок індексів біологічного різноманіття;
8. інтерпретацію екотоксикологічних показників;
9. аналіз супутникових даних для оцінювання стану екосистем;
10. побудову тематичної екологічної карти в ГІС;
11. аналіз просторового розподілу екологічних показників;
12. виявлення трендів у часових рядах;
13. застосування багатовимірного статистичного аналізу;
14. порівняння результатів польових і дистанційних спостережень;
15. оцінювання невизначеності екологічних даних;
16. побудову інтегрального індексу стану довкілля;
17. аналіз результатів модельного прогнозування;

18. підготовку комплексної екологічної оцінки території.

Індивідуальне науково-дослідне завдання

«Комплексне оцінювання якості стану довкілля досліджуваної території».

Індивідуальне завдання передбачає:

- характеристику досліджуваної території;
- визначення об'єкта та мети оцінювання;
- формування системи екологічних показників;
- обґрунтування методів отримання та аналізу даних;
- аналіз первинних екологічних даних;
- оцінювання просторово-часової мінливості;
- застосування статистичних методів;
- використання ГІС або дистанційного зондування Землі;
- оцінювання основних антропогенних факторів;
- визначення рівня екологічного навантаження;
- інтегрування результатів різних методів;
- оцінювання невизначеності;
- формулювання науково обґрунтованих висновків і рекомендацій.

Методи навчання

- проблемно-орієнтоване навчання;
- наукова дискусія;
- аналіз наукових публікацій;
- case study;
- робота з наборами екологічних даних;
- статистичний аналіз;
- математичне моделювання;
- ГІС-аналіз;
- дистанційне зондування Землі;
- інтерпретація результатів лабораторних та польових досліджень;
- проєктне та дослідницьке навчання;
- презентація результатів власного аналізу;
- самостійна науково-дослідна робота.

Методи контролю

Поточний контроль здійснюється шляхом:

- усного опитування;
- тестування;
- виконання практичних завдань;
- розрахункових робіт;
- аналізу та інтерпретації екологічних даних;
- виконання статистичних і ГІС-завдань;
- аналізу наукових публікацій;
- розв'язання проблемних ситуацій;
- презентації результатів індивідуального дослідження;
- наукової дискусії.

Підсумковий контроль — **диференційований залік / залік** відповідно до освітньо-наукової програми.

Під час оцінювання враховуються правильність вибору методики, коректність оброблення даних, обґрунтованість статистичних процедур, якість просторового аналізу, правильність інтерпретації результатів, урахування невизначеності та рівень наукової аргументації.

Політики навчальної дисципліни

1. **Академічна доброчесність.** Результати власного аналізу мають бути чітко відокремлені від даних і висновків інших дослідників.
2. **Достовірність даних.** Для оцінювання використовуються перевірені та документовані екологічні дані.
3. **Відтворюваність.** Методика збору, оброблення та аналізу даних має бути описана так, щоб результати можна було перевірити.
4. **Коректність статистичного аналізу.** Статистичні методи обираються відповідно до типу, структури та властивостей даних.
5. **Урахування невизначеності.** Екологічні висновки мають враховувати похибки вимірювань, природну варіабельність і обмеження вибірки.
6. **Комплексність оцінювання.** Інтерпретація стану довкілля не повинна ґрунтуватися на одному показнику без належного обґрунтування.
7. **Критичне оцінювання методів.** Здобувач має враховувати переваги, обмеження та сферу застосування кожного методу.
8. **Відповідальне використання цифрових технологій та ШІ.** Використання цифрових інструментів допускається за умов перевірки результатів, прозорого опису застосованих процедур та дотримання академічної доброчесності.
9. **Коректна інтерпретація модельних результатів.** Прогнозні та модельні значення не ототожнюються з безпосередньо вимірними показниками.
10. **Наукова комунікація.** Представлення результатів має передбачати чітке розмежування встановлених фактів, розрахункових оцінок, припущень і наукових інтерпретацій.
11. **Прозорість оцінювання.** Оцінювання здійснюється за визначеними критеріями та враховує якість методичного і наукового обґрунтування.
12. **Професійна відповідальність.** Здобувач відповідає за правильність використаних методів, достовірність представлених даних та обґрунтованість висновків.

Рекомендована література

Основна

1. Chapman, D. (Ed.). (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
2. Manahan, S. E. (2017). *Environmental chemistry* (10th ed.). CRC Press.
3. Newman, M. C. (2020). *Fundamentals of ecotoxicology: The science of pollution* (5th ed.). CRC Press.
4. Spellerberg, I. F. (2005). *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press.
5. U.S. Environmental Protection Agency. (2006). *Guidance on systematic planning using the data quality objectives process*. EPA QA/G-4.
6. U.S. Environmental Protection Agency. (1998). *Guidelines for ecological risk assessment*. U.S. EPA.
7. OECD. (2025). *OECD guidelines for the testing of chemicals*. OECD Publishing.
8. Kabacoff, R. I. (2022). *R in action: Data analysis and graphics with R* (3rd ed.). Manning.
9. Wickham, H., Mine Çetinkaya-Rundel, M., & Golemund, G. (2023). *R for data science: Import, tidy, transform, visualize, and model data* (2nd ed.). O'Reilly Media.
10. Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>

Додаткова

11. Chuvieco, E. (2020). *Fundamentals of satellite remote sensing: An environmental approach* (3rd ed.). Springer.
12. Jensen, J. R. (2015). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* (4th ed.). Pearson.
13. Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical ecology* (3rd English ed.). Elsevier.
14. Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2018). *Numerical ecology with R* (2nd ed.). Springer.
15. Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26(1), 32–46. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>
16. Villeneuve, D. L., Crump, D., Garcia-Reyero, N., Hecker, M., Hutchinson, T. H., LaLone, C. A., & Giesy, J. P. (2014). Adverse outcome pathway development II: Best practices. *Toxicological Sciences*, 142(2), 321–330. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfu199>
17. Richardson, A. J., & Poloczanska, E. S. (2008). Under-resourced, under threat. *Science*, 320(5881), 1294–1295. <https://doi.org/10.1126/science.1156125>
18. 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>

Інформаційні ресурси

- Web of Science;
- Scopus;
- PubMed;
- ScienceDirect;
- Springer Nature;
- Copernicus Data Space Ecosystem;
- European Environment Agency;
- U.S. Environmental Protection Agency;
- OECD;
- UNESCO;
- UN Environment Programme;
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF);
- офіційні державні інформаційні ресурси у сфері моніторингу та охорони довкілля.