

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

*Н.М. Притула*

**ФІТО- ТА ЗООІНДИКАЦІЯ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Методичні рекомендації до самостійної роботи  
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра  
спеціальності 091 «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія»  
денної та заочної форм здобуття освіти

Затверджено  
вченою радою ЗНУ  
Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_

Запоріжжя  
2023

УДК 57.087.1(075.8)  
П 772

Притула Н. М. Фіто- та зооіндикація стану навколишнього середовища : методичні рекомендації до самостійної роботи для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 091 «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія» денної та заочної форм здобуття освіти. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 78 с.

У виданні подано зміст самостійної роботи: теми та методичні рекомендації щодо їх опрацювання, питання та тести для самоконтролю, практичні завдання, тематика есе та курсових робіт, перелік основної та додаткової літератури. Тлумачення базових термінів і понять курсу, які необхідно засвоїти, подано у глосарії.

Для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія», які навчаються за освітньо-професійною програмою «Біологія».

Рецензент

*Н.В. Воронова*, кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної та прикладної екології та зоології

Відповідальний за випуск

*О.Ф. Рильський*, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної та прикладної екології та зоології

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>МЕТОДИЧНІ ПОРАДИ ДО САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМНОГО МАТЕРІАЛУ</b> .....	6
<b>ЗМІСТ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ</b> .....	9
<b>Змістовий модуль 1. Теоретичні основи фіто- та зооіндикації стану навколишнього середовища</b> .....	9
Тема 1. Базові поняття, закономірності та закони фіто- та зооіндикації стану навколишнього середовища. Історія використання фіто-та зооіндикаторів при діагностиці екологічного стану.....	9
Тема 2. Об'єкти фіто- зооіндикації .....	16
Тема 3. Поняття про забруднення, оцінка забруднення навколишнього середовища .....	22
<b>Змістовий модуль 2. Фіто- та зооіндикація на різних рівнях організації живого</b> .....	27
Тема 4. Фіто- зооіндикація на різних рівнях організації живого: молекулярний та клітинний рівень.....	27
Тема 5. Фіто- зооіндикація на різних рівнях організації живого: тканинний та організмовий рівень .....	30
Тема 6. Фіто- зооіндикація на вищих ієрархічних рівнях: популяція, екосистема, біоценоз .....	34
<b>Змістовий модуль 3. Методи індикації природних екосистем</b> .....	37
Тема 7. Дендроіндикація.....	37
Тема 8. Ліхеноіндикація та бріоіндикація .....	42
<b>Змістовий модуль 4. Фіто- та зооіндикація забруднення атмосферного повітря, водного середовища та ґрунтового покриву</b> .....	46
Тема 9. Фіто- зооіндикація забруднення атмосферного повітря .....	46
Тема 10. Фіто- зооіндикація стану ґрунтового покриву .....	50
Тема 11. Фіто- зооіндикація водного середовища .....	55
<b>ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ</b> .....	59
<b>МЕТОДИЧНІ ПОРАДИ ДО НАПИСАННЯ ЕСЕ</b> .....	67
<b>ОРІЄНТОВНА ТЕМАТИКА ЕСЕ</b> .....	69
<b>ОРІЄНТОВНА ТЕМАТИКА КУРСОВИХ РОБІТ</b> .....	70
<b>ГЛОСАРІЙ</b> .....	71
<b>ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА</b> .....	76
<b>РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА</b> .....	77

## ВСТУП

Методичні рекомендації з дисципліни «Фіто- та зооіндикація стану навколишнього середовища» розроблено для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 091 «Біологія», які навчаються за освітньо-професійною програмою «Біологія», з метою допомоги в організації самостійного вивчення теоретичних основ, закріплення знань з дисципліни та формування навичок оцінки екологічного стану складових довкілля. Фіто- та зооіндикація – вагомий інструмент для оцінки комплексного ефекту внаслідок забруднення довкілля шляхом спостережень за реакцією сукупності видів рослин та тварин, що мешкають на певній території.

Фіто- та зооіндикація – це оцінка якості середовища та його окремих характеристик за станом біоти у природних умовах. Для обліку змін середовища під впливом антропогенного чинника використовують окремі індикаторні організми, або групи особин одного виду, чи угруповання по наявності, стану та поведінці яких роблять висновки щодо змін у навколишньому середовищі.

Біологічні методи дослідження довкілля, які застосовуються у фіто- та зооіндикації дозволяють отримувати дані щодо безпосередньої реакції організмів, популяцій або екосистем на природні або антропогенні зміни, адже біота реагує навіть на незначні зміни умов існування. Організми, або групи організмів, життєві функції яких мають тісну кореляцію з визначеними факторами навколишнього середовища та використовуються для його оцінки, називаються біоіндикаторними. Розділ зооіндикації використовує як індикаторні організми – тварин, а фітоіндикація – рослини.

За допомогою фіто- та зооіндикаторів можна виявляти місця накопичення в екологічних системах забруднень різного походження, а також швидкість накопичення і ступінь шкодочинності забруднюючих речовин.

**Метою** вивчення навчальної дисципліни «Фіто- та зооіндикація стану навколишнього середовища» є засвоєння теоретико-методологічних основ біологічної оцінки довкілля та набуття вмінь і навичок із розв'язання проблем охорони природних біоценозів і здоров'я людини.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Фіто- та зооіндикація стану навколишнього середовища» є: набуття здобувачами освіти, по-перше, уявлення про екологічний фактор як основний чинник впливу навколишнього середовища на живі істоти, що вимагає певних адаптаційних пристосувань; по-друге, засвоєння знань про фіто- та зооіндикацію як складову загальної системи біоіндикації та біомоніторингу, яка за допомогою біохімічного, фізіологічного та морфолого-анатомічного стану рослин і тварин дозволяє оцінювати стан довкілля та прогнозувати ступінь припустимих антропогенних навантажень. Також вироблення навичок спостереження за змінами рослинних і тваринних індикаторних організмів у відповідь на зміни навколишнього середовища та набуття вмінь добору біоіндикаторів відповідно до наявного екологічного стану середовища.

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Фіто- та зооіндикація стану навколишнього середовища» здобувач освіти повинен

*знати:*

- закономірності впливу екологічних факторів на живі організми;
- особливості фіто- зооіндикації на різних рівнях організації живого;
- особливості проведення фіто- зооіндикації водного, повітряного та наземного середовища;
- критерії вибору живих об'єктів як індикаторів;
- сучасні методики фіто- зооіндикації;
- математичні методи обробки фіто-зооіндикаційних досліджень.

*уміти:*

- досліджувати вплив екологічних та антропогенних стресових факторів на тест-об'єкти в екологічних дослідженнях;
- розраховувати основні біологічні індекси і коефіцієнти;
- досліджувати екологічний стан навколишнього середовища за допомогою тест-об'єктів;
- проводити фіто- зооіндикацію стану повітряного середовища, ґрунтів, водного середовища;
- оцінювати фактичний і прогнозований стан довкілля використовуючи інформаційно-пошукові системи.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач освіти повинен набути таких результатів навчання (знання, уміння тощо) та компетентностей: здатність використовувати знання у практичних ситуаціях; здатність здійснювати збір, реєстрацію і аналіз даних за допомогою відповідних методів і технологічних засобів у польових і лабораторних умовах; здатність аналізувати результати взаємодії біологічних систем різних рівнів організації, їхньої ролі у біосфері та можливості використання у різних галузях господарства, біотехнологіях, медицині та охороні навколишнього середовища; здатність досліджувати стан екосистем та взаємовідносини у біогеоценозах; здатність демонструвати знання про механізми виникненням адаптацій біологічних об'єктів до різних умов існування; усвідомлення необхідності збереження біорізноманіття, охорони навколишнього середовища, раціонального природокористування; уміти прогнозувати ефективність та наслідки реалізації природоохоронних заходів; уміти складати алгоритм біоекологічних досліджень в польових умовах та проводити камеральну обробку даних; прогнозувати майбутній стан екосистем; оцінювати вплив біотичних та абіотичних чинників на організми, застосовувати методи для оптимізації стану екосистем; аналізувати інформацію про різноманіття живих організмів.

Самостійна робота здобувачів освіти забезпечується ресурсами СЕЗН ЗНУ (теоретичні матеріали, тести, практичні завдання та ін.).

Самостійна робота студентів регламентується Положенням про організацію освітнього процесу в Запорізькому національному університеті, Положенням про організацію освітнього процесу з використанням технологій дистанційного навчання в ЗНУ.

## 📖 МЕТОДИЧНІ ПОРАДИ ДО САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ ПРОГРАМНОГО МАТЕРІАЛУ

Вирішення завдань сучасної освіти є неможливим без підвищення ролі самостійної роботи здобувачів освіти над навчальним матеріалом, стимулювання професійного зростання студентів, виховання в них творчої активності та ініціативи.

Методологічну основу самостійної роботи здобувачів освіти складає діяльнісний підхід, що полягає в орієнтуванні мети на формування вмінь майбутніх фахівців розв'язувати типові і нетипові завдання, тобто на реальні ситуації, під час вирішення яких студенти виявляють ґрунтовні знання конкретної дисципліни.

Як відомо, педагогічна література подає декілька визначень самостійної роботи. Ми ж будемо дотримуватися такого: самостійна робота – це планована робота здобувачів освіти щодо виконання завдань під методичним керівництвом викладача, але без його безпосередньої участі (далі СРС).

Самостійна робота здобувача освіти є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від аудиторних занять час.

Самостійна робота включає: опрацювання навчального матеріалу, виконання індивідуальних завдань, науково-дослідну роботу. Зміст самостійної роботи здобувача освіти з дисципліни «Фіто- та зооіндикація стану навколишнього середовища» визначається робочою програмою навчальної дисципліни, методичними матеріалами, завданнями та вказівками викладача.

Самостійна робота студента забезпечується системою навчально-методичних засобів, передбачених програмою навчальної дисципліни: підручниками, навчальними та методичними посібниками, конспектами лекцій, збірниками завдань, методичними рекомендаціями з організації СРС.

Навчальний матеріал дисципліни, передбачений для засвоєння здобувачем освіти у процесі самостійної роботи, вноситься на підсумковий контроль разом з навчальним матеріалом, що вивчався при проведенні аудиторних навчальних занять.

Під час вивчення навчальної дисципліни виокремлюють такі види самостійного учіння здобувача освіти:

- ✓ слухання лекцій, участь у семінарських заняттях, виконання практичних і лабораторних робіт;
- ✓ відпрацювання тем лекцій та семінарських занять, виконання практичних і лабораторних робіт студентами заочної форми навчання;
- ✓ підготовка есе, доповідей, презентацій і курсових робіт, написання кваліфікаційної роботи;
- ✓ підготовка до модульного контролю та екзаменів;
- ✓ робота з літературою та ін.

Кожен із зазначених видів потребує від студентів наполегливої самостійної праці.

Індивідуальні завдання з дисципліни (розрахункові, графічні, розрахунково-графічні роботи, що виконуються під час СРС, курсові, кваліфікаційні роботи та ін. сприяють більш поглибленому вивченню здобувачем освіти теоретичного матеріалу, формуванню вмінь використання знань на практиці. Наявність позитивних оцінок, отриманих студентом за індивідуальні завдання, є необхідною умовою допуску до семестрового контролю з даної дисципліни.

Курсова робота з навчальної дисципліни «Фіто- та зооіндикація стану навколишнього середовища» – це індивідуальне завдання, яке передбачає творче або репродуктивне розв'язання конкретної задачі щодо охорони навколишнього середовища, раціонального природокористування, оцінки впливу біотичних та абіотичних чинників на організми, запропонування для застосування методів для оптимізації стану екосистем. Курсова робота виконується студентом самостійно під керівництвом викладача згідно із завданням, на основі набутих з даної та суміжних дисциплін знань та умінь. Курсова робота сприяє розширенню і поглибленню теоретичних знань, розвитку навичок їх практичного використання, самостійного розв'язання конкретних завдань природоохоронного значення.

Тематика та вимоги до написання курсових робіт відповідають завданням навчальної дисципліни «Фіто- та зооіндикація стану навколишнього середовища», та наведені на сторінці дисципліни в СЕЗН ЗНУ (<https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11624>. Секція: «Завдання для підсумкового контролю») та у «Методичних рекомендаціях до написання та оформлення курсових та кваліфікаційних робіт».

Здобувачам освіти надається право вибору теми курсової роботи або запропонувати власну. Захист курсової роботи проводиться прилюдно перед комісією, склад якої визначається кафедрою загальної та прикладної екології та зоології. Здобувач освіти, який без поважної причини не подав курсову роботу у зазначений термін або не захистив його, вважається таким, що має академічну заборгованість. При отриманні незадовільної оцінки студент за рішенням комісії виконує курсову роботу за новою темою або доопрацьовує попередню роботу в термін, визначений деканатом (кафедрою).

Зміст самостійної роботи з дисципліни «Фіто- та зооіндикація стану навколишнього середовища» конкретизується у пропонованому автором виданні. Чітке й добросовісне виконання наданих рекомендацій сприятиме раціональному використанню часу та результативному виконанню самостійної роботи.

Алгоритм вивчення програмного матеріалу у ході самостійної роботи:

1. Ознайомитися з темою та планом її опрацювання.
2. Осмислити й вивчити теоретичний матеріал, знайшовши відповіді на питання плану в рекомендованій літературі.
3. Дотримуватися методичних рекомендацій при опрацюванні питань плану.

4.Скласти конспект (або тезисні викладки) прочитаного та словничок основних термінів і понять. Їх визначення необхідно обов'язково вивчити.

5.Встановити зв'язок щойно вивченого навчального матеріалу з попереднім.

6.Дати відповіді на питання для самоконтролю не користуючись літературою і конспектом. Повторно опрацювати недостатньо засвоєний навчальний матеріал.

7.Виконати практичні завдання. При виконанні індивідуального практичного завдання (есе) потрібно продемонструвати вміння застосовувати засвоєні знання на практиці, викладати думки в логічній послідовності, наводити аргументи, творчо мислити, робити узагальнення та висновки.

Щоб самостійна робота була ефективною здобувач освіти має глибоко усвідомити її необхідність, мету і подальшу корисність для себе. Обов'язкові умови успішного самостійного вивчення дисципліни «Фіто- та зооіндикація стану навколишнього середовища» – точне і конкретне визначення завдання, вмотивованість, наявність і знання методики виконання, терміни, форми і види контролю.



## 📖 ЗМІСТ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

### Змістовий модуль 1. Теоретичні основи фіто- та зооіндикації стану навколишнього середовища

#### Тема 1. Базові поняття, закономірності та закони фіто- та зооіндикації стану навколишнього середовища. Історія використання фіто- та зооіндикаторів при діагностиці екологічного стану

**Мета:** розкрити основні положення біоіндикації, історію розвитку та структуру сучасної науки, з'ясувати закономірності впливу екологічних та антропогенних факторів.

#### План

1. Предмет, об'єкт, завдання, методи та структура сучасної біоіндикації.
2. Історія розвитку біоіндикації як науки.
3. Закономірності впливу екологічних факторів на живі організми: закон оптимуму.
4. Антропогенні фактори, що викликають стрес.

**✍ Основні поняття:** біоіндикація, аутобіоіндикація, синбіоіндикація, альгоіндикація, ліхеноіндикація, біоіндикація, фітоіндикація, дендроіндикація, зооіндикація, екологічні фактори, абіотичні та біотичні фактори, антропогенні фактори, закон оптимуму, екологічний стрес.

#### Методичні рекомендації

**1. Предмет, об'єкт, завдання, методи та структура сучасної біоіндикації.** При опрацюванні першого питання насамперед, треба усвідомити, що у наш час, у зв'язку з інтенсивним впливом людини на природу змінилося відношення суспільства до стану навколишнього середовища, його повітряного басейну, ґрунту, водоймищ, та харчових продуктів. Контроль стану навколишнього середовища, оцінка його якості – це найважливіша складова частина діяльності людини, яка направлена на освоєння та використання природних ресурсів для забезпечення своєї життєдіяльності.

**Біоіндикація** (грец. *bios* – життя, лат. *indico* – вказую) – це визначення біологічно значущих навантажень на основі реакцій на них живих організмів та їх угруповань. Повною мірою це належить до всіх видів антропогенних забруднень.

Основну увагу треба акцентувати на *головній меті фіто- зооіндикації* – діагностиці стану навколишнього середовища шляхом встановлення здатності організмів до адаптації у відповідних умовах довкілля; та *основних завданнях фіто- зооіндикації* – виявленні організмів та груп організмів-біоіндикаторів, які найбільш чутливі до змін у навколишньому середовищі, які виникли під дією природних і антропогенних факторів, і добір видів-індикаторів з високим порогом чутливості до антропогенних змін.

Далі, необхідно звернути увагу, що фіто- зооіндикацію можна характеризувати наступним чином:

- ✓ як розділ екології, що оцінює екологічні фактори по біологічним ознакам;
- ✓ наука, що вивчає залежність між біотичними ознаками і станом екосистем та їх складових в цілому;
- ✓ наука, що вивчає питання діагностики стану екосистем по показниках біотичних ознак та властивостей.

Далі треба розглянути визначення об'єкта та предмета фіто- зооіндикації, методів фіто- зооіндикації.

*Об'єктом біоіндикації* є екологічні характеристики та біотичні ознаки біологічних об'єктів. Під біологічними об'єктами розуміють будь-які біологічні системи на різних рівнях організації живої матерії (молекули органічних речовин, клітини, тканини, органи та системи органів, організми в цілому, популяції, види, угруповання організмів). З метою біоіндикації використовуються генетичні, біохімічні та фізіологічні порушення у біосистемах хромосом, біомембран, органел, обміну речовин (білків, вуглеводів, жирів), енергетичного та мінерального обміну, включаючи фотосинтез, активність гормонів та ферментів; морфологічні, анатомічні, біоритмічні, поведінкові відхилення; флористичні, фауністичні, популяційно-динамічні, біогеоценотичні та ландшафтні зміни.

*Предмет біоіндикації* – закономірність зв'язків між екологічними характеристиками та біотичними ознаками.

*Методи біоіндикації* як правило, достатньо прості у використанні і не потребують спеціального обладнання та великих витрат. Методи біоіндикації ґрунтуються на положенні, що для функціонування, росту та розмноження організмів необхідне певне середовище. Угруповання організмів і окремі особини не тільки реагують на зміни в довкіллі, але і самі активно його формують, забезпечуючи таким чином біологічне самоочищення. Тому, будь-яке порушення умов існування угруповання живих організмів призводить до зміни його структури. Причиною можуть бути не лише токсичні речовини, а й фізичні фактори.

Необхідно усвідомити переваги методів фіто- зооіндикації:

- ✓ мають інтегральний характер;
- ✓ підсумовують усі без винятку біологічно важливі параметри навколишнього середовища і відбивають його стан у цілому;
- ✓ виявляють наявність у навколишньому природному середовищі комплексу забруднювачів;
- ✓ дозволяють оцінити ступінь шкідливості тих або інших речовин для живої природи і людини;
- ✓ дають можливість контролювати дію багатьох синтезованих людиною сполук;
- ✓ в умовах хронічного антропогенного навантаження біоіндикатори можуть реагувати на дуже слабкі впливи шляхом акумуляції дози;

- ✓ фіксують швидкість змін, що відбуваються у довкіллі;
- ✓ показують шляхи і місця скупчень різного роду забруднень в екологічних системах і можливі шляхи попадання цих речовин в організм людини;
- ✓ допомагають нормувати припустиме навантаження на різні по стійкості до антропогенного впливу екосистеми, коли однаковий склад і обсяг забруднень може привести до неоднакових реакцій природних систем у різних географічних зонах;
- ✓ роблять необов'язковим застосування дорогих трудомістких фізичних і хімічних методів для виміру біологічних параметрів;
- ✓ живі організми постійно присутні в навколишньому середовищі і реагують на короточасні і залпові викиди токсикантів, що може не зареєструвати автоматизована система контролю з періодичним добором проб на аналізи.

Методи біоіндикації класифікуються у залежності:

- ✓ від рівня організації живих організмів, що досліджуються (напр.: біоіндикація на клітинному рівні, органному рівні, тканинному рівні...);
- ✓ від систематичних груп організмів, що досліджуються (напр.: ліхеноіндикація, дендроіндикація...);
- ✓ від середовища, в якому проводяться дослідження (напр.: методи біоіндикації води, атмосфери, ґрунту).

Структура сучасної біоіндикації – сукупність методів, що використовуються для дослідження антропогенних змін в довкіллі (аутбіоіндикація, синбіоіндикація, альгоіндикація, ліхеноіндикація, бріоіндикація, фітоіндикація, дендроіндикація, зооіндикація).

**2.Історія розвитку біоіндикації як науки.** У другому питанні важливо усвідомити що фіто- зооіндикація має давню історію. Розвиток фіто-зооіндикації охоплює великий історичний період. Перші біоіндикаційні спостереження були зроблені античними вченими, які звернули увагу на зв'язок морфології рослин з умовами їх зростання. У I ст. до н. е. римський письменник і агроном Ю. Колумелла сформував ідею біоіндикації по рослинах – по листю дерев, по травах або по плодах він міг судити про властивості ґрунту і знати, які культури на цьому ґрунті дадуть найбільший урожай. Це напрямок, одержав назву ландшафтної біоіндикації, і сьогодні успішно використовується в практичних цілях.

Засновником індикаційного підходу вважають американського ботаніка Ф. Клементса, який у 1920 році у праці "Рослинні сукцесії та індикатори" відмічав, що кожна рослина, або рослинне угруповання є найкращою мірою умов, у яких росте. Однак, ще в кінці минулого століття В.В. Докучаєв вважав, що всі елементи природи взаємопов'язані між собою і що по одному з них можна судити про всіх інших.

Засновником біоіндикційного використання рослин, оцінки властивостей ґрунтів і підстилаючих гірських порід по особливостях розвитку рослин і складу

рослинного покриву безперечно вважають А.П. Карпінського, роботу якого, опубліковану в 1841 р. та присвячену пов'язаності рослин з різними гірськими породами використовують і нині.

У зв'язку з цим одним з перших напрямків в біоіндикації була індикаційна геоботаніка. З теоретичних робіт по біоіндикації першою найбільш фундаментальною і видатною була робота Ф. Клементса (Clement, 1920), яка покладена в основу вчення про рослинні індикатори.

Для удосконалення захисту зовнішнього середовища і розширення біоіндикаційного напрямку у моніторингу стану природних об'єктів на ХХІ загальній асамблеї Міжнародного союзу біологічних наук (Оттава, 1982 р.) була відпрацьована програма "Біоіндикатори". Основні напрямки діяльності (об'єкти, цілі, організація, методи) сформульовані академіком АН Угорської Народної Республіки Н. Шаланкі — одним із творців програми. Основні напрямки програми: стандартизація методів дослідження, задоволення регіональних і національних проблем; створення мережі спеціалістів з біоіндикації; розширення біоіндикаційних досліджень у моніторингу навколишнього середовища. Крім того, проводяться також міжнародні симпозиуми з біоіндикації антропогенних забруднень (Індія, 1984; Канада, 1985; СРСР, 1989 та інші).

В середини ХХ ст. розвився ще один практичний напрямок біоіндикації — зоологічний метод діагностики ґрунтів (ґрунтова зооіндикація). Він заснований на взаємозв'язку і взаємозумовленості організмів і середовища їх проживання, що особливо чітко проявляється в ґрунті, який представляє не тільки середовище проживання організмів, але і результат їх сукупної діяльності. Засновником цього напрямку є академік М.С. Гіляров, який у монографії "Зоологічний метод діагностики ґрунтів" (1965) узагальнив свої дослідження.

Кінець ХХ ст. та початок ХХІ ст. ознаменувався різким посиленням уваги до розв'язання екологічних питань і свого роду «екологізації» всіх наук. Нині встановлено і широко використовуються групи видів-індикаторів різних антропогенних впливів, евтрофікації водних об'єктів, хімічного забруднення ґрунтів, впливу на біоту рекреаційного навантаження, особливостей сукцесій, що виникають після пожеж, впливу на живі організми радіонуклідів, пріоритетних полютантів, в тому числі ксенобіотиків, хлорорганічних з'єднань, поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), фенолів та ін.

**3. Закономірності впливу екологічних факторів на живі організми: закон оптимуму.** У ході опрацювання третього питання необхідно ознайомитися з поняттями: екологічні фактори, абіотичні фактори, біотичні фактори, абіогенні фактори, адаптації, екологічна валентність певного виду, обмежувальний фактор.

Важливо усвідомити, що більшість видів у живій природі не досягає такої чисельності, яка загрожувала б їм повним знищенням власних ресурсів. Їхнє життя протікає під постійним впливом різних факторів, що змінюють силу впливу і що змушують пристосовуватися до них. Екологічні фактори по-різному

впливають на організми. Однак в дії всіх факторів існує щось спільне, що викликає цілком закономірні відповідні реакції, які можна передбачити і відобразити кількісно. Цим загальним законом підкоряється і людина як біологічна істота.

Далі, необхідно звернути увагу на основні закономірності впливу факторів на організми:

1) правило екологічної індивідуальності – не існує двох близьких видів, подібних за своїми адаптаціями;

2) правило відносної незалежності адаптації – добра пристосованість організмів до певного чинника не означає такої самої пристосованості до інших;

3) закон оптимуму – кожен фактор позитивно впливає на організм лише в певних межах.

Оптимум та межі витривалості організму щодо певного чинника залежать від інтенсивності дії інших факторів. Наприклад, надмірну вологість повітря легше перенести у прохолодну погоду.

Для існування виду інтенсивність дії екологічних факторів не повинна бути надмірною або недостатньою.

**4. Антропогенні фактори, що викликають стрес.** У цьому питанні необхідно уважно розглянути поняття стресу та антропогенних факторів, що викликають стрес. У фіто- зооіндикації під стресом розуміється реакція біологічної системи на екстремальні фактори середовища (стресори), які можуть в залежності від сили, інтенсивності, тривалості впливу, більш або менш сильно впливати на систему.

Антропогенні фактори, це тіла, речовини, процеси та явища, які виникають внаслідок господарської та іншої діяльності людини і діють на природу разом з факторами природними. Усю різноманітність антропогенних факторів можна поділити на такі групи, як фактори-тіла, фактори-речовини, фактори процеси, фактори явища.

Далі треба розглянути класифікацію антропогенних факторів за різними ознаками: за природою (механічні, фізичні, хімічні, біологічні та ландшафтні), за часом (фактори, що вироблені у минулому, фактори, які виробляються у наш час), за ступенем здатності до міграції (фактори, що не мігрують, мігрують із потоками води й повітря, мігрують із засобами виробництва, мігрують самостійно), за здатністю накопичуватися у природі (ті, що існують лише у момент виробництва, тому за своєю природою не здатні до накопичення, ті, які здатні зберігатися у природі тривалий час після їх виробництва, що призводить до їх накопичування – акумуляції – і посилення впливу на природу), за періодичністю (безперервно діючі, періодичні фактори, спорадичні фактори)

Дуже важливо розрізняти антропогенні фактори за тими змінами, до яких призводить або може призводити їхня дія на природу і живі організми. Тому їх поділяють також за стійкістю змін, що вони зумовлюють у природі: антропогенні фактори, що викликають тимчасові зворотні зміни: будь-яка тимчасова дія на

природу, що не приводить до повного знищення видів; забруднення води або повітря нестійкими хімічними речовинами тощо; антропогенні фактори, що викликають відносно незворотні зміни, – окремі випадки інтродукції нових видів, створення невеликих водосховищ, знищення деяких водойм та ін.; антропогенні фактори, що викликають абсолютно незворотні зміни у природі, – суцільне знищення окремих видів рослин і тварин, повне вилучення з родовищ корисних копалин тощо.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Дайте визначення біоіндикації, її мети, основних завдань, об'єкта та предмета.
2. Розкрийте методи біоіндикації, їх переваги та недоліки.
3. Схарактеризуйте сучасну структуру біоіндикації.
4. Як розвивалась біоіндикація протягом історії людства?
5. Яку роль при поясненні екологічних процесів відіграє закон оптимуму? Які ще екологічні закони використовуються в біоіндикаційних дослідженнях?
6. Що таке екологічні фактори, чим вони відрізняються від антропогенних?
7. Дайте визначення екологічного стресу.
8. Схарактеризуйте антропогенні фактори. За якими ознаками вони класифікуються?

### **✍** *Практичні завдання*

1. Використовуючи лекційний матеріал, електронний ресурс Moodle ЗНУ: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=6732> та інші інтернет-ресурси, з'ясуйте переваги та недоліки застосування організмів-індикаторів при оцінці стану довкілля. Заповніть таблицю 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз біоіндикаторів різних таксономічних категорій

Організми-біоіндикатори	Речовини, що визначаються	Індикаційні ознаки організмів	Організми-індикатори	Переваги	Недоліки
Нижчі рослини					
Вищі рослини					
Безхребетні тварини					
Хребетні тварини					

Зробіть висновки щодо переваг та недоліків кожної групи організмів-індикаторів.

2. Дайте визначення біотестуванню. Порівняйте біоіндикацію та біотестування. Заповніть таблицю 2.

Таблиця 2 - Порівняльний аналіз біоіндикації та біотестування

	Спільні риси	Відмінні риси
Біоіндикація		
Біотестування		

Зробіть висновки щодо значення біоіндикації у системі моніторингу довкілля.

**Рекомендована література:** основна [2]; додаткова [2; 3; 4; 5]; інформаційні ресурси [3; 4].

## Тема 2. Об'єкти фіто- зооіндикації

**Мета:** розкрити сутність поняття «біоіндикатор», дати характеристику основних властивостей біоіндикатора, що використовуються у екологічних дослідженнях. Визначити переваги біоіндикації, її доцільність рівні та принципи здійснення.

### План

1. Визначення і переваги біоіндикації перед хімічними та фізико-хімічними методами аналізу.
2. Основні принципи застосування біоіндикації.
3. Доцільність біоіндикації. Абсолютні та відносні калібровані стандарти.
4. Рівні біоіндикації і принципи добору біологічних показників для біоіндикації.
5. Поняття біоіндикатор. Чутливість і вірогідність біоіндикаторів. Вимоги до біоіндикаторів.
6. Неспецифічна і специфічна біоіндикація.

**✍ Основні поняття:** біотестування, біоіндикатор, чутливість біоіндикатора, вірогідність біоіндикатора, біоіндикаційні дослідження.

### Методичні рекомендації

**1. Визначення і переваги біоіндикації перед хімічними та фізико-хімічними методами аналізу.** Під час вивчення цього питання важливо усвідомити такі поняття як пасивна біоіндикація, активна біоіндикація, звернути увагу, що живі індикатори не повинні бути занадто чутливими і занадто стійкими до забруднення. Необхідно, щоб у них був досить тривалий життєвий цикл. Важливо, щоб такі організми були широко поширені по планеті, причому кожен вид повинний бути присвячений до визначеного місцеперебування.

Наприклад, лишайники цілком відповідають усім цим вимогам. Вони реагують на забруднення інакше, чим вищі рослини. Довгостроковий вплив низьких концентрацій забруднюючих речовин викликає в лишайників такі ушкодження, що не зникають аж до загибелі їхніх сланей. Це, видимо, зв'язане з тим, що лишайники відновляють свої клітки дуже повільно, у той час, як у вищих рослин ушкоджені тканини замінюються новими досить швидко. Біоіндикація має ряд переваг перед інструментальними методами. Вона відрізняється високою ефективністю, не вимагає великих витрат і дає можливість характеризувати стан середовища за тривалий проміжок часу.

Ю. Одум наводить ряд суттєвих зауважень, які слід брати до уваги під час використання біоіндикації.

1. Стенотопні види, як правило, є кращими індикаторами, ніж евривиди. Наприклад, копитняк – виражений мезофіт; він трапляється в діброві, де репрезентує багаті умови зростання.



2. Великі види є кращими індикаторами, ніж дрібні, оскільки на даному потоці енергії може підтримуватися більша біомаса або «врожай на корені», і ця біомаса розподіляється між великими організмами. Наприклад, анемона дібровна – вид дібровних умов зростання, який рясно представлений у буковому лісі лише у час цвітіння (весняний аспект). Однак вже в червні годі знайти його сліди. В той час як бук – індикатор родючих бучин – завжди буде представлений і відіграватиме в будь-який час роль індикатора.

3. Числове співвідношення різних видів, популяцій і цілих угруповань часто служить кращим індикатором, ніж чисельність одного виду, оскільки ціле краще, ніж частина, відбиває загальну суму умов. Наприклад, чисті угруповання сосни високих бонітетів є індикаторами свіжих борових та суборових пісків. Коли говоримо про діброви, то беремо до уваги багаті ґрунти і благодатний клімат. Зарості кропиви дводомної вказують багаті на азот землі.

Далі, необхідно звернути увагу на перевагах біоіндикації перед фізико-хімічними методами аналізу: не завжди вдається виявити нестійкі сполуки або кількісно визначити ультрамалі концентрації екотоксикантів фізико-хімічним методом. Доволі часто відбуваються випадки, коли виконаний сучасними заходами хімічний аналіз не виявляє наявності токсикантів, в той час, як використання тест-об'єктів свідчить про їх присутність у дослідному середовищі. Біоіндикація дає можливість отримати інтегральну оцінку токсичності, що робить дуже привабливим її застосування в дослідках.

Підсумовуючи важливість біоіндикаційних методів дослідження, необхідно відзначити, що біоіндикація передбачає виявлення забруднення навколишнього середовища, що уже відбулося або відбувається по функціональних характеристиках особин і екологічних характеристиках угруповань організмів.

**2. Основні принципи застосування фіто- зооіндикації.** При опрацюванні цього питання зверніть увагу, що при проведенні фіто- зооіндикації варто враховувати *чотири основних принципи*:

1. Відносна швидкість проведення досліджень. Біоіндикаційні дослідження повинні охоплювати одну фенологічну фазу при порівняно однорідних метеорологічних умовах. Біоіндикаційні дослідження з метою вивчення закономірностей міграції хімічної речовини по харчових ланцюгах рекомендується проводити в період максимальної біологічної продуктивності угруповань.

2. Одержання достатньо точних і відтворених результатів.

3. Велика кількість об'єктів біоіндикації з однорідними властивостями. Добір індикаторів з високою зустрічальністю. Біоіндикатори повинні бути добре вивчені і мати на всій території досліджень однорідні властивості.

4. Діапазон похибок у порівнянні з іншими методами тестування повинен складати не більш 20%.

**3. Доцільність біоіндикації. Абсолютні та відносні калібровані**

**стандарти.** Вивчення цього питання спрямоване на розуміння, що в біоіндикації розглядається не оцінка присутності, концентрації або інтенсивності того чи іншого параметра, а реакція біологічних систем, тобто біологічний вплив фактору. Антропогенні впливи являють собою, з одного боку, нові параметри середовища, з іншого боку – обумовлюють антропогенну модифікацію вже наявних природних факторів і тим самим зміна властивостей біологічних систем. Якщо ці нові параметри значно відхиляються від відповідних вихідних величин, то можлива біоіндикація.

Для кількісної оцінки значущості відхилень необхідні абсолютні або відносні стандарти. При біоіндикації антропогенних факторів використовують такі стандарти:

✓ Абсолютні стандарти порівняння:

а) порівняння з показниками біологічної системи, вільної від впливу антропогенного фактора;

б) експериментальне виключення антропогенних факторів;

в) порівняння з біологічними системами, які в минулому піддавалися впливу, або слабо чи зовсім не підданих дії антропогенних факторів.

✓ Відносні стандарти порівняння:

а) кореляція зі змінами антропогенних факторів;

б) встановлення еталонних об'єктів, що випробують незначний або відомий антропогенний вплив.

**4.Рівні фіто- зооіндикації і принципи добору біологічних показників для біоіндикації.** При вивченні цього питання необхідно усвідомити, що фіто-зооіндикація проводиться на всіх рівнях організації живого: макромолекул, клітин, організмів, популяцій, угруповань і екосистеми.

Відповідно до організаційних рівнів біологічних систем можна встановити різні рівні біоіндикації:

1-й рівень: біохімічні і фізіологічні реакції;

2-й рівень: анатомічні, морфологічні, біоритмічні і поведінкові відхилення;

3-й рівень: флористичні і фауністичні зміни;

4-й рівень: ценотичні зміни;

5-й рівень: біогеоценотичні зміни;

6-й рівень: зміна ландшафтів.

Далі, необхідно звернути увагу, що добір показників для фіто- зооіндикації проводиться виходячи з визначених критеріїв, що утворять три групи. Перша група складається з критеріїв, що характеризують фундаментальність біологічного впливу, це:

1) існування зв'язку між обраною змінною і такими показниками, як ріст, відтворення, виживаність особин, популяцій, угруповань і екосистеми в цілому;

2) характер зв'язку між змінною, що спостерігається і реакціями на нижчих і вищих рівнях організації;

3) специфічність реакції змінної на фактор, що його викликає;

4) можливість повернення змінної до свого первісного значення після припинення дії фактору;

5) специфічність дії фактору для визначеної групи організмів.

Друга група включає критерії, що оцінюють ефективність біологічних вимірів, це:

1) характер зв'язку реакції змінної з наявним забрудненням;

2) інтенсивність наявного фактора, що викликає реакцію змінної, що спостерігається

3). межі зміни величини наявного фактора, що викликає ефект, що спостерігається;

4) величина проміжку часу, протягом якого формується реакція (години, дні, роки);

5) легкість виявлення перевищення реакції над природним фоном;

6) точність виміру реакції змінної, що спостерігається.

Третю групу утворюють критерії, що характеризують практичну цінність змінних, обраних для біоіндикації, це:

1) оцінка вартості виміру реакції змінної, котра включає вартість капітального устаткування, навчання персоналу і штатів;

2) оцінка діапазону використання реакції змінної.

**5.Поняття біоіндикатор. Чутливість і вірогідність фіто-зооіндикаторів. Вимоги до фіто- зооіндикаторів.** При опрацюванні питання необхідно звернути увагу на поняття: чутливий біоіндикатор, акумулятивний біоіндикатор, типи чутливості біоіндикаторів, прямі і непрямі індикатори, позитивні та негативні, специфічні і неспецифічні біоіндикатори, частковий і комплексний біоіндикатори.

Біоіндикація може проводитися при наземних польових дослідженнях і при дешифруванні аерокосмічних матеріалів. По ступеню дешифрування індикатори діляться на *аерофотогенічні* (добре помітні на матеріалах дистанційної зйомки) і *ультрадеципієнтні* (помітні при детальних наземних дослідженнях).

По ступеню географічної стійкості зв'язку з об'єктом індикації виділяють індикатори: *панареальні* – що зберігають однаковий зв'язок з об'єктом індикації на всій території, у межах якої вони зустрічаються, тобто в межах всього ареалу; *регіональні* – що зберігають своє значення лише в межах однієї чи декількох областей з подібними фізико-географічними умовами; *локальні* – що володіють стійким зв'язком з об'єктом індикації тільки на визначеній території.

Далі, необхідно звернути увагу, що істотною рисою біоіндикаторів є *чутливість*. Проява реакції організму при незначних відхиленнях характеризується як рання індикація. Частина видів, навпаки, накопичує вплив без швидкого прояву. Такі біоіндикатори називаються акумулятивними. Якщо біоіндикатор реагує значним відхиленням життєвих проявів від норми, то він є чутливим біоіндикатором. До чутливих біоіндикаторів відносяться лишайники, мохи, ґрунтові і водні мікроорганізми (водорості, бактерії, мікрогриби). У ролі

біоіндикаторів можуть бути використані пилок рослин, хвоя сосни звичайної та ін. Серед тварин також виділяють групи організмів, що позитивно або негативно реагують на різні форми антропогенної трансформації середовища (ракоподібні, хірономіди, молюски, та ін.).

При вивченні цього питання необхідно ознайомитися з поділом біоіндикаторів за ступенем вірогідності: виняткові; постійні ; змінні ; відносні ; індиферентні та негативні.

Індикатори можуть мати різні спряженість і зустрічальність. Виходячи зі співвідношення спряженості і зустрічальності, виділяються наступні біоіндикатори: абсолютні; унікальні; вульгарні.

При цьому необхідно усвідомлювати, що біоіндикатори повинні задовольняти *наступним вимогам*: індикаторами мають бути види, які характерні для природної зони, де розташовується об'єкт індикації; організми-індикатори повинні бути поширені на всій території, що досліджується; індикатори повинні мати чітко виражену кількісну і якісну реакцію на відхилення властивостей середовища існування від екологічної норми; біологія даних видів-індикаторів повинна бути добре вивчена.

**6. Неспецифічна і специфічна фіто- зооіндикація.** При опрацюванні цього питання, в першу чергу треба звернути увагу, що біоіндикаційні дослідження – важливий розділ екологічного моніторингу. Інструментальні методи вимірювання забруднення навколишнього середовища не можуть замінити біоіндикації, значення якої полягає не у вимірюванні параметрів середовища, а у вивченні відповіді живих організмів на його вплив. Залежно від реакції організму на фактори середовища можна виділити різні форми біоіндикації: *неспецифічну та специфічну*.

Для неспецифічної біоіндикації характерна реакція організму на комплекс факторів, тоді як у специфічній біоіндикації мова йде тільки про реакцію на один фактор середовища. У природі часто буває невідомим, на який із факторів середовища реагують популяції та угруповання тварин. Разом із тим, цінним є виявлення комплексної біологічної відповіді на вплив навколишнього середовища, який неможливо отримати за допомогою інструментальних методів дослідження.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Назвіть переваги фіто-зооіндикаційних методів досліджень перед інструментальними.

2. Схарактеризуйте принципи застосування фіто- зооіндикації.

3. Як схарактеризувати доцільність фіто- зооіндикації? Що таке абсолютні та відносні стандарти?

4. Які принципи використовуються при доборі біологічних показників?

5. Назвіть рівні фіто- зооіндикації та групи біоіндикаторів.

6. Що таке біоіндикатор?
7. Поясніть взаємозв'язок чутливості та вірогідності біоіндикаторів.
8. Які вимоги висуваються до біоіндикаторів?
9. Як класифікуються біоіндикатори?
10. Схарактеризуйте неспецифічну та специфічну біоіндикацію.

### *✍ Практичні завдання*

1. Порівняйте інструментальні та біоіндикаційні методи дослідження якості навколишнього середовища. Заповніть таблицю 3.

Таблиця 3 – Порівняльний аналіз інструментальних та біоіндикаційних методів дослідження якості навколишнього середовища

Методи дослідження якості навколишнього середовища	Переваги	Недоліки
Інструментальні (хімічні, фізичні, фізико-хімічні)		
Біологічні (біоіндикація)		

Яким чином, на Ваш погляд, доцільно поєднувати інструментальні та біологічні методи дослідження якості навколишнього середовища?

2. Підготуйте аналітичний огляд конкретно обраного фіто- або зооіндикатора та презентуйте його позитивні та негативні риси.

3. Напишіть есе на тему “Перспективи використання фітоіндикаторів при проведенні моніторингових досліджень”.


**Рекомендована література:** основна [1; 2, 3]; додаткова [2; 3; 4; 6]; інформаційні ресурси [1; 2; 4].

### Тема 3. Поняття про забруднення, оцінка забруднення навколишнього середовища

**Мета:** визначити поняття забруднення, систематизувати знання про основні забруднювачі довкілля, методи визначення забруднень, критерії оцінки фактичного рівня забруднень. З'ясувати, яку роль відіграють різні галузі промисловості у формуванні техногенного навантаження.

#### План

1. Поняття про забруднення. Основні речовини – забруднювачі атмосфери, водного басейну, ґрунтів.
2. Джерела антропогенного забруднення.
3. Класифікація забруднень: природні та антропогенні забруднення. Фізичні, хімічні та біологічні забруднення.
4. Критерії оцінки забруднення навколишнього середовища.
5. Методи визначення забруднень. Методика відбору проб.
6. Кількісні критерії оцінки фактичного рівня забруднень. Роль галузей господарства у виникненні екологічних проблем.

 **Основні поняття:** забруднення, джерела забруднення, види забруднень, критерії оцінки рівня забруднення.

#### Методичні рекомендації

1. **Поняття про забруднення. Основні речовини – забруднювачі атмосфери, водного басейну, ґрунтів.** При опрацюванні першого питання насамперед треба ознайомитися з поняттям «забруднення». Під забрудненням навколишнього середовища розуміють надходження в біосферу будь-яких твердих, рідких і газоподібних речовин або видів енергії (теплоти, звуку, радіоактивності і т. п.) у кількостях, що шкідливо впливають на людину, тварин і рослини як безпосередньо, так і непрямым шляхом.

Треба розглянути класифікацію забруднень: інградієнтне, параметричне, біоценотичне, стаціонально-деструкційне забруднення; наслідки проникнення забруднюючих речовин у біологічні системи, розглянути основні види забруднювачів та їх вплив на здоров'я людини.

Необхідно усвідомлювати, що багато забруднювачів (пестициди, пластмаси) у край повільно розкладаються в природних умовах, а токсичні сполуки (ртуть, свинець) взагалі не знешкоджуються.

2. **Джерела антропогенного забруднення.** У другому питанні необхідно детально розглянути джерела забруднення (автотранспорт, ТЕЦ, ГРЕС, промислові підприємства, сільське господарство), види забруднення (фізичне, хімічне та біологічне).

Усвідомити, що катастрофічних розмірів набуло забруднення океану нафтопродуктами, отрутохімікатами, синтетичними мийними засобами,

нерозчинними пластиками. Зараз в океан потрапляє близько 30 млн т. нафтопродуктів за рік.

Далі необхідно звернути увагу, на те, що забруднення середовища негативно відображається на здоров'ї людей і тривалості життя. Не зважаючи на успіхи медицини і санітарного обслуговування збільшується кількість хворих на серцево-судинні, онкологічні захворювання, хвороби шлунку, печінки і нирок. Зростає чисельність вроджених патологій. Від хвороб, спричинених забрудненням води, щорічно вмирає близько 5 млн немовлят. У промислово розвинутих країнах зафіксовані нові захворювання, викликані різними забрудненнями. Так, в Японії стала відома хвороба під назвою «ітай-ітай», яка виникає при отруєнні кадмієм і вражає майже всі внутрішні органи.

**3.Класифікація забруднень: природні та антропогенні забруднення. Фізичні, хімічні та біологічні забруднення.** У ході опрацювання третього питання необхідно детально ознайомитися з підходами до класифікації забруднювачів: первинні та вторинні; природні та антропогенні; фізичні, хімічні та біологічні.

*Фізичне забруднення* пов'язане зі змінами фізичних, температурно-енергетичних, хвильових і радіаційних параметрів зовнішнього середовища. Зокрема, тепловий вплив проявляється в погіршенні режиму земної поверхні та умов життя людей.

*Хімічне забруднення* – збільшення кількості хімічних компонентів певного середовища, а також; проникнення (введення) в нього хімічних речовин, не притаманних йому або в концентраціях, котрі перевищують норму.

*Біологічне забруднення* – випадкове або пов'язане з діяльністю людини проникнення в екосистеми не притаманних їй рослин, тварин і мікроорганізмів (бактеріологічне); часто справляє негативний вплив при масовому розмноженні нових видів.

**4.Критерії оцінки забруднення навколишнього середовища.** Під час вивчення критеріїв кількісної оцінки рівня забруднення навколишнього середовища необхідно звернути увагу на такі: індекс забруднення, гранично допустима концентрація, фонові і токсичні концентрації.

Наявна система ГДК недостатньо правдиво інформативна, оскільки передбачає визначення індивідуального токсиканту, дистанціюючись від питання про комплексний вплив різних забруднювачів. Тим часом спільна дія, наприклад, органокомплексів важких металів кардинально змінює ГДК, експериментально отриману для окремого важкого металу.

В основі рекомендацій щодо зміни виробництва з метою зменшення кількості шкідливих напівпродуктів та побічних сполук лежить встановлення гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у різних середовищах.

У повітряному середовищі: ГДКр.з – гранично допустима концентрація речовини в повітрі робочої зони, мг/м<sup>3</sup>; ГДКм.р. – гранично допустима

максимальна разова концентрація речовини в повітрі населених пунктів, мг/м<sup>3</sup>; ГДКс.д. – гранично допустима середньодобова концентрація токсичної речовини в повітрі населених пунктів, мг/м<sup>3</sup>.

У водному середовищі: ГДКв. – гранично допустима концентрація речовини у воді водойми господарсько-питного та культурно-побутового водокористування, мг/л; ГДКв.р. – гранично допустима концентрація речовини у воді водойми, що використовується для рибогосподарських цілей, мг/л;

Інтегральні показники для води: БПК – біологічна потреба в кисні; ХПК – хімічна потреба в кисні. По відношенню БПКП/ХПК роблять висновки про ефективність біохімічного окислення речовин.

У ґрунті: ПДКг. – гранично допустима концентрація речовини в орному шарі ґрунту, мг/кг; ГДКпр. (ДОК) – гранично допустима концентрація (Допустима залишкова кількість) речовини в харчових продуктах, мг/кг.

Якщо величина ГДК в різних середовищах не встановлена, діє тимчасовий гігієнічний норматив ТДК (ОБРВ) – тимчасово допустима концентрація (орієнтовно безпечний рівень впливу) речовини. Тимчасовий норматив встановлюється на певний термін (2-3 роки).

**5.Методи визначення забруднень. Методика відбору проб.** При вивченні цього поняття в першу чергу необхідно звернути увагу на параметри, що вимірюються при проведенні фіто- зооіндикації: фізіологічний стан рослин; елементний склад тканин рослини.

Далі, пропонується розглянути алгоритм проведення візуальної оцінки рослин та способи ідентифікації явно виражених змін у зовнішньому вигляді рослин.

Проби для проведення досліджень відбираються згідно з Інструкцією з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами, затвердженою Наказом №30, від 19.01.2016 Державною службою України з надзвичайних ситуацій.

При проведенні фітоіндикаційних досліджень, та виборі біоіндикатора, необхідно дотримуватись таких рекомендацій:

1. Вивчати одновікові екземпляри.
2. Відбирати середню пробу з декількох екземплярів рослин (8-10 екземплярів).
3. Проводити добір проб з однієї висоти і по всій окружності крони дерев.
4. Оцінювати покриття лишайників на стороні їхнього максимального розвитку.
5. Проводити добір проб на аналіз вмісту хімічних речовин по окремих органах: листи, гілки, кора, деревина і т.д.

**6.Кількісні критерії оцінки фактичного рівня забруднень. Роль галузей господарства у виникненні екологічних проблем.** При вивченні цього питання треба почати з «концепції пороговості» та внеску підприємств різних



галузей у забруднення атмосфери, ґрунту та води. Найбільший вклад у забруднення природного середовища вносять теплові електростанції, транспорт, металургійні та хімічні заводи.

Досить несподівані екологічні наслідки виникають через розвиток виробництв, які, на перший погляд, ніби не становлять небезпеки щодо екології, але насправді створюють екологічні проблеми. Зокрема, нові заводи електронної промисловості виробляють таку продукцію, для отримання якої потрібна особливо чиста сировина. Чистота виробів також повинна бути дуже високою. Це робить необхідним багаторазове очищення сировини, а повторне використання води стає неможливим. Не випадково в 1984 р. Агенція з охорони навколишнього середовища США включила території 19-ти найбільших наукових компаній у список найбільш забруднених місць у країні. Першим у ньому зазначено район Кремнієвої долини (південне узбережжя затоки Сан-Франциско), де зосереджено центри електронної й аерокосмічної промисловості.

Важливо усвідомлювати, що дуже велика кількість забруднюючих речовин потрапляє в природне середовище через сільськогосподарську діяльність. Найбільшу шкоду приносить використання пестицидів – щорічно їх у світі застосовується 4 млн т, але врешті-решт тільки один відсоток досягає мети, тобто безпосередньо впливає на шкідників сільськогосподарських культур. Решта шкодить іншим організмам, вимивається в ґрунти і водойми, вивітряється.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Дайте визначення забруднення.
2. Класифікуйте забруднення за походженням та природою виникнення.
3. Які методи виявлення забруднення Вам відомі?
4. Які галузі промисловості найбільш впливають на рівень забруднення атмосфери?
5. Які хімічні речовини викликають забруднення атмосфери, водних ресурсів та ґрунтів.
6. Які методи визначення забруднень Вам відомі?
7. Які показники використовують для визначення забруднення?
8. Які хвороби людини викликані забрудненням навколишнього середовища?
9. Які наслідки забруднення для природного середовища Вам відомі?

### **✍** *Практичні завдання*

1. Чи перевищує, якщо так, то у скільки разів, значення максимально разової ГДК для аміаку (дорівнює  $0,2 \text{ мг/м}^3$ ), при виявленні його запаху. Поріг виявлення запаху для аміаку становить  $46,6 \text{ ppm}$ ? Атмосферний тиск дорівнює  $100 \text{ кПа}$ , температура  $25^\circ\text{C}$ .

2. Скільки молекул формальдегіду знаходиться в  $1\text{см}^3$  повітря за нормальних умов, якщо концентрація досягає значення ГДКм.р., що дорівнює  $0,035\text{ мг/м}^3$ ?

3. У скільки разів буде перевищено значення максимально разової ГДК для оцтової кислоти, що дорівнює  $0,2\text{ мг/м}^3$ , якщо на складі трапилась аварія (розлилася кислота) і встановилась динамічна рівновага між парою і рідкою оцтовою кислотою? Парціальний тиск парів оцтової кислоти становить  $3\text{ Па}$ . Атмосферний тиск  $101,3\text{ кПа}$ , температура  $25^\circ\text{C}$ .

**Рекомендована література:** основна [1]; додаткова [1; 3; 5; 6]; інформаційні ресурси [1; 2; 4].

## Змістовий модуль 2. Фіто- та зооіндикація на різних рівнях організації живого

### Тема 4. Фіто- зооіндикація на різних рівнях організації живого: молекулярний та клітинний рівень

**Мета:** визначити особливості фіто- зооіндикаційних досліджень на молекулярному та клітинному рівнях організації живої матерії. Розкрити фіто-зооіндикаційні ознаки молекулярного та клітинного рівня. Довести доцільність проведення таких досліджень.

#### План

1. Молекулярний рівень: діагностичне значення біохімічних і фізіологічних показників; показові ушкодження молекулярного рівня.
2. Клітинний рівень фіто- зооіндикації.

**Основні поняття:** макромолекули, концентрація речовин, ферменти, енергетичний потенціал, лізосомний комплекс, фотосинтез, обмін речовин.

#### Методичні рекомендації

**1. Молекулярний рівень: діагностичне значення біохімічних і фізіологічних показників; показові ушкодження молекулярного рівня.** Розглядаючи два організми на молекулярному рівні, що належать до одного виду, родини, а іноді і до різних таксонів, ми спостерігаємо більше подібності, чим розходження. Високий ступінь подібності молекулярно-клітинної організації і біохімічних перетворень у порівнянні з найвищими рівнями організації характерний для всього живого. Це простежується при переході від найнижчого рівня організації живого до вищого. Суттєві розходження виявляються навіть у близькоспоріднених видів тільки при переході на вищі рівні організації (тканинно-органний, організмовий, популяційно-видовий).

При вивченні цього питання необхідно звернути увагу на діагностичне значення біохімічних і фізіологічних показників. Обмін речовин кожної живої клітини підкоряється наступним принципам: прив'язаний до молекулярних і надмолекулярних структур; організований за типом функціональної і структурної ієрархії; високоекономічний; здатний до саморегуляції.

Його задачі можна звести до наступних: постачання енергії у формі АТФ, необхідної для численних реакцій; постачання попередників – мононуклеотидів, амінокислот, моносахаридів – для синтезу нуклеїнових кислот, білків, вуглеводів; біосинтез біомакромолекул – ферментів, гормонів, пігментів, резервних речовин.

Далі треба звернути увагу на показові ушкодження молекулярного рівня.

1. Концентрація (кількість) ферментів, пігментів (хлорофіл, співвідношення каротіноїдів, металотіонеїни, стероїди)
2. Ферментативна активність (глюкозо-6-фосфатдегідрогеназа, пероксидази, оксигенази);

3. Енергетичний баланс.
4. Фотосинтез.
5. Асиміляція CO<sub>2</sub>.

**2.Клітинний рівень фіто- зооіндикації.** При вивченні другого питання треба усвідомити, що біоіндикація на клітинному рівні заснована на вузьких межах протікання біотичних та фізіологічних реакцій. Біоіндикації на клітинному рівні заснована на тому, що органоїди клітини мають високу чутливість до порушень, що дозволяє дуже швидко виявити незначні концентрації поллютантів.

Далі, доцільно розглянути вплив поллютантів на біомембрани на прикладі клітин рослин (сірчистий газ, озон, сульфур(IV) оксид).

Наступний показник забруднення середовища на клітинному рівні – зміна розмірів клітин. Показано, що за газодимового забруднення збільшуються клітини смоляних ходів у хвойних дерев та зменшуються клітини епідермісу листя. Забруднення середовища також викликає порушення фізіологічних процесів в клітині та плазмоліз. У клітинах рослин під дією кислот і SO<sub>2</sub> цитоплазма відшаровується від клітинної стінки.

Зменшення вмісту розчинних білків – загальна індикаторна ознака на клітинному рівні, причиною чого є збільшення їх розпаду до амінокислот. У вищих рослинах білок пролін бере участь у здійсненні водного балансу, ця амінокислота є індикатором стресу, особливо водного; після впливу багатьох стресорів кількість вільного проліну збільшується.

У рослинах, оброблених SO<sub>2</sub>, збільшується вміст глюкози і фруктози, що забезпечує механізм самозахисту рослин. Автомобільні викиди і солі свинцю впливають на метаболізм вуглеводів менше, ніж двоокис сірки.

Далі розглядаємо як забруднення впливає на стан органоїдів клітин: біомембрани, зміна внутрішньоклітинних структур; стабільність лізосом, зміни розмірів клітини, плазмоліз, хромосомні порушення.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Як клітини на молекулярному рівні реагують на забруднення.
2. Назвіть ушкодження на молекулярному рівні, які можна використовувати як біоіндикаційні ознаки.
3. Як поллютанти пошкоджують клітину?
4. Як біомембрани реагують на дію забруднювачів?
5. Поясніть, чому органели клітини більш чутливо реагують на забруднення ніж весь організм.

### **✍** *Практичні завдання*

У процесі дисиміляції в тканинах відбулося розщеплення 6 моль глюкози,

з яких повного кисневого розщеплення зазнала тільки половина.

1. Визначте, які маси молочної кислоти і вуглекислого газу утворились внаслідок реакції.

2. Яка кількість речовини АТФ утворилась?

3. Яка кількість енергії і в якому вигляді акумулювалась в ній?

**Рекомендована література:** основна [1; 2]; додаткова [2; 3]; інформаційні ресурси [3; 4].

## **Тема 5. Фіто- зооіндикація на різних рівнях організації живого: тканинний та організмовий рівень**

**Мета:** засвоїти особливості проведення фіто-зооіндикаційних досліджень на тканинному та організмовому рівні. Усвідомити принципи використання ссавців та комах в біоіндикації.

### **План**

1.Тканинний рівень біоіндикації: загальна характеристика анатомо-морфологічних відхилень у результаті стресових впливів; макроскопічні зміни морфології рослин; патологічні прояви у тварин.

2.Організмовий рівень біоіндикації: зміна забарвлення листя і тіла тварин, скульптури поверхні; зміна розмірів і продуктивності рослин і тварин; зміна темпів росту, екобіоморфних ознак, показники пошкодження тварин.

3.Ссавці – біоіндикатори забруднення наземних екосистем. Ентомоіндикація.

**Основні поняття:** некрози, хлорози, патологічні прояви у тварин, показники поведінки, фізіологічні показники, ентомоіндикація, популяційні характеристики комах.

### **Методичні рекомендації**

**1.Тканинний рівень біоіндикації:** загальна характеристика анатомо-морфологічних відхилень у результаті стресових впливів; макроскопічні зміни морфології рослин; патологічні прояви у тварин. Вивчення першого питання треба розпочати з усвідомлення важливості використання морфологічних відхилень організмів у якості індикаторів стану довкілля. На практиці такі відхилення вивчаються візуально. Візуальне дослідження анатомо-морфологічних ознак не потребує великих матеріальних витрат, має особливе практичне значення для експрес-оцінки інтенсивності техногенного впливу на екосистеми.

Як індикаторні ознаки ефективно використовувати такі морфологічні показники: висота рослин, довжина і ширина листя, міжвузлів, габітус. У деревних видів можливе дослідження таких морфологічних ознак, як висота стовбурів, висота прикріплення крони, першої живої гілки, висота кірки, що відшаровується, стан і розрідженість крони і ін.

Для добору показників біоіндикації на тканинному й організмовому рівнях пропонуються такі критерії:

- 1) наявність даних, що показують зв'язок захворювання з забрудненням;
- 2) мінливість аномалії в залежності від місця, сезону, а також віку і розміру організму;
- 3) легкість і точність виміру аномалії;
- 4) відносна стійкість аномалії;
- 5) витрати часу і вартість одержання даних;

- 6) відповідність специфічності аномалії і забруднення;
- 7) види, для яких характерна така аномалія;
- 8) наявність даних про біологію й екологію видів, що використовуються.

При біоіндикації на тканинному рівні використовуються такі ознаки:

- 1) відмирання тканин – некроз;
- 2) передчасне зів'янення й обпадання листя (дефоліація);
- 3) патологічні відхилення у тварин (виразки на шкірі, ерозія плавців та зяброва гіперплазія у риб, аномалії кістяка, пухлини, імунна реакція, лімфоцитоз, зміна тканин печінки).

**2. Організмний рівень біоіндикації: зміна забарвлення листя і тіла тварин, скульптури поверхні; зміна розмірів і продуктивності рослин і тварин; зміна темпів росту, екобіоморфних ознак, показники пошкодження тварин.** При вивченні цього питання варто усвідомити, що основна мета добору біологічних показників на організмовому рівні зводиться до оцінки фізіологічного стану особини і її поведінки, а також біологічної значущості концентрації забруднюючих речовин у тілі організмів. При фіто-зооіндикації на організмовому рівні використовуються такі ознаки: зміна забарвлення листя і тіла тварин, а також скульптури поверхні; зміна розмірів і продуктивності рослин і тварин; 3) зміна форми росту, екобіоморфних ознак; показники поведінки тварин.

Вибір організму або груп організмів – перший, необхідний крок при розробці програм біоіндикації – ґрунтується, на властивостях антропогенно-навантаженої екосистеми. Обраний для фіто- зооіндикації організм повинен з появою забруднення своєю поведінкою сигналізувати про зміну умов існування.

**3. Ссавці – біоіндикатори забруднення наземних екосистем. Ентомоіндикація.** При опрацюванні цього питання необхідно звернути увагу, що для біоіндикації забруднення наземних екосистем доцільно використовувати ряд ссавців, які значною мірою відповідають вищенаведеним вимогам. Використання природних популяцій ссавців як індикаторів видів є виправданим ще і тому, що в медичній токсикології накопичено чимало даних, які стосуються впливу різних ксенобіотиків на лабораторних і домашніх тварин. З-поміж уже визнаних і потенційних індикаторних видів є мешканці ґрунту і підстилки, що його вкриває, травоїдні види гризунів до великих копитних і, нарешті, хижаки. Із комахоїдних заслуговують уваги кроти. Вони поширені на всій території лісної зони, є єврітопними, осілими і антисинантропними.

З-поміж дрібних гризунів найбільший інтерес як біоіндикатори становлять хом'якоподібні – європейська руда і сибірська червона полівки, які мають схожі риси екології та охоплюють усю лісову зону Євразії і в цьому сенсі доповнюють один одного, а також поширені тварини, які мешкають біля води – полівка-економка й ондатра. Полівки мають високу і достатньо стійку чисельність, тому використання їх в біоіндикації забезпечує безперервність спостережень.

У більшості європейських країн визнання як біоіндикатор отримала

козуля. Промислові хижаки, що харчуються дрібними гризунами, – куниця і соболь – є схожими за екологією. Характерною особливістю лисиці є те, що значна частина харчового раціону добувається нею на сільськогосподарських угіддях. Тому вона може слугувати індикатором забруднення полів отрутохімікатами сільськогосподарського призначення (різноманітними пестицидами) і важкими мінералами, що містяться в мінеральних добривах.

Опрацювання цього питання передбачає розгляд та з'ясування сутності ентомоіндикації. При визначенні екологічного стану району біоіндикаторне значення мають такі популяційні характеристики комах: щільність (відносна чисельність) комах; аналіз фазових портретів комах із різним типом динаміки чисельності; фенотипова структура комах; рівень асиметрії білатеральних морфологічних ознак; статева структура популяцій; просторовий розподіл комах у біоценозах; сезонна динаміка імаго; внутрішньовидові розміри тіла комах; спектр життєвих форм; чисельність екологічних груп в угрупованні комах за біотопічним преферендумом; індекс угруповань модельної групи комах; виявлення основних груп комах за відношенням до фактора антропогенного впливу.

При доборі комах як модельних об'єктів ентомобіоіндикації керуються загальноприйнятими вимогами до організмів-біомоніторів – добра вивченість виду та внутрішньовидових таксонів, широкий ареал, низька міграційна активність, антисинантропність, висока індикаційна пластичність виду, простота збирання у природі, достатня кількість для відбирання серії проб.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Якими анатомо-морфологічними відхиленнями організми реагують на стрес?
2. Назвіть характерні патологічні прояви тварин, як реакція на стрес.
3. Які морфологічні ознаки рослин використовуються при проведенні фіто-зооіндикаційних досліджень?
4. Які критерії для добору фіто-зооіндикаційних показників використовуються на тканинному та організмовому рівні?
5. Назвіть макроскопічні зміни морфології рослин.
6. Якими факторами навколишнього середовища може бути викликано зміна забарвлення тіла тварин?
7. Які біоіндикаційні ознаки на рівні організму більш показові?
8. Назвіть види ссавців, що найчастіше використовуються у біоіндикації.
9. Сформулюйте принципи проведення ентомоіндикації.

### **✍** *Практичні завдання*

1. Основний канал потрапляння Sr-90 у ґрунт – радіоактивні опади з атмосфери. Якщо його концентрацію в ґрунті прийняти за 1, то через здатність



концентруватися при русі по трофічних ланцюгах концентрація Sr- 90 у злаках складе близько 27 одиниць, а в м'ясі корів близько 500 одиниць. Оцініть зміст Sr-90 у людей, що харчуються м'ясом корів (у відносних одиницях).

2. Оцініть концентрацію ДДТ та його метаболітів у щуці, якщо їх сумарна концентрація у річковій воді дорівнює 0,000005 мг/л, а коефіцієнт акумуляції ДДТ і його метаболітів у трофічних ланцюгах у середньому близький до 100.

3. За добу людина споживає в середньому 430 г  $O_2$ . Одне дерево, середніх розмірів, за вегетаційний період поглинає близько 42 кг  $CO_2$ . На скільки діб вистачить людині кисню, продукovanого одним деревом за вегетаційний період?

**Рекомендована література:** основна [1; 2]; додаткова [2; 3; 4]; інформаційні ресурси [2; 4].

## **Тема 6. Фіто- зооіндикація на вищих ієрархічних рівнях: популяція, екосистема, біоценоз**

**Мета:** набути знань щодо оцінки екологічного стану навколишнього середовища на вищих рівнях існування живої матерії – популяційному, екосистемному та біоценотичному.

### **План**

1. Популяційний рівень: добір показових видів; показники популяційного рівня; вплив антропогенних стресорів на динаміку популяцій; вплив антропогенних стресорів на характер поширення рослин і тварин.

2. Фіто- зооіндикація на екосистемному та біоценотичному рівні.

**Основні поняття:** екосистема, біоценоз, популяція, екотип, показові ознаки екосистемного рівня, метод комплексної біоіндикації.

### **Методичні рекомендації**

**1. Популяційний рівень: добір показових видів; показники популяційного рівня; вплив антропогенних стресорів на динаміку популяцій; вплив антропогенних стресорів на характер поширення рослин і тварин.** Як зазначалося раніше, об'єктом фіто- зооіндикаційного спостереження може бути будь-яка група організмів: від мікрофлори до мегафауни.

При опрацюванні першого питання слід звернути увагу на показники популяційного рівня: ростові показники, зміна плідності особин, що входять у популяцію, розподіл і різноманіття видів, структура популяції, біомаса, видове різноманіття число вищих таксонів, вплив на динаміку рослинних популяцій. Антропогенні стресори можуть впливати на всі ознаки рослинних популяцій. Найбільше відчутно реагує продуктивність, яка може багаторазово зрости в результаті ослаблення конкурентних видів. Змінюються також показники народжуваності і смертності, а у результаті щільність популяції (число особин/площа). Популяції з малою чисельністю особин знаходяться під особливо великою загрозою. У відповідь на антропогенне порушення відбувається розширення або скорочення ареалу популяції. У крайньому разі це може призвести до зникнення популяції і до вимирання виду. Дуже важливий, для фіто- зооіндикації, добір стійких екотипів до дії антропогенних стресорів.

Фітоіндикаційне значення має той факт, що в короткий термін (один або декілька вегетаційних періодів) відбувається витиснення нестійких і поширення стійких екотипів.

**2. Фіто- зооіндикація на екосистемному та біоценотичному рівні.** Засвоєння матеріалу другого питання треба почати з визначення показових ознак екосистемного рівня: видовий склад, видове різноманіття; характер поширення виду; динаміка ареалу, у тому числі розширення ареалів синантропних видів;

популяційний аналіз (продуктивність, щільність, динаміка ареалу, вікова структура, смертність, внутрішньовидова диференціація, добір стійких екотипів).

Оцінка впливу забруднюючих речовин на екосистемному рівні зводиться до використання даних, отриманих на рівні популяції або угруповання. Структурною основою екосистеми є неорганічні й органічні речовини, фактори середовища (температура, світло, вітер і ін.), продуценти, консументи та редуценти. Складні взаємозалежні процеси функціонування екосистеми здійснюються внаслідок потоку енергії, харчових ланцюгів, колообігу поживних речовин, зміни різноманіття, розвитку й еволюції в часі і просторі, ефективним виявилось попереднє виявлення таких ланок екосистем, по якому можна судити про стан екосистем.

Далі треба розглянути переваги методу комплексної біоіндикації, який полягає в комбінації фіто- й зооіндикаторів на різних системних рівнях.

*Метод комплексної біоіндикації* має кілька послідовних етапів:

Перший – виявлення структури території по фізико-географічних і економіко-географічних факторах, виявлення антропогенного впливу і на основі цього – визначення подібних географічних одиниць.

Другий – визначення мережі ключових ділянок і їх характеристик. Для різних типів екосистем необхідно мати кілька однотипних ключових ділянок, що відрізняються лише ступенем антропогенного впливу.

Третій – вибір індикаторів і біоіндикаційні дослідження обраних індикаторів, проводяться протягом трьох років три рази в рік – навесні, влітку і восени, щоб виявити не тільки стан індикаторів, але і динаміку їх змін.

Четвертий – збір додаткової інформації про стан ґрунту, води і господарську діяльність людини.

П'ятий – оцінка стану навколишнього середовища.

Комбінацією різних фіто- і зооіндикаторів на двох системних рівнях можна оцінити поступові й малі зміни в стані екосистем. І при чіткому наборі характерних для території, що досліджується, ключових ділянок можна оцінити більш великі географічні одиниці та скласти карту стану навколишнього середовища.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Назвіть фіто- зооіндикаційні показники популяційного рівня.
2. Поясніть значення фіто- зооіндикації на популяційному рівні.
3. Які показові ознаки екосистемного рівня Вам відомі?
4. Схарактеризуйте метод комплексної біоіндикації.
5. Назвіть індикаційні ознаки зооіндикаторів на екосистемному рівні.

*Практичні завдання*

1. Які речовини обумовлюють солоність морської та океанічної води, яка містить 35‰, або 3,5%? Яка їх роль для рослинних і тваринних організмів?

2. Проаналізуйте значення дихання у колообігу вуглецю за наступними даними, тис. т/рік: дихання рослин – 50; тварин – 4,1; людей – 0,7.

3. У наш час в атмосфері міститься 1,2·10<sup>15</sup> т кисню. Біологічні потреби населення планети у кисні (дихання) оцінюються у 2 млрд м<sup>3</sup>/добу, а техносфера, створена людиною, поглинає кисню близько 60 млрд м<sup>3</sup>/добу (без урахування спалювання викопного палива). Щорічно внаслідок спалювання викопного палива в атмосфері накопичується ΔC = 5 Гт вуглецю. Оцініть проміжок часу, через який вміст кисню в атмосфері зменшиться на 1 % за збереження нинішньої тенденції розвитку людства. Густина кисню при нормальних умовах становить 0,0014 г/см<sup>3</sup>.

**Рекомендована література:** основна [1; 2]; додаткова [1; 2; 4]; інформаційні ресурси [1-4].

## Змістовий модуль 3. Методи індикації природних екосистем

### Тема 7. Дендроіндикація

**Мета:** опанувати основні положення дендроіндикації, визначити роль судинних рослин як індикаторів забруднень довкілля.

#### План

1. Використання судинних рослин у якості фітоіндикаторів.
2. Критерії добору рослин для використання у якості фітоіндикаторів.
3. Рослини-індикатори і рослини-монітори. Оцінювання реакції рослин на забруднення.
4. Адаптація рослин до умов техногенного забруднення.

**Основні поняття:** дендроіндикація, реєструвальна фітоіндикація, фітоіндикація за акумуляцією, рослина-індикатор, рослина-монітор, загальний адаптаційний синдром, адаптація.

#### Методичні рекомендації

**1. Використання судинних рослин у якості фітоіндикаторів.** Вивчення цього питання треба почати з розуміння того, що стійкість екосистеми визначатися станом видів – едіфікаторов природного угруповання, від стану яких залежить його подальше існування. Для лісових екосистем такими об'єктами є деревні рослини. Для біоіндикації вибирають найбільш чутливі до досліджуваних факторів біологічні системи або організми. Для дерев найкращим вегетативним органом вважається лист рослини. При антропогенних впливах в листі відбуваються морфологічні зміни (поява асиметрії, зменшення площі листової пластини). Гарними фіто- зооіндикаторами в місті є листя берези, дерева з високими поглинаючими якостями.

За допомогою рослин можна проводити фітоіндикацію усіх природних середовищ. Індикаторні рослини застосовуються при оцінюванні механічного і кислотного складу ґрунтів, їх родючості, зволоженості та засолення, ступеню мінералізації ґрунтових вод і ступеню забруднення атмосферного повітря газоподібними сполуками, а також при виявленні трофічних властивостей водойм і ступеню їхнього забруднення поллютантами. Наприклад, на вміст у ґрунті свинцю вказують види костриці (*Festuca ovina*), мітлиці (*Agrostis tenuis*), Цинку – відділ фіалки (*Viola tricolor*), талабану (*Thlaspi alpestre*), Купруму та Кобальту – смольовка (*Silene vulgaris*), багато злаків та мохи.

Необхідно розуміти, що чутливі індикатори вказують на присутність забруднюючої речовини в повітрі або в ґрунті ранніми морфологічними реакціями – зміною забарвлення листя (поява хлорозів; жовте, буре чи бронзове забарвлення), різні форми некрозів, передчасним в'яненням та опаданням листя. У багаторічних рослин забруднюючі речовини викликають зміну розмірів, форму та кількість органів, напрямок росту пагонів або зміну плодючості.

Подібні реакції зазвичай неспецифічні.

## **2.Критерії добору рослин для використання у якості фітоіндикаторів.**

На початку вивчення питання треба визначити потреби, які повинен задовольняти ідеальний фіто- зооіндикатор: бути типовим для даних умов; мати високу чисельність в досліджуваному екотопі; мешкати в даному місці й упродовж багатьох років, що дає можливість простежити динаміку забруднень; знаходитись в умовах, які зручні для відбору проб; давати можливість проводити прямі аналізи без попереднього концентрування проб; характеризуватися позитивною кореляцією між концентрацією забруднюючих речовин в організмі-індикаторі і об'єкта дослідження; використовувати в природних умовах цього існування; має короткий період онтогенезу, щоб була можливість відстежувати вплив чинника на наступні покоління.

Потім треба схарактеризувати критерії вибору біоіндикатора: швидка відповідь; надійність (помилка <20 %); простота; моніторингові можливості (постійно присутній в природі об'єкт).

Далі визначити види методів фіто- зооіндикації: реєструвальна біоіндикація і біоіндикація за акумуляцією.

Реєструвальна біоіндикація дозволяє робити висновок про вплив чинників середовища за станом особин виду або популяції, а біоіндикація за акумуляцією використовує властивість рослин накопичувати ті чи інші хімічні речовини.

Накопичувальні індикатори концентрують забруднювальні речовини в своїх тканинах, певних органах і частинах тіла, які надалі використовуються для визначення ступеня забруднення навколишнього середовища за допомогою хімічного аналізу.

Дуже часто з метою біоіндикації використовують різні аномалії росту і розвитку рослин – відхилення від загальних закономірностей. Вчені систематизували їх у три основні групи, пов'язані: з гальмуванням чи стимулюванням нормального росту (карликовість і гігантизм); з деформацією стебел, листя, коренів, плодів, суцвіть; з виникненням новоутворень (до цієї групи відносять аномалії росту, а також пухлини).

**3.Рослини-індикатори і рослини-монітори. Оцінювання реакції рослин на забруднення.** З початку треба визначитися, що за особливостями реакції на вплив забруднювачів рослини поділяють на рослини-індикатори й рослини-монітори. Рослина-індикатор – рослина, у якої ознаки ушкодження виявляються при впливі фітотоксичної концентрації забруднюючих речовин або їх суміші. Рослина-індикатор є хімічним сенсором, який може виявити в повітрі присутність забруднюючої речовини, але спостереження за нею не дають змоги отримати дані про її кількість.

Зважаючи на важливість кількісної оцінки, особливо інформативними є організми, які у певний спосіб реагують саме на кількість забруднювача у довкіллі, тобто рослини-монітори.

Рослина-монітор – рослина, за ознаками ушкодження на якій можна

отримати інформацію про кількість забруднюючих речовин або їх суміші у довкіллі.

Далі доцільно навести приклади використання живих об'єктів як індикаторів і моніторів.

Наприкінці вивчення питання треба звернути увагу на те, що для того, щоб індикатор став монітором, тобто міг інформувати про якісні і кількісні характеристики забруднювача, необхідно визначити і використати залежності між реакцією рослин на забруднення і концентрацією цієї речовини в навколишньому середовищі. Для цього використовують три основні способи: 1) зіставлення ступеня ушкодження, спричиненого забруднюючою речовиною, із відомою концентрацією забруднюючої речовини у довкіллі; 2) використання рослини як живого колектора (накопичувача забруднюючих речовин);

3) вимірювання кількості забруднюючої речовини або метаболітів (новоутворених речовин), які з'явилися в рослинних тканинах після дії забруднювача, і зіставлення отриманих значень з концентрацією забруднюючої речовини в повітрі.

**4. Адаптація рослин до умов техногенного забруднення.** На початку опрацювання питання треба визначитись з поняттям стресу у фіто-зооіндикації. Стрес, або загальний адаптаційний синдром, – це необхідна ланка неспецифічної реакції організму, складник та етап його адаптації до умов життя, компонент нормальної життєдіяльності, фактор збереження гомеостазу. Адаптаційні властивості рослин багато дослідників пов'язують з особливостями складу та метаболізму ліпід-пігментних компонентів фотосинтетичних мембран. Якщо адаптація до стресу на цьому рівні можлива, то не завжди зрозуміло, чи біохімічні зміни ліпідів являють собою частину загальної адаптивної реакції організму, чи лише короткочасну відповідь на дію стресора.

Далі треба докладно розглянути стадії адаптаційного синдрому: тривога, коли розвивається гальмування великої кількості процесів; адаптація, коли відбувається пристосування до даного стресора; виснаження, якщо адаптивний потенціал особини недостатній для подолання впливу даного стресора.

Відомо, що теорія стресу дозволяє не витратити зусилля на кількісне порівняння інтенсивності різних стресорів. Оцінити будь-який несприятливий чинник як стресор можна опосередковано, через інтенсивність реакції на нього. Будь-який фактор можна назвати стресором лише в тому випадку, якщо в результаті розвивається відповідь організму на його дію.

Наступна складова – типи адаптаційного процесу: еволюційна адаптація – ґрунтується на утворенні нової генетичної інформації, яка, своєю чергою, визначає нові адаптивні фенотипні ознаки; аклімація та акліматизація – процеси пристосування відбуваються впродовж життєвого циклу організму і тривають від кількох годин до кількох місяців; миттєва адаптація – це пристосувальні процеси, які відбуваються в організмі одразу після дії подразника; компенсаторна адаптація – реакція організму, направлена на формування зворотних змін, спрямованих на відновлення до контрольного рівня його

функціональних спроможностей.

Наприкінці вивчення питання треба опанувати механізми формування загального адаптаційного синдрому рослин, до яких відносять неспецифічні реакції ліпідного та пігментного комплексів фотосинтетичних мембран, нейтралізацію вільних оксидних радикалів антиоксидантними системами, осморегуляцію, продукування абсцизової кислоти (АБК), жасмонатів, шаперонів, білків теплового шоку та ін. Важливе значення для аналізу взаємодії рослин з умовами середовища, а також для дослідження їх адаптації до факторів посухи має вивчення фізіологічних функцій – фотосинтезу, дихання, транспорту асимілятів тощо. Досліджені функції дають надзвичайно цінну інформацію про шляхи реалізації адаптивного потенціалу рослин у конкретних умовах існування, однак через високу лабільність фізіологічні процеси важко інтерпретувати за умов багатфакторного впливу складників ґрунтово-кліматичної системи на рослину. Для розуміння принципів організації біологічних систем необхідно застосовувати порівняльний підхід до проблеми адаптації, адже специфічність пристосувальних процесів не є абсолютна і будь-який вплив несприятливих умов довкілля викликає комплекс відповідних захисних реакцій, частина яких має загальний характер, а частина – специфічний.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Які особливості судинних рослин використовуються у біоіндикації?
2. Які потреби повинен задовольняти ідеальний біоіндикатор?
3. Чим відрізняються рослини-індикатори від рослин-моніторів?
4. Що таке загальний адаптаційний синдром?
5. Назвіть та охарактеризуйте стадії адаптаційного синдрому.
6. Назвіть типи адаптивного процесу.
7. Розкрийте механізм захисту від наслідків дії екстремальних факторів.

### **✍** *Практичні завдання*

1. На думку фахівців, з нафти, що потрапила у воду (густина нафти дорівнює  $0,87 \text{ т/м}^3$ ), тільки 55% випаровується і біохімічно розкладається за першу добу, а нафта, що залишилася, – 45%, деградує повністю лише за 10 років. У середньому, у Світовий океан щорічно надходить 2,3 млн тонн нафти. Оцініть кількість нафтопродуктів, що накопичуються у Світовому океані за рік.

2. Щорічні втрати оброблюваних земель становлять  $50000 \text{ км}^2$ . На частку сільськогосподарських угідь припадає близько 10% від усього земельного фонду планети. Підрахуйте, через скільки років сільськогосподарські угіддя можуть деградувати повністю. В оцінках прийняти, що радіус Землі становить 6370 км, а на частку суші доводиться  $1/3$  від усієї площі поверхні Землі.

3. Оцініть наслідки для популяції коропа у замкненому водоймищі, якщо у нього почали скидати стічні води крохмально-патокового заводу. У стічних



водах міститься 60 мг/л цукрів ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ). Потужність скидання за контрольний період склала 1000 м<sup>3</sup>. Рівноважна концентрація O<sub>2</sub> у водоймищі до скидання стічних вод – 9 мг/л, об'єм водоймища – 10000 м<sup>3</sup>. Для нормальної життєдіяльності риби необхідно мінімум 3 мг/л кисню.

4. При розгляданні планів реконструкції парку, у якому росло багато старих лип, ялин і тополь, було запропоновано значно оновити віковий склад дерев внаслідок вибіркового видалення старих і підсадження нових. Екологи виступили проти таких планів. Вони дали згоду тільки на видалення частини сімдесятирічних тополь. Чим керувалися екологи? Які аргументи вони навели?

**Рекомендована література:** основна [2,3]; додаткова [2; 3]; інформаційні ресурси [1, 4].

## Тема 8. Ліхеноіндикація та бріоіндикація

**Мета:** розглянути особливості використання мохів та лишайників у фітоіндикації.

### План

1. Характеристика мохів та лишайників як об'єктів фітоіндикації.
2. Характеристика видів забруднень, що визначаються за допомогою мохів та лишайників.
3. Історія використання мохів і лишайників у якості фітоіндикаторів.

**Основні поняття:** ліхеноіндикація, бріоіндикація, мохи, лишайники, ліхенофлора, епіфіти, індекс чистоти повітря.

### Методичні рекомендації

**1. Характеристика мохів та лишайників як об'єктів біоіндикації.** При опрацюванні цього питання треба почати з вивчення морфологічних особливостей мохів, що дозволяють їх використовувати у якості фітоіндикаторів. Далі треба приділити увагу екологічним особливостям мохів та їх фітоіндикаційним ознакам.

Як індикатори забруднення наземних екосистем успішно використовуються мохи, які здатні накопичувати потенційно токсичні елементи. Внаслідок фізіологічних особливостей, вони поглинають мінеральні речовини як з повітряного середовища, так і з гумусового шару ґрунту. Тому мохи застосовують для оцінки атмосферного забруднення, а також для тестування стану верхнього шару ґрунтового покриву. Як індикатори важких металів використовують епіфітні бріофіти *Hypnum revolutum* (Mitt.) Lindb., *Distichium capillaceum*, *Orthotrichum fallax*. Широко використовують і епігейні види: *Dicranum scoparium*, *Pottia bryoides*, *Tortula inermis* (Brid.) Mont., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G., *Pohlia nutans*, *Pleurozium schreberi*, *Funaria hygrometrica* та багато інших.

Друга частина питання присвячена вивченню лишайників, як об'єктів фітоіндикації. Треба вивчити особливості будови лишайників, їх екологічне значення, історію розвитку ліхеноіндикації та вчених, що досліджували цю проблему. Ліхеноіндикація – один з найважливіших і корисних методів екологічного моніторингу. Однак цей метод не завжди застосовують. Річ у тому, що лишайники, як і будь-які живі організми, відчувають зміни навколишнього середовища. Тому в природі часто не можна установити конкретну причину тих або інших ушкоджень лишайників. Простий вплив температури або вологості може перебивати вплив забруднення, особливо якщо концентрація забруднюючих речовин невелика.

Стосовно забруднення повітря види лишайників та мохів можна розділити на три категорії: 1) низько чуттєві, що зникають при перших симптомах забруднення; 2) середньочуттєві, що приходять на зміну загиблим чуттєвим

видам, з якими вони не могли конкурувати, поки повітря було чистим; 3) самі витривалі, толерантні до забруднення.

Припустимо, потрібно скласти опис епіфітних лишайників у якому або парку. Для цього, рухаючи по алеї, описують ті лишайники, що ростуть по обох її сторонах на спробних майданчиках, на кожному п'ятому (або третім або десятому) дереві. спробний майданчик обмежується на стовбурі дерев'яною рамкою, наприклад розміром 10×10 см, що розділена усередині тонкими дротиками на квадратики по 1 см<sup>2</sup>. Відзначають, які види лишайників зустрілися на ділянці, який відсоток загальної площі рамки займає кожен зростаючий там вид. Крім того, відзначають життєздатність кожного зразка: є чи в нього плодове тіла, здорова або хирлява слань. На кожному дереві описують мінімум чотири спробні майданчики: дві в підстави стовбура (з різних його сторін) і дві на висоті 1-1,5 м. У цілому по алеї виходить значне число описів, а по всьому парку – і того більше. Одні карти відбивають присутність якогось одного виду лишайників на даній території, інші подають додаткову інформацію про його достаток у різних крапках, на третіх позначена кількість видів лишайників, що виростають у зоні дослідження.

**2. Характеристика видів забруднень, що визначаються за допомогою мохів та лишайників.** З'ясувавши фітоіндикаційні особливості мохів та лишайників далі, логічно з'ясувати як їх використовують у фітоіндикації. Мохи здатні накопичувати в своєму організмі широкий спектр техногенних поллютантів: від органічних речовин, включаючи пестициди, до важких металів і радіонуклідів. Вміст важких металів в зелених надґрунтових мохах тісно пов'язане зі змістом цих елементів у верхньому шарі ґрунту. У порівнянні з епіфітами, надґрунтові види менш придатні для оцінки вмісту важких металів в атмосфері.

Мохи є індикаторами особливостей місцезростань, вказують на певні якості цих місцезростань, на динамічні процеси, що відбуваються у ценозах. Так, *Syntrichia caninervis* Mitt. є індикатором вапнистих субстратів, *Polytrichum piliferum* Hedw. вказує на вкрай ксерофітні умови середовища, тому при вивченні цього питання необхідно приділити увагу характеристиці мохів, в залежності від умов зростання та видам, які є індикаторами того чи іншого середовища існування.

Після з'ясування вищезазначених питань, треба перейти до розгляду лишайників. До індикаторів пилового забруднення належать листоваті лишайники – представники родів феофісія (*Pheophyscia orbicularis*), фісія (*Physcia stellaris*, *Ph. adscendens*, *Ph. tenella*), ксанторія, або золотянка (*Xanthoria parietina*), масюкієлла (*Massjukiella polycarpa*) та оксерія гуцульська (*Oxneria huculica*), а також накипний лишайник леканора Хагена (*Lecanora hagenii*). Групу видів лишайників та мохоподібних, поширених у непорушених людською діяльністю лісових масивах, називають індикаторами старих лісів, або індикаторами пралісів. Для індикації кислотного забруднення повітря застосовують групу лишайників дуже чутливих до кислот. забруднювачів

(сірчистого ангідриду, оксидів вуглецю, азоту, аміаку тощо) кущистих та середньочутливих листуватих лишайників, а також низку токситолерантних накипних видів. Високочутливими індикаторами кислот. забруднення повітря є лишайники родів рамаліна (*Ramalina*), уснея (*Usnea*), бріорія (*Bryoria*), евернія (*Evernia*), псевдевернія (*Pseudevernia*), анаптихія (*Anaptychia*), які повністю зникають в осередках з підвищеним вмістом вказаних забруднювачів. Їх можна виявити на околицях великих міст або на територіях, значно віддалених від промислових підприємств. До цієї ж групи індикаторів належать середньочутливі до атмосферного забруднення листуваті лишайники (*Parmelia sulcata*, *Hypogymnia physodes*). На відміну від кущистих та листуватих, накипні види стійкі до кислот. забруднення атмосфери. Прикладом таких видів є *Lecanora conizaeoides* та *Scoliciosporum chlorococcum*. Виникнення *Lecanora conizaeoides* пов'язують з першою індустріальною революцією в Європі. Обидва види суттєво поширилися в Україні у 2-й половині 20 ст.

### **3. Історія використання мохів і лишайників у якості фітоіндикаторів.**

При опануванні цього питання основну увагу треба приділити вченим, що запропонували використовувати лишайники у якості фітоіндикаторів, та розглянути методики, які у різний час були запропоновані у ліхеноіндикації.

Уперше зникнення лишайників задокументував А. Ньюландер 1866 у Парижі. Це дало йому підстави назвати їх гігієнометрами. В Україні зміни лишайник. покриву зареєстрував Г. Шпек (1870) в околицях Харкова. У 1920-х рр. Р. Сернандер уперше виділив ліхеноіндикаційні зони в місті, зокрема так звану зону пустелі, зону боротьби та зону слабого впливу. 1968 у Великій Британії створено біоіндикаційну шкалу, за якою на основі даних про лишайникові угруповання можна визначити рівні забруднення повітря SO<sup>2</sup> (від 30 до 170 мг/м<sup>3</sup>).

У 1960-і рр. запропоновано декілька індексів. Індекс чистоти повітря (ІЧП) – синтетичний показник, який розраховують на основі вивчення угруповань епіфітних лишайників (зростають на корі дерев) у населених пунктах та індустріальних регіонах для порівняльного оцінювання стану атмосферного повітря. Його розробили канадські дослідники Де Слугер та Ле Блан у 1967 році.

В Україні підхід ліхеноіндикаційного картування застосований в Луцьку, Львові, Івано-Франківську, Рівному, Тернополі, Чернігові, Запоріжжі, Дніпрі, Полтаві та ін.

Визначення класу полеотолерантності потребує наявності відомостей щодо екології лишайників у природних та антропогенно змінених екосистемах даного регіону. У зв'язку з цим індекс використано лише в Естонії та деяких інших регіонах. У цілому в Україні оцінювання стану атмосферного повітря за допомогою лишайників, зокрема індексів чистоти повітря та його модифікованого варіанта, проведено наприкінці 1980-х і в 1990-і рр. у Львові, Харкові, Києві, Луцьку, Івано-Франківську, Рівному, Тернополі, Чернігові, Запоріжжі та ін., а також на територіях, що прилягають до промислових об'єктів Івано-Франківська та Львівської області.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Як лишайники та мохи використовують як індикатори забруднення навколишнього середовища?
2. Які види забруднень можна визначити за допомогою мохів та лишайників?
3. Охарактеризуйте внесок українських учених у бріо- та лишеноіндикацію.
4. Назвіть групи лишайників, що використовуються для індикації забруднення атмосферного середовища.

### *✍ Практичні завдання*

1. Характерна особливість лишайників – дуже повільний ріст. Виміри засвідчили, що накипний лишайник, який росте на скелі, щороку збільшується в діаметрі на 0,25 мм. Визначте вік лишайнику, якщо його діаметр досягає 8,5 см.
2. Була створена ділянка для парку. Проаналізувавши площу лишайників на деревах, екологи запропонували створити навколо них лісосмугу. Чим вони керувалися?
3. Проаналізувавши стан лишайників у центральному парку міста, екологи запропонували провести значне озеленення території навколо. Чим вони керувалися?

**Рекомендована література:** основна [2]; додаткова [2; 3]; інформаційні ресурси [1; 4].

## **Змістовий модуль 4. Фіто- та зооіндикація забруднення атмосферного повітря, водного середовища та ґрунтового покриву**

### **Тема 9. Фіто- зооіндикація забруднення атмосферного повітря**

**Мета:** систематизувати знання щодо методів фіто- зооіндикації забруднення атмосферного повітря.

#### **План**

1. Фітоіндикація забруднення атмосфери за допомогою рослин.
2. Газостійкість і газочутливість рослин.
3. Оцінка реакції рослин на забруднення атмосфери.
4. Добір і підготовка біологічних об'єктів для фітоіндикації атмосферного повітря.

**✍ Основні поняття:** гостре та хронічне ушкодження рослин, газостійкість, газочутливість рослин, ушкодження листя, проби рослин.

#### **Методичні рекомендації**

**1. Фітоіндикація забруднення атмосфери за допомогою рослин.** На початку вивчення теми, треба з'ясувати: оскільки рослини в цілому володіють відносно високою чутливістю до дії деяких забруднюючих речовин, то їх можна використовувати як індикаторів для виявлення забруднення і визначення його рівня, а також при здійсненні моніторингу стану забруднення атмосфери.

Далі треба прояснити при яких умовах доцільно використовувати фітоіндикацію у програмі моніторингу атмосферного повітря: вплив повинен призводити до помітної реакції рослини на забруднення повітря; ефекти впливу повинні добре відтворюватися при використанні рослин генетично подібних популяцій, що гарантує репрезентативність результатів; ефекти впливу повинні характеризуватися специфічними симптомами, властивими впливу індивідуальних забруднюючих речовин; рослини повинні бути дуже чутливими навіть до надзвичайно низьких концентрацій забруднюючих повітря речовин; рослини повинні добре рости і бути стійкими до захворювань, впливу комах.

Далі, треба розглянути приклади ефектів гострого та хронічного впливу забруднення атмосфери на рослини.

Для біологічного моніторингу ефектів забруднення повітря придатні як дикорослі, так і культурні види рослин. Проте різниця в складі ґрунтів, ґрунтових вод та інші фактори (включаючи кліматичні) можуть вплинути на ефекти впливу забруднення повітря, що спостерігаються в різних районах. Через це доцільно вибирати такі індикаторні або акумулюючі види рослин, умови зростання яких найбільш схожі.

**2. Газостійкість і газочутливість рослин.** Почати вивчення другого питання треба з визначень газостійкості та газочутливості. *Газостійкість* – здатність зберігати властиві організму процеси життєдіяльності і насінневого відтворення в умовах забруднення газами і парами атмосферного повітря. Рівень

газостійкості виду або особини оцінюється у розмірі граничних концентрацій токсичної речовини, які не викликають функціональних і структурних порушень в організмі в період найвищої фізіологічної активності і чутливості до наявних атмосферних домішок. *Газочутливість* – реакція організму на вплив забруднюючої речовини в певний період його розвитку. У біоіндикаційних дослідженнях необхідно враховувати систематичну приналежність видів і зміна ступеня їх газостійкості.

Далі треба розглянути основні індикаторні ознаки, що відображають стресове навантаження та схарактеризувати їх, це: зміна активності ферментів; руйнування пігментів в листках рослин під дією аеротехногенного забруднення: добре вивчено зниження кількості хлорофілу, перш за все хлорофілу «а». Як індикатор використовується зміна співвідношення хлорофіл «а» / хлорофіл «b»; зміна кількості і співвідношення каротиноїдів: при впливі SO<sub>2</sub> збільшується вміст лютеїну і зменшується кількість р-каротину; передчасна поява гормонів старіння – етилену і абсцизової кислоти; зміна мінерального обміну.

**3.Оцінка реакції рослин на забруднення атмосфери.** При опануванні третього питання основну увагу треба приділити поняттю «доза – реакція», методам аналізу ушкодження листової пластинки, та тому, як проводиться аналіз отриманих даних. За допомогою лінійних графіків можна відобразити залежності ушкодження листя від періоду дії дози забруднюючої речовини. Ці криві можна порівняти з кривими «доза – реакція», отриманими в лабораторних умовах. У такий спосіб можна визначити якісний склад повітря протягом визначеного періоду й установити вид забруднюючої речовини або склад суміші. Визначений метод кількісної оцінки обирають у залежності від рослинного матеріалу, що забруднює речовини й обмірюваних параметрів.

Ступінь ушкодження трав'янистих рослин з'ясовують візуально, визначаючи площу (у відсотках) ушкодженої поверхні листя. У випадку спостереження за хвойними рослинами оцінюють довжину голок, їхній колір і форму, вік хвої, кількість ушкоджених голок на галузі (у відсотках).

Результати спостережень можна об'єднати в дві групи: площа ушкодженої листової поверхні (у відсотках); площа нових ушкоджень кожної рослини за визначений період часу. Якщо рівень забруднення визначається по обсягу поглинання забруднюючої речовини, з'ясовують кількість забруднюючої речовини або кількість метаболітів, викликаних поллютантом. Рослинколектори можна успішно використовувати для моніторингу важких металів. Метали не тільки накопичуються в листі лишайників, а і поглинаються їх тілом і акумулюються в тканинах. Висушивши, зваживши й здійснивши хімічний аналіз тканини зібраних рослин, можна визначити кількість металу, що був поглинений.

**4.Добір і підготовка біологічних об'єктів для біоіндикації атмосферного повітря.** В цьому питанні треба з'ясувати умови, які висуваються до проведення

доборів рослинного матеріалу та методики за якими вони здійснюються. Типова методика наведена нижче.

Отримання усереднених зразків матеріалів рослинного походження (сформованих з 5 – 6 разових проб) є складним завданням, що потребує правильного обрання місця, способу і часу. Рослинні зразки слід збирати на достатньо великій відстані від будівель, доріг і джерел забруднюючих речовин. Досліджувану ділянку умовно розділяють на кілька квадратів, з кожного рівномірно відбирають рослинний матеріал (листя, стебла, кору) в необхідній кількості. Паралельно з відбором проб проводять біологічний облік відібраних рослин (висота рослин, кількість пагонів на одній рослині, фази розвитку).

Пробу рослин (цілі або окремі частини) збирають у першій половині дня при сухій погоді. На ранніх стадіях розвитку (2-3 листи) в ній може бути не менше 10 рослин з одного гектара; для гречки, гороху, зернових – 25; у високорослих рослин беруть нижні, добре розвигі листки (не менше 50 рослин). Проба повинна бути репрезентативною, тобто забезпечувати відповідність її хімічного складу хімічному складу матеріалу, що аналізується (наприклад, кількість рослинного матеріалу квітів – 300 м, здрібноеного листя і трави – 200 м, трави – 400-600 м, кори і коренів – 600-650 г).

Паралельно з добром проб проводять біологічний облік відібраних рослин (висота рослин, кількість утєч на одній рослині, фази розвитку). Аналізи рослинних зразків проводять відразу, або зберігають них у холодильнику. Призначений для аналізу рослинний матеріал очищують від піску, землі й інших механічних домішок. Після цього листки, плоди й насіння обов'язково просушують до повітряно-сухого стану (крім випадків, коли необхідно зробити аналіз рослинного зразка в сирому виді), пробу гомогенізують (подрібнюють). Сирі рослинні матеріали подрібнюють у міксері або іншому гомогенізаторі, використовуючи чистий скляний посуд і зроблене з нержавіючої сталі дробильне оснащення.

Зразки біологічного походження перед аналізом, зазвичай, мінералізують сухим (спалювання органічної речовини за вільного доступу повітря, у результаті чого залишаються мінеральні елементи переважно у виді оксидів металів) або вологим (озолування органічної речовини розчинами кислот, унаслідок чого виходить розчин з мінеральними речовинами) методами. Щоб при сухій мінералізації (озолєнні) не втратити летючі компоненти, рослинний зразок нагрівають до температури не вище 450°C. Оскільки при цьому в більшості випадків не вдається цілком позбутися органічних компонентів, до золи додають концентровану азотну кислоту і випарюють насухо.

Для позбавлення від залишків вуглецю використовують метод випарювання із соляною кислотою на піщаній лазні. Елементи мінерального залишку визначають за допомогою визначених хімічних реакцій. У деяких випадках застосовують метод мінералізації зразка вологим способом за допомогою таких речовин, як азотна кислота, азотна кислота і соляна кислота з добавкою перекису водню, сірчана кислота і соляна кислота.



У досліджувану пробу доливають суміші кислот, залишають на визначений період до обвуглення рослинної маси. Після цього розчин підігрівують на слабкому вогні 5-7 хв до утворення однорідної коричнево-бурої маси, температуру озолення підвищують і продовжують його. Повне озолення триває 15-20 хв. Після його закінчення розчин прохолоджують, розбавляють дистильованою водою і визначають потрібні елементи, застосовуючи характерні для того або іншого елемента хімічні реакції.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Назвіть умови здійснення моніторингу атмосфери з використанням рослин.
2. Охарактеризуйте ефекти хронічної та гострої дії полутантів на рослини.
3. Яким чином використовуються вищі рослини у фітоіндикації атмосфери.
4. Розкрийте сутність поняття газостійкості рослин, його оцінка.
5. Охарактеризуйте газочутливість рослин як реакцію на забруднення.
6. Як проводиться добір об'єктів для біоіндикації атмосфери?

### *✍* **Практичні завдання**

1. Обчисліть величину ГДВ для газоповітряної суміші, що містить золу, з коефіцієнтом осідання частинок рівним 1, на території України. Висота джерела забруднення 35 м, діаметр – 1,4 м, швидкість руху газів – 2,6 м/с, їх температура – 125<sup>0</sup>С, температура навколишнього середовища – 25<sup>0</sup>С. ГДК для золи складає 0,05 мг/м<sup>3</sup>.

2. Зменшення товщини озонового шару на 1% через збільшення потоку УФ-випромінювання на 2% приводить до росту захворювань раком шкіри на 4%. Оцініть приріст захворювань раком шкіри до 2050 р. стосовно сьогодення, якщо середня швидкість виснаження озонового шару становить 0,224 % щорічно.

3. Середній час перебування SO<sub>2</sub> в атмосфері становить 5 діб. Оцініть швидкість його потрапляння в атмосферу, якщо середня концентрація SO<sub>2</sub> у тропосфері 0,05 мг/м<sup>3</sup>. В оцінюваннях прийняти: висота тропосфери – 11 км, радіус Землі – 6400 км.

4. Середній час перебування оксидів азоту у тропосфері дорівнює 4 доби. Оцініть вміст оксидів азоту у тропосфері, якщо сумарна швидкість емісії з антропогенних джерел становить, за експертними оцінюваннями, 110 млн т/рік.

**Рекомендована література:** основна [2, 3]; додаткова [2; 3; 6]; інформаційні ресурси [1- 4].

## Тема 10. Біоіндикація стану ґрунтового покриву

**Мета:** систематизувати знання щодо використання фіто- зооіндикаторів для оцінки стану ґрунтового покриву.

### План

1. Основні наслідки дії пилу і золи на природно-територіальні комплекси.
2. Зміна кислотності ґрунтів, рослини-індикатори кислотності ґрунтів.
3. Механічний склад ґрунтів, літоіндикатори.
4. Показники та індикатори ґрунтової родючості.
5. Загальне оцінювання ступеня забруднення ґрунтового покриву.

**Основні поняття:** природно-територіальний комплекс, ацидофіли, базифіли, нейтрофіли, літоіндикатори, петрофіти, псамофіти, галофіти, еугалофіти, глікогалофіти, галофоби, еврибіонти, стенобіонти, гігрофіти, мезофіти, ксерофіти, фреатофіти, омброфіти, трихогідрофіти, псамофіти, пелітофіти, алевритофіти, хасмофіти, петрофіти.

### Методичні рекомендації

**1. Основні наслідки дії пилу і золи на природно-територіальні комплекси.** При опрацюванні першого питання слід звернути увагу на те, що при оцінці екологічного стану навколишнього середовища величезну роль грає вивчення ґрунтового покриву.

Далі треба з'ясувати дію пилу і золи на ПТК у результаті якої відбувається наступне:

1. Осідання на надземні органи рослин і фоліарне поглинання, залучення доступних форм у біологічний круговорот.
2. Зміна фізичних і хімічних характеристик ґрунтів: зміна механічного складу; зміна загальної насиченості підставами (зрушення рН і т.д.); нагромадження токсичних речовин.
3. Водна міграція поллютантів і забруднення природних вод.
4. Кореневе поглинання рослинами, надходження в біологічний круговорот, міграція по ланцюзі харчування.

При роботі в конкретних умовах однієї з основних задач є виявлення регіональних фонових вмістів хімічних елементів, так званого регіонального тла. Саме порівняння вмістів поллютантів у фонових і антропогенно порушених місцеперебуваннях дозволяє дати якісну і кількісну оцінку характеру забруднення. Ґрунт складає єдину систему з її популяціями різних організмів, що населяють. У залежності від сполучення природних і антропогенних факторів ґрунти відрізняються складом біоти і спрямованістю біохімічних процесів. Різні показники мають тісний кореляційний зв'язок між собою і можуть використовуватися як біоіндикатори екологічного стану ґрунту.

Хімічний склад рослин, що одержують елементи мінерального харчування з ґрунтових розчинів, є важливим показником процесів, що відбуваються в екосистемі. Він залежить, насамперед, від вмісту хімічних елементів у навколишньому середовищі, ступені їхньої приступності рослинам, а також від виборчого їхнього поглинання в залежності від систематичної приналежності видів. Тому одним з важливих аспектів оцінки стану природного середовища стало вивчення стану ґрунтового покриву і визначення вмісту в ґрунтах забруднюючих речовин, у тому числі важких металів, радіонуклідів, та ін. Геохімічна оцінка стану навколишнього середовища складає невіддільну частину екологічних досліджень, на базі якої здійснюється верифікація реакцій біоти на стресові впливи й будується система методів фіто-зооіндикації.

## **2. Зміна кислотності ґрунтів, рослини-індикатори кислотності ґрунтів.**

Вивчення другого питання варто розпочати з визначення найважливіших характеристик ґрунтів. Однією з важливих характеристик ґрунтів є кислотність. Вона визначається змістом іонів  $H^+$  і  $Al^{3+}$  у ґрунтових розчинах. Лужна реакція ґрунтових розчинів характерна для солодій, що містять у ґрунтовогопоглинаючому комплексі  $Na$ . Нейтральна і близька до неї реакція середовища, оптимальна для розвитку більшості живих організмів, відзначається в чорноземах і дерено-карбонатних ґрунтах.

Далі необхідно приділити увагу екологічній класифікації рослин, щодо рН навколишнього середовища: ацидофіли; базифіли; нейтрофіли. Пов'язаність рослин з ґрунтами з визначеним значенням рН дає можливість використовувати рослинність як індикатор кислотно-лужних умов ґрунтових розчинів.

Індикаторна значущість видів дана при їх масовому виростанні. Біоіндикація процесів закислення, нейтралізації або підлужування ґрунтових розчинів проводиться з використанням фітоіндикаторів кислотності ґрунтів, а також зміни видового складу біоценозу і його динаміки в часі.

**3. Механічний склад ґрунтів, літоіндикатори.** При опрацюванні третього питання до уваги варто взяти пов'язаність певних видів рослин з механічним складом ґрунту (псамофіти, петрофіти), фізичних властивостей та літологічних особливостей ґрунтів.

Питання літоіндикації детально вивчалися багатьма вченими-геологами. У 1838 р. Ф. Унгер виділив рослини – кальцефіли і сілицефіли. Ледве пізніше, у 1841 р. А. Карпинський склав схеми рослин-індикаторів гірських порід, показавши зв'язок поширення не тільки окремих видів, але і їхніх угруповань із геологічним фундаментом. Успішно використовувалися літоіндикатори в практиці геологознімальних робіт П. А. Ососковим, Н. К. Висоцьким і ін.

У районах природного збагачення важкими металами виникають такі локальні флори, як мідна, кобальтова, галмейна (при надлишку цинку). На ультраосновних гірських породах різного ступеня серпентинизації, збагачених  $Mg$ , з різко зниженим співвідношенням  $Ca/Mg$  і збагаченням  $Ni$ ,  $S$  і  $Cr$ , формується специфічна серпентинітова флора. На мідних, кобальтових,

нікелевих родовищах, особливо в аридній зоні, формується металофітна флора, що складається зі специфічних видів, наприклад *Silene cobalticola*, *Thlaspi calaminare*, що акумулюють метали металофільних підвидів і різновидів, а також видів місцевої флори. Види металофітних флор адаптовані до екстремальних умов мінерального харчування і мають високу стійкість до важких металів.

**4. Показники та індикатори ґрунтової родючості.** При опрацюванні четвертого питання треба взяти до уваги що важливим показником екологічного стану ПТК є зміна природної родючості ґрунтів. По визначенню Н. Ф. Реймерса (1990), ґрунтова родючість – здатність ґрунту задовольняти потреби рослин у живильних речовинах, повітрі, біотичному і фізико-хімічному середовищу, включаючи тепловий режим, і на цій основі забезпечувати врожай сільськогосподарських культур, а також біологічну продуктивність диких форм рослинності.

Опрацювання питання передбачає розгляд ґрунтової родючості, як інтегрального показника, що визначається: багатством ґрунтів органічною речовиною (гумусом, гуматами); кислотно-лужними умовами; механічним складом; водним режимом; ступенем аерованості; запасами і доступними формами макро- і мікроелементів.

Треба звернути увагу, що особливе значення має необхідність обліку факторів біотичного ґрунтового середовища – мікорізоутворювачів, нітрифікаторів, денітрифікаторів і ін. Біоіндикація ґрунтової родючості може здійснюватися по приватних ознаках (прямих або непрямих) і окремим типам ґрунтів (маркування границь зон і підзон). В оцінці якості ґрунтів широко використовуються рослини і мікробіологічна активність. Показовим є не тільки участь виду в угрупованні, але і його чисельність або проєктивне покриття.

Існують такі групи рослин, що пристосовані до різних по родючості ґрунтам (оліготрофи, мезотрофи, мегатрофи); групи ґрунтів: край бідні – А, відносно бідні – В, відносно багаті – С, багаті – D (треба розглянути їх докладно).

Далі необхідно звернути увагу на екологічні групи рослин стосовно засолення. Галофіти (галофіли) – рослини засоленних місцеперебувань, що легко пристосовуються в процесі свого індивідуального розвитку до високого вмісту солей у ґрунті завдяки наявності ряду анатомоморфологічних особливостей. Серед них виділяються еугалофіти і кріногалофіти. Галофоби (глікофити) – види рослин, що уникають засоленних ґрунтів. Група галофітів неоднорідна по стійкості до складу і концентрації легкорозчинних солей у ґрунтах. По ступеню солестійкості виділяються: олігогалофіти; мезогалофіти; еугалофіти.

Крім того, виділяють факультативні й облігатні галофіти, евригалінні і стеногалінні види, здатні виростати в умовах широкої або вузької амплітуди концентрації солей і переносити різне по складу засолення або присвячені до конкретного виду засолення.

**5. Загальне оцінювання ступеня забруднення ґрунтового покриву.** Вивчення п'ятого питання треба розпочати з екологічної характеристики

організмів, тобто їх реакцій на вплив факторів середовища., а далі розглянути застосування фітоіндикації та зооіндикації для діагностики ґрунтового покриву.

Фітоіндикацію широко застосовують при визначенні кислотності ґрунтів. Так, на дуже кислих ґрунтах (рН = 3- 4,5) ростуть жорсткі ацидофіли (надають перевагу кислим ґрунтам), до яких належать сфагнум, плавун булавоподібний; на кислих ґрунтах (рН 4,5-6,0) – помірні ацидофіли (калюжниця болотна, їдкий і повзучий жовтець); на слабо кислих ґрунтах (рН 5,0-6,7) – слабкі ацидофіли (медунка, купина багатоквіткова, анемона жовтецева).

Популяції та комплекси видів ґрунтових тварин відзначаються стабільністю і стійкістю навіть за дуже несприятливих змін в екосистемі, тому на землях, що активно використовуються людиною, ґрунтові тварини лишаються останньою групою, за якою оцінюють ступінь впливу людини на біоту. Цьому сприяють особливості ґрунту як середовища існування.

Популяції ґрунтових тварин чутливі до змін, які відбуваються в екосистемах і ґрунтовій біоті, і реагують в основному зменшенням кількості видів, чисельності та біомаси популяцій, зникненням характерних для екосистем видів і появою еврибіонтних форм. У сильно пошкоджених екосистемах популяції ґрунтових тварин, у першу чергу мікроартроподів, залишаються останнім «уламком» тваринного світу, що колись існував. Водночас у результаті господарської діяльності людини виникає велика кількість екосистем, у яких немає багатьох груп ґрунтової фауни, головним чином ґрунтоутворювачів, таких як дощові черв'яки, мокриці. Такі зміни в комплексах помітні на ділянках, що на них людина безпосередньо здійснює господарську діяльність.

За однією з основних характеристик ґрунтів, їх кислотністю, рослини поділяють на дві великі групи: ацидофіли – рослини кислих ґрунтів (вереск, пушиця, білоус та ін.) та базифіли, або ацидофоби – рослини лужних ґрунтів (бузина, крушина, бересклет та ін.). Сьогодні знання про індикацію ґрунтів значно розширилися. Існує багато рослин, за показниками яких можна безпомилково визначити механічний, хімічний, сольовий, водний та інші показники ґрунтів.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Що відбувається внаслідок дії пилу і золи на природно-територіальні комплекси.
2. Які рослини виступають як індикаторів кислотності ґрунтів?
3. Як класифікують види рослин стосовно рН навколишнього середовища?
4. Які рослини-літоіндикатори Вам відомі?
5. Як проводиться біоіндикація механічного складу ґрунтів?
6. Як визначається ґрунтова родючість?
7. Схарактеризуйте рослини оліготрофи, мезотрофи та мегатрофи, які ґрунтові характеристики визначаються за допомогою їх?
8. Які екологічні групи рослин стосовно засолення Вам відомі?

9. Як за допомогою рослин можна визначити водний режим ґрунту?  
 10. Як поділяються рослини стосовно умов зволоження?

*✍ Практичні завдання*

1. При заболочуванні ґрунтового повітря витісняється водою, а залізо, сірка, азот переходять у відновні форми ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{SO}^{2-}$ ,  $\text{NO}^-$ ), а потім окислюються, зв'язуючи кисень, що залишився. Оскільки анаеробні організми продовжують виробляти  $\text{CO}_2$ , мінняється реакція середовища. Розрахуйте рН ґрунту, якщо утворився 0,01 М розчин  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $K_{\text{дис.}} = 4,45 \cdot 10^{-7}$ .

2. Вилужений горизонт у підзолі, в якому розташована більша частина коріння, містить нітрат заліза у кількості 0,0001 моль/л. Складіть рівняння гідролізу нітрату.

3. У випадку буроземів (коричневі лісові ґрунти) підстилка обновляється швидше, ніж у підзолистих ґрунтів, тому що ґрунт досить багатий хлоридом кальцію, щоб забезпечити достаток дощових хробаків, що перемішують верхні шари ґрунту. Складіть рівняння гідролізу цієї солі й розрахуйте рН ґрунту, враховуючи, що утворюється розчин із вмістом  $\text{HCl}$   $1,15 \cdot 10^{-6}\%$  (густина розчину  $1005 \text{ кг/м}^3$ ).

1. Дерново-карбонатні ґрунти формуються, як правило, на вапняках і крейдових відкладеннях, що містять  $\text{CaCO}_3$  до 80%. Розрахуйте рН середовища, якщо концентрація іонів  $\text{OH}^-$  у ґрунтовій воді становить  $3,15 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**Рекомендована література:** основна [1; 2, 3]; додаткова [2; 3; 6]; інформаційні ресурси [1; 2; 4].

## Тема 11. Фіто- зооіндикація водного середовища

**Мета:** опанувати знання щодо методів оцінки водного середовища за допомогою фіто- зооіндикаторів.

### План

1. Чинники забруднення водного середовища.
2. Характеристика водного середовища і пристосування до них живих організмів (організми-індикатори температурного режиму, газового складу, кислотно-основних властивостей, солоності, прозорості води).
3. Зміни водних екосистем при антропогенному забрудненні. Сапробність і таксобність.
4. Зооіндикація з використанням зообентосу, зоопланктону, фітопланктону, перифітону.
5. Методи біологічної оцінки якості води.

**Основні поняття:** сапробність, евритерми, стенотерми, оліготерми, літофіли, псаммофіли, пелофіли, таксобність, полісапроби, мезосапроби, зообентос, перифітон, зоопланктон, фітопланктон, індекс сапробності, індекс Вудівісса, індекс Гуднайта-Уітлея.

### Методичні рекомендації

**1. Чинники забруднення водного середовища.** Опрацювання першого питання треба присвятити визначенню чинників, що забруднюють водне середовище, та організмів, що реагують на певні чинники. У водоймах падає показник рН, що спричиняє біологічні наслідки. При рН 6,5-6,0 гинуть ракоподібні, молюски, ікра риб і земноводних, при рН 6,0-5,0 настає загибель риб – форелі, плітки, окуня і щуки. Подальше зниження рН до 4,5 і нижче призводить до знищення всякого життя. Для кількісної оцінки органічного забруднення введена шкала сапробності (ксено-, оліго-, β-мезо-, α-мезо- і полісапробні водойми). Паралельно із звичайною органікою, але в менших дозах, людуство забруднює водойми отрутохімікатами, нафтопродуктами, солями металів, теплом, шумом, радіацією і електромагнітним випромінюванням. Загальна картина забруднення водойм досить складна, але доведено, що види, стійкіші до органічного забруднення, в цілому стійкіші і до решти типів забруднень. Тому стійкість живих організмів до забруднення вимірюють, як правило, за єдиною шкалою сапробності.

**2. Характеристика водного середовища і пристосування до них живих організмів (організми-індикатори температурного режиму, газового складу, кислотно-основних властивостей, солоності, прозорості води).** У ході опрацювання другого питання треба приділити увагу умовам проживання водних організмів у водоймах з різними екологічними характеристиками

(температурний режим, газовий склад, кислотно-основні властивості води, солоність, мінеральний склад, прозорість, світловий режим, донні ґрунти, гідродинаміка).

### **3.Зміни водних екосистем при антропогенному забрудненні.**

**Сапробність і таксобність.** При вивченні третього питання треба усвідомити, що поняття «Якість води» має на увазі комплексну оцінку, яка включає гідрохімічні і гідробіологічні характеристики, які необхідно розглянути. У наш час продовжує використовуватися традиційний підхід до оцінки якості води, заснований на визначенні тільки ряду хімічних показників. Це не дозволяє оцінити зміни у водній екосистемі, оцінити ступінь порушень, з'ясувати їх механізм і дати прогноз подальшої зміни в екосистемі. Такі завдання можна вирішити, використовуючи методи фіто- зооіндикації.

**4.Зооіндикація з використанням зообентосу, зоопланктону, фітопланктону, перифітону.** У четвертому питанні дуже важливо детально розглянути які саме групи водних організмів використовуються для зооіндикації.

Для зоологічної індикації якості вод можна використовувати майже всі групи організмів, які населяють водойми: планктонні і бентосні безхребетні, найпростіші, водорості, макрофіти, бактерії. Організми, які зазвичай використовують як зооіндикатори, відповідальні за самоочищення водойми, беруть участь у створенні первинної продукції, здійснюють трансформацію речовин у водних екосистемах.

Виявити присутність небезпечної забруднюючої речовини у водоймищі можна за допомогою проявів її токсичного ефекту на рибах.

Далі, необхідно приділити увагу гідробіологічним показникам якості води – кількісні та якісні характеристики груп водного населення, що використовуються для оцінки еколого-санітарного стану водних екосистем. Якість води визначають, оцінюючи реакцію гідробіонтів на забруднення.

Далі, необхідно розглянути й схарактеризувати індикатори гідробіонти (зообентос, перифітон, зоопланктон і фітопланктон). Найбільш повно методи біотестування розроблені для гідробіонтів і дозволяє використовувати їх для оцінки токсичності забруднень природних вод, контролю токсичності стічних вод, експрес-аналізу в санітарно-гігієнічних цілях, для проведення хімічних аналізів у лабораторних цілях і вирішення цілого ряду інших завдань.

Вивчення фітопланктону водойм проводиться шляхом збору проб на встановлених станціях. Для визначення видового складу фітопланктону з проби на предметне скло наноситься крапля матеріалу, закривається покривним склом і аналізується під мікроскопом. Ідентифікація видів здійснюється за допомогою визначника.

**6.Методи біологічної оцінки якості води.** У шостому питанні важливо розглянути поняття: «Індекс сапробності», його визначення у різних



модифікаціях; індекс індикаторної значущості, зона сапробності та клас якості води, індекс Вуді-Вісса, індекс Гуднайта-Уітлея, метод оцінки забруднення по літореофілам,

Оскільки всі приведені вище індекси і методи покликані вимірювати одне і те ж, їх величини повинні відповідати один одній. На практиці, через складність природи і недосконалості будь-якої з описаних методик, ця відповідність спостерігається далеко не завжди. Порівнювати оцінки, отримані за допомогою різних методів, потрібно з великою обережністю.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Назвіть основні чинники забруднення водного середовища та найхарактерніші типи забруднення.
2. Схарактеризуйте основні умови проживання водних організмів.
3. Як поділяються водні організми стосовно температурного режиму?
4. Як реагують водні організми на газовий склад водоймища?
5. Схарактеризуйте вплив прозорості, солоності та світлового режиму на існування живих організмів.
6. Як розподіляються водні організми в залежності від ґрунтів водоймища?
7. Схарактеризуйте індекс сапробності. Як він розраховується?
8. Дайте визначення понять «сапробність» та «таксобність».
9. Як розрізняють водні організми по стійкості до органічних забруднень?
10. Як визначається індекс Вуді-Вісса?
11. Як розраховується індекс Гуднайта-Уітлея?

### **✍** *Практичні завдання*

1. Що буде з популяцією коропа у замкненому водоймищі, якщо відбувся залповий викид фенолу у кількості 20 кг? Рівноважна концентрація розчиненого у воді кисню до скидання становила 10 мг/л. Об'єм водоймища 10000 м<sup>3</sup>. Для нормальної життєдіяльності риби необхідно мінімум 3 мг/л кисню.

2. Оцініть наслідки для популяції коропа у замкненому водоймищі, якщо у нього почали скидати стічні води крохмально-патокового заводу. У стічних водах міститься 60 мг/л цукрів (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>). Потужність скидання за контрольний період склала 1000 м<sup>3</sup>. Рівноважна концентрація O<sub>2</sub> у водоймищі до скидання стічних вод – 9 мг/л, об'єм водоймища – 10000 м<sup>3</sup>. Для нормальної життєдіяльності риби необхідно мінімум 3 мг/л кисню.

3. У березні 1973 року при аварії супертанкера «Амоко-Каліс» біля берегів Франції було викинуто в море 230000 т нафти. Розрахуйте об'єм води, в якому загинула риба, якщо загибель риби відбувається при концентрації нафти 15 мг/л.

4. 1976 року в результаті вибуху танкера «Уірколо» біля берегів Іспанії

було викинуто у море 100000 т нафти. Яка площа води була при цьому покрита нафтовою плівкою, якщо товщина плівки приблизно 3 мм, а густина нафти  $800 \text{ кг/м}^3$ ?

**Рекомендована література:** основна [1; 2, 3]; додаткова [1; 3; 5]; інформаційні ресурси [1-4].

**ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ**

**1.Наукова основа кількісного оцінювання якості об'єкта - це:**

- а) нормативне оцінювання;
- б) біоіндикаційне оцінювання;
- в) бальна оцінка;
- г) кваліметрія.

**2.Біомоніторинг належить до групи екологічних методів дослідження:**

- а) описових;
- б) аналітичних;
- в) експериментальних;
- г) правильної відповіді немає.

**3.Метод, в якому дані про дію будь-якого фактора довкілля та про викликаний ним ефект відносять до одного моменту часу, - це:**

- а) поперечний метод;
- б) метод «випадок-контроль»;
- в) метод експрес-оцінки;
- г) правильної відповіді немає.

**4.Метод дослідження, який оснований на біоіндикації, - це:**

- а) біомоніторинг;
- б) тести експозиції;
- в) біологічні маркери ефекту;
- г) маркер сприйнятливості.

**5.Хімічні речовини, які забруднюють середовище існування, - це:**

- а) ксенобіотики;
- б) полютанти;
- в) екзогенні речовини;
- г) екотоксиканти.

**6.До методів біоіндикаційних досліджень належить:**

- а) закладка і описання пробних площ та облікових майданчиків;
- б) мічення тварин;
- в) експерименти у природних умовах;
- г) математичне моделювання;
- д) модифіковані методи фізіології.

**7.Відновіть правильну послідовність етапів системного аналізу розв'язання практичних біоіндикаційних завдань:**

1. моделювання;
2. оцінювання можливих стратегій;

3. впровадження результатів;
4. вибір проблеми;
5. вибір шляхів розв'язання завдань;
6. формулювання завдання й обмеження ступеня його складності;
7. встановлення ієрархії цілей і завдань.

**8. До генетичних і екологічних характеристик популяції належить:**

- а) вікова структура;
- б) народжуваність;
- в) смертність;
- г) частота зустрічей алелів у генофонді;
- д) просторова структура.

**9. Під транскордонними забрудненнями розуміють:**

- а) забруднення, перенесені з одного району країни у інший район;
- б) забруднення, перенесені з території однієї країни на площу іншої країни;
- в) забруднення, перенесені з одного материка на інший материк;
- г) забруднення, перенесені з материків у океан.

**10. Негативними екологічними наслідками створення водоймищ є:**

- а) інтенсифікація процесів заростання озер, лиманів, заток;
- б) акумулювання стоку води для цілей меліорації;
- в) зміна режиму підземних вод;
- г) зниження стійкого річкового стоку;
- д) активізація зсувів, карстів.

**11. До антропогенних факторів і причин розвитку пустель не належить:**

- а) випалювання торішньої сухої трави;
- б) тривалі посухи;
- в) вирубка дерев і чагарників;
- г) перевипасання худоби.

**12. Поріг хімічної дії забруднювача - це:**

- а) мінімальна концентрація, яка при хронічному впливі викликає істотні зміни в організмі лабораторних тварин;
- б) максимальна концентрація, яка при хронічному впливі викликає істотні зміни в організмі лабораторних тварин;
- в) мінімальна концентрація, яка при однократному впливі викликає істотні зміни в організмі лабораторних тварин;
- г) максимальна концентрація, яка при однократному впливі викликає істотні зміни в організмі лабораторних тварин.

**13. Головні забруднювачі повітря у містах - це:**

- а) легка промисловість і хлібозаводи;
- б) різні харчові комбінати і друкарні;
- в) енергетика і транспорт;
- г) установи побуту і будівельні комбінати.

**14. Найважливішою і основною причиною літнього листопаду у містах є високий вміст у повітрі:**

- а) метану;
- б) чадного газу;
- в) свинцю;
- г) хлору і фтору.

**15. Адаптивні реакції, що направлені на усунення або послаблення функціональних зсувів у організмі, що викликані неадекватними факторами середовища, - це:**

- а) гомеостаз;
- б) компенсаторні механізми;
- в) адаптація;
- г) правильної відповіді немає.

**16. Реалізується майже миттєво та виражається у підвищенні або зниженні активності ферментів без змін загального числа їх молекул – концентрації ферментного білка у клітині – регулювання:**

- а) термінове;
- б) хронічне;
- в) центральне;
- г) правильної відповіді немає.

**17. Класифікують на прямі та непрямі:**

- а) методи систематичної ідентифікації;
- б) методи аналітичної ідентифікації;
- в) експериментальні методи ідентифікації;
- г) правильної відповіді немає.

**18. Хто є автором розробки шкали сапробності?**

- а) Кольквіт і Марссон;
- б) Мец;
- в) Мюллер і Кон.

**19. Хто з дослідників стверджував, що в залежності від щільності дикої трави, можна вибрати ділянки, які будуть придатні для посіву бобових культур?**

- а) Кантон;
- б) Колумелла;

в) Полліон.

**20. Біоіндикатор, який реагує значними відхиленнями життєвих проявів від норми, - це:**

- а) сприйнятливий;
- б) акумулюючий;
- в) неспецифічний.

**21. Автор сучасної системи біоіндикації водного середовища:**

- а) Мец;
- б) Кольквіт і Марсон;
- в) Мюллер і Кон.

**22. Концентрація забруднювача, яка призводить до порушення обміну речовин і змін тих, або інших функцій організму, називається:**

- а) метаболічна;
- б) летальна;
- в) гнітюча.

**23. Якщо антропогенний чинник безпосередньо діє на біологічний об'єкт, то це:**

- а) специфічна біоіндикація;
- б) непрямі біоіндикація;
- в) пряма біоіндикація.

**24. Фізіолого-біохімічні властивості організму, які дозволяють йому пристосовуватися до існування в середовищі, яке містить певну кількість органічної речовини називають:**

- а) забрудненням;
- б) токсичністю;
- в) сапробністю.

**25. Як називаються молекулярні структури клітини, які безпосередньо атакуються токсинами?**

- а) мітохондрії;
- б) рецептори;
- в) рибосоми.

**26. Спосіб оцінки антропогенного навантаження за реакцією на неї живих організмів – це:**

- а) моніторинг;
- б) біоіндикація;
- в) екологічне прогнозування;
- г) інвентаризація.

**27. Найкращими індикаторами атмосферного забруднення є:**

- а) мотиль;
- б) водорість Носток;
- в) епіфітні лишайники;
- г) фітопланктон.

**28. Ландшафтна індикація - це:**

- а) аналіз поширення окремих видів, а також розміщення ділянок окремих угруповань ;
- б) фенологічні закономірності видів та окремих угруповань;
- в) індикація на рівні біосфери;
- г) індикація заповідних територій ;
- д) індикація під час екоаналітичного контролю.

**29. Бріоіндикація - це:**

- а) метод діагностики важких металів;
- б) метод в якому як тест-об'єктів використовують мохово-лишайникові синузії (спільнота);
- в) методи діагностики атмосферного забруднення за допомогою мохів;
- г) бріофлора (сукупність мохоподібних);
- д) ряд мохів-урбанофілів, що успішно зростають в умовах підвищеного забруднення.

**30. У завдання біомоніторингу входить:**

- а) постійна оцінка якості довкілля за допомогою спеціально відібраних живих організмів;
- б) спостереження за станом довкілля за фізичними і хімічними показниками;
- в) оцінка показників гідрологічних об'єктів;
- г) оцінка показників гідросфери, атмосфери, літосфери;
- д) оцінка якості довкілля.

**31. Фітоіндикаційні параметри на популяційному рівні характеризуються:**

- а) природним просторовим угрупованням особин одного виду;
- б) щільністю, структурою, особливостями динаміки;
- в) густотою популяцій чутливих до порушення видів;
- г) екологічною структурою природних популяцій;
- д) відбором екотипів в природі, що сприяють виживанню видів в порушеному середовищі.

**32. Клітинні та субклітинні рівні біоіндикації базуються на:**

- а) вузьких межах протікання біологічних і фізіологічних реакцій;

- б) високій чутливості до антропогенного фактора, що дозволяє виявити навіть незначні концентрації поллютантів;
- в) виявленні аномальних ознак біомембран;
- г) зміні концентрацій макромолекул;
- д) механізмі дії поллютантів.

**33. Які типи біоіндикаторів використовують з врахуванням критеріїв відбору?**

- а) чутливі і акумулятивні;
- б) специфічні і чутливі;
- в) для оцінки повітря і води;
- г) для оцінки якості ґрунту, повітря і води;
- д) для оцінки впливу в лабораторних умовах.

**34. Індикаційні дослідження на біоценотичному рівні проводяться з використанням:**

- а) угруповань рослин, тварин, мікроорганізмів відповідного місця існування;
- б) спільнота птахів та грибів;
- в) показників чисельності та видового різноманіття живих організмів;
- г) екологічних структур (життєвих форм і біотопних груп);
- д) вивчення колообігу речовин і потоків енергії.

**35. Кріптоіндикація - це:**

- а) фітоіндикаційні дослідження за допомогою спорових рослин;
- б) дослідження якісного стану повітря з використанням мохів;
- в) дослідження якісного стану повітря з використанням грибів та водоростей;
- г) дослідження якісного стану повітря з використанням лишайників та вірусів;
- д) дослідження якісного водних об'єктів.

**36. Меліоративна індикація - це:**

- а) комплекс досліджень, що проводиться у зв'язку фітомеліоративними роботами на с/г угіддях;
- б) комплекс досліджень, що проводиться у зв'язку з осушенням, зрошенням та фітомеліорацією територій;
- в) комплекс досліджень, що проводиться у зв'язку меліоративними роботами по відновленню ґрунтів;
- г) комплекс досліджень, що проводиться у зв'язку реорганізацією с/г підприємства;
- д) комплекс досліджень, що проводиться у зв'язку з рекультивацією земель.



**37. За вмістом у воді біогенних речовин індуюються такі показники:**

- а) оліготрофні, евтрофні і мезотрофні;
- б) розвиток бентосної рослинності та бентосної іхтіофауни;
- в) наявність біогенів та розвиток фітопланктону;
- г) наявність веслоногих рачків-циклопів та черв'яків-коловраток;
- д) ступінь органічного забруднення або сапробність.

**38. Педоіндикація - це:**

- а) індикаційні дослідження антропогенного впливу на ґрунти;
- б) біотестування ґрунтового і снігового покриву;
- в) дослідження з використанням про- і еукаріотних організмів;
- г) дослідження з використанням представників двох трофічних рівнів: автотрофів і гетеротрофів;
- д) визначення росту колоній мікроорганізмів на ґрунтовій витяжці.

**39. Геоіндикація - це:**

- а) відособлювання ендемічних різновидів;
- б) індикація корисних копалин;
- в) визначення надлишку хімічних елементів, що або виводиться з організму, або концентрується в ньому;
- г) дослідженні геоботанічних аномалій на ґрунтах;
- д) дослідження своєрідності асоціації чи видів з вузькою екологічною амплітудою.

**40. Галоіндикація - це:**

- а) індикація засоленості ґрунту;
- б) індикація хлоридних показників ґрунтів;
- в) індикація з використанням рослин-галофітів;
- г) індикація з використанням специфічних індикаторів;
- д) індикація з використанням рослин моніторів.

**41. Гідроіндикація - це:**

- а) фітоіндикаційні дослідження з використанням окремих видів рослин-фреатофітів;
- б) дослідження гідрохімічних і санітарно-гігієнічних показників вод болотних масивів за фізіономічними особливостями і їх ландшафтним оточенням;
- в) специфічна індикаційна оцінка поверхневих вод;
- г) моніторинг водних об'єктів;
- д) відхилення у поведінці іхтіофауни боліт.

**42. Лісова індикація - це:**

а) визначення екологічних режимів та продуктивності лісових угруповань за допомогою фітоіндикаційних шкал, що дає можливість оцінити умови місцезростання (тип лісу);

б) враховує наявність життєвих форм і рясність видів-індикаторів, серед яких є судинні рослини, мохи та лишайники;

в) порівняльно-екологічні дослідження зі складанням списків видів-індикаторів окремих типів лісу;

г) індикаційні дослідження в лісах в ході аеровізуальних спостережень;

д) дослідження які здійснюються в основному з метою застосування цих методів до культурфітоценозів.

#### **43. Агроіндикація - це:**

а) галоіндикація, тобто оцінка ступеня і характеру засолення ґрунтів ;

б) Оцінка факторів, які стосуються ґрунтових, водних чи кліматичних передумов ведення господарства;

в) створення созоєкологічних, ґрунтових і інші індикаційних карт;

г) дослідження з застосуванням фітоіндикації літологічного складу гірських порід;

д) геоморфологічна індикація гідрологічних умов територій.

#### **44. Синфітоіндикація - це:**

а) оцінки якісного стану середовища за допомогою угруповань вірусів;

б) синхронне проведення фітоіндикаційних досліджень;

в) оцінки якісного стану середовища за допомогою рослинних угруповань;

г) оцінки стану довкілля за допомогою с/г культур;

д) оцінки стану середовища за допомогою мікроорганізмів.

#### **45. Аутофітоіндикація - це:**

а) оцінки якісного стану середовища за допомогою окремих видів рослин;

б) фітоіндикаційні дослідження з використанням окремо взятих популяцій;

в) дослідження стану довкілля за допомогою тварин;

г) швидке знаходження джерел забруднення;

д) активний моніторинг довкілля.

## МЕТОДИЧНІ ПОРАДИ ДО НАПИСАННЯ ЕСЕ

Ефективність есе як індивідуального практичного завдання визначається кількома чинниками: по-перше, сам процес його написання максимально мобілізує інтелектуальні можливості, бо змушує активно осмислювати тему (проблему). Іншими словами, процес написання есе є розумовим тренінгом високої інтенсивності. По-друге, есе яскраво демонструє знання автора, його ерудицію, здатність до самостійного мислення, уміння висловити й аргументувати свої думки.

*Мова роботи: українська.*

Обсяг есе – до 5 сторінок формату А4, шрифт Times New Roman, кегель 14 pt з інтервалом 1,5 між рядками, з відступами від країв аркуша по 2 см зліва та згори та по 1,5 см знизу та справа. У разі використання літератури та інших джерел посилання на них обов'язкове.

### **Структура есе**

Есе розпочинають **зі вступу**, в якому має бути висвітлено загальний підхід до теми, вступ повинен містити проблемне завдання і відповідь на поставлене питання.

Автор есе не має права описувати все, що йому відомо в обсязі заданої теми, а лише те, що буде відповіддю на поставлене питання у темі. Упродовж усього есе необхідно підкреслювати зв'язок поданих фактів з тезою.

**Основна частина** есе вибудовується з метою переконання читача. Для цього автор есе має використати вагомі аргументи. Спочатку варто викласти головні ідеї та факти, які підтверджуватимуть приклади до цих ідей.

Основна частина: теоретичні основи обраної проблеми й виклад основного питання. Ця частина припускає розвиток аргументації й аналізу, а також обґрунтування їх, виходячи з наявних даних, інших аргументів і позицій щодо питання. У цьому полягає основний зміст есе й це являє собою головні труднощі. Тому важливе значення мають підзаголовки, на основі яких здійснюється структурування аргументації; саме тут необхідно обґрунтувати (логічно, використовуючи дані або строгі міркування) пропоновану тезу. *Там, де це необхідно, як аналітичний інструмент використовують графіки, діаграми й таблиці.*

У процесі побудови есе необхідно пам'ятати, що один параграф повинен містити тільки одне твердження й відповідний доказ, підкріплений графічним або ілюстративним матеріалом. Отже, наповнюючи розділи аргументацією, необхідно в межах параграфа обмежити себе розглядом однієї головної думки. Добре перевірений спосіб побудови есе – використання підзаголовків для позначення в головній частині ключових моментів аргументованого викладення. Сукупність підзаголовків допомагає побачити те, що пропонує зробити студент (чи є добрим його бачення). Ефективне використання підзаголовків – не тільки визначення основних пунктів, які студент бажає висвітлити, це також наявність логічності у висвітленні теми есе.

**Висновок:** узагальнення й аргументовані висновки до теми й т. д. Підсумовує есе або ще раз вносить пояснення, підкріплює зміст і значення викладеного в основній частині. Методи, що рекомендують для складання висновку: повторення, ілюстрація, цитата. Висновок може містити такий дуже важливий, що доповнює есе, елемент як вказівка на застосування дослідження, на розвиток взаємозв'язків з іншими проблемами. Есе має містити кінцівку. При цьому зовсім не важливо, кінець є ствердженням будь-чого, запитанням чи остаточно не завершеними роздумами. Вдалим варіантом завершення есе вважається використання афоризмів і цитат.

**Поради автору, як написати вдале есе.**

- ✓ Розвивати думку як своєрідний «сюжет», історію.
- ✓ Аналізувати факти й робити аргументовані висновки.
- ✓ Відмовитися від банальних стилістичних фраз.
- ✓ Виявляти авторське «я», уникаючи при цьому частого використання займенника *я*.
- ✓ Демонструвати глибоке розуміння теми (проблеми) та вміння її розкрити; висловлюватися точно, лаконічно, логічно, чітко і грамотно формулювати думки.
- ✓ Прагнути до вичерпності теми.
- ✓ Приділяти увагу не лише змістовому, а й мовностилістичному удосконаленню роботи.
- ✓ Прагнути максимально зацікавити читача (слухача).

**Підставами для зниження оцінки за есе є:**

1. Порушення логіки викладу матеріалу.
2. Відсутність або брак доказів, узагальнень, висновків.
3. Надмірне й поверхове оперування даними, що зводиться лише до констатації фактів замість їх узагальнення та аргументації.
4. Переказування чужих думок за відсутності власного бачення, творчого підходу до розкриття запропонованої теми чи розв'язання поставленої проблеми.

Письмова робота (есе) повертається викладачем студентові на доопрацювання в разі її невідповідності вказаним вище вимогам.

## ✎ ОРІЄНТОВНА ТЕМАТИКА ЕСЕ

1. Проблеми сучасної фітоіндикації/зооіндикації.
2. Внесок українських вчених, у розвиток фіто-зооіндикації.
3. Сутність та структура альгоіндикації. Головні організми-індикатори.
4. Сутність та структура ліхеноіндикації. Головні організми-індикатори.
5. Сутність та структура фітоіндикації. Головні організми-індикатори.
6. Сутність та структура дендроіндикації. Головні організми-індикатори.
7. Сутність та структура зооіндикації. Головні організми-індикатори.
8. Сутність та структура бріоіндикації. Головні організми-індикатори.
9. Основні екологічні закони, що використовуються при проведенні фітоіндикаційних/зооіндикаційних досліджень.
10. Основні хімічні речовини – забруднювачі навколишнього середовища.
11. Основні фізичні речовини – забруднювачі навколишнього середовища.
12. Біологічне забруднення: характеристика, основні забруднювачі, способи визначення.
13. Галузі промисловості, найбільші забруднювачі довкілля.
14. Механізми пошкодження клітин полютантами.
15. Механізми пошкодження полютантами молекул живих організмів.
16. Механізми пошкодження органел клітин полютантами.
17. Використання риб у якості іхтіоіндикаторів води.
18. Переваги використання молюсків як зооіндикаторів води.
19. Кріт європейський (*Talpa europaea* L.) зооіндикатор ґрунтового середовища.
20. Європейська руда полівка (*Clethrionomus glareolus* Schreber) і сибірська червона полівка (*Cl. rutilus* Pall.) як парні зооіндикатори довкілля.
21. Ондатра (мускусний пацюк) (*Ondatra zibethica*) як індикатор довкілля.
22. Козуля європейська (*Capreolus capreolus*) як індикатор довкілля.
23. Куниця лісова (*Martes lupus*) і соболь (*M. zibellina*) як парні зооіндикатори довкілля.
24. Лисиця звичайна (*Vulpes vulpes*) як зооіндикатор умов навколишнього середовища.
25. Зооіндикатори/фітоіндикатори на екосистемному рівні.
26. Дафнія як індикатор якості води.
27. Найпоширеніші рослини-монітори.
28. Ступені адаптації рослин до умов техногенного забруднення.
29. Мохи – природні індикатори.
30. Еврібіонти проти стенобіонтів. Хто кращий індикатор.

## ОРИЄНТОВНА ТЕМАТИКА КУРСОВИХ РОБІТ

1. Відбір проб об'єктів навколишнього середовища для біоіндикаційних досліджень.
2. Оцінка стану навколишнього середовища за наявністю, багатством і різноманітністю видів лишайників (ліхеноіндикація).
3. Оцінка токсичності атмосферного повітря за тестом «Стерильність пилку рослин».
4. Дослідження стану листя деревних рослин у різних зонах міста.
5. Сосна як тест-об'єкт в загальноекологічних дослідженнях.
6. Оцінка стабільності розвитку деревних рослин за рівнем асиметрії морфологічних структур на прикладі берези повислої (*Betula Pendula L.*).
7. Оцінка стабільності розвитку деревних рослин за рівнем асиметрії морфологічних структур на прикладі клена ясенелистого (*Acer negundo L.*).
8. Біотестування ґрунту за рівнем фітотоксичного ефекту.
9. Біотестування ґрунту за допомогою ґрунтових безхребетних.
10. Методика оцінювання токсичності водних джерел та ґрунтів за допомогою «Ростового тесту».
11. Безхребетні як біоіндикатори якості водного середовища.
12. Методика біотестування за допомогою представників сімейства ряскових.
13. Патологічні прояви несприятливого зовнішнього впливу у тварин як біоіндикаційні показники.
14. Патологічні прояви несприятливого зовнішнього впливу у молюсків як біоіндикаційні показники.
15. Вплив антропогенних стресорів на динаміку рослинних популяцій та на характер поширення рослин.
16. Вплив антропогенних стресорів на динаміку популяцій тварин та на характер міграції рослин.
17. Фітоіндикаційні методи дослідження екологічного стану природного середовища.
18. Індикація типів ґрунтів за допомогою ґрунтової мезофауни.
19. Оцінка якості води за допомогою ракоподібних.
20. Дощові черв'яки як індикатори якості ґрунтів.

## ГЛОСАРІЙ

*Абіотичні фактори* є компонентами та властивостями неживої природи. Вони впливають на живі організми прямо чи опосередковано.

*Акумулятивні біоіндикатори* – накопичують антропогенну дію без швидких проявів порушень. Таке значне накопичення, забруднення, поступово перевищує звичайний рівень, частіше за все проходить на рівні екофізіологічних або біоценотичних процесів.

*Активна індикація або біотестування* – дослідження тих же впливів у стандартних умовах на найбільш чутливі до даного фактора істотами – тест-організмами. *Адаптація* – пристосування організму до умов середовища існування.

*Альгоіндикація* – це оцінювання стану навколишнього середовища за допомогою водоростей.

*Алевритофіти* – рослини, що ростуть на суглинистих або супісчаних ґрунтах.

*Антропогенне забруднення* – забруднення, що виникає в результаті діяльності людини.

*Антропогенні фактори* – це зміна людиною середовища існування під впливом інтенсивної господарської діяльності.

*Аутбіоіндикація* – дослідження стану навколишнього середовища, що ґрунтуються на спостереженні за змінами окремих організмів чи ознак.

*Ацидофіли* – рослини кислих ґрунтів.

*Ацидофоби* (базифіли) – рослини лужних ґрунтів.

*Базифіли* (ацидофоби) – рослини, що виростають на лужних ґрунтах

*Біоіндикація* (грец. *bios* – життя, лат. *indico* – вказую) – це визначення біологічно значущих навантажень на основі реакцій на них живих організмів та їх угруповань. Повною мірою це належить до всіх видів антропогенних забруднень.

*Біологічне забруднення* – випадкове або пов'язане з діяльністю людини проникнення в екосистеми не притаманних їй рослин, тварин і мікроорганізмів (бактеріологічне); часто справляє негативний вплив при масовому розмноженні нових видів.

*Біотичні фактори* – це усі форми взаємодії між організмами в популяції.

*Біоценотичне забруднення* полягає у впливі на склад та структуру популяції живих організмів.

*Бріоіндикація* – (від грец. *bryon* – мох і лат. *indico* – вказую, визначаю) застосування мохоподібних як біоіндикаторів.

*Газостійкість* – здатність зберігати властиві організму процеси життєдіяльності і насінневого відтворення в умовах забруднення газами і парами атмосферного повітря.

*Газочутливість* – реакція організму на вплив забруднюючої речовини в певний період його розвитку. У біоіндикаційних дослідженнях необхідно враховувати систематичну приналежність видів і зміна ступеня їх газостойкості.

*Галоіндикація* – наука, розділ біоіндикації, що вивчає можливості оцінки інтенсивності, якісного сольового складу, характеру й інших особливостей засоленних ґрунтів.

*Галофіти (галофіли)* – рослини засоленних місцеперебувань, що легко пристосовуються в процесі свого індивідуального розвитку до високого змісту солей у ґрунті завдяки наявності ряду анатомоморфологічних особливостей.

*Галофоби (глікофіти)* – види рослин, що уникають засоленних ґрунтів.

*Гігрофіти* – вологолюбиві рослини, мешканці вологих, іноді заболочених ґрунтів.

*Гідрофіти* – рослини мілководь та прибережних смуг водойм, мають темно-зелене листя та товсті соковиті стебла.

*Глікогалофіти (глікофіти)* – рослини, що не проникають солями і виростають на засоленних ґрунтах, але не нагромаджують легкорозчинні солі у тканинах.

*Гранично допустима концентрація (ГДК)* – кількість шкідливої речовини в навколишньому середовищі, яке при постійному контакті або при впливі за певний проміжок часу практично не впливає на здоров'я людини.

*Ґрунтова родючість* – здатність ґрунту задовольняти потреби рослин у живильних речовинах, повітрі, біотичному і фізико-хімічному середовищу, включаючи тепловий режим, і на цій основі забезпечувати врожай сільськогосподарських культур, а також біологічну продуктивність диких форм рослинності.

*Дендроіндикація* – (від грец. dendron – дерево та лат. indicatio – вказую, визначаю). Використання деревних рослин для оцінки стану та змін навколишнього середовища під впливом екологічних факторів.

*Дефоліація* – опадання листя.

*Дистрес* – означає патологічні процеси, при постійних навантаженнях, які організм не в змозі регулювати короткий або тривалий час

*Екологічна валентність певного виду* – це діапазон інтенсивності дії екологічного фактора, у якому можливе існування певного виду.

*Екологічні фактори* – це всі компоненти довкілля, що впливають на живі організми та їх угруповання.

*Еугалофіти* – типові солянки, рослини, що накопичують сіль у великих кількостях в тканинах і мають соковиті і м'ясисті стебла.

*Еустрес* – характеризується фізіологічними процесами, які дозволяють організму пристосуватися до змінених умов середовища.

*Забруднювач* – будь-який фізичний чинник, хімічна речовина або біологічний вид (головним чином мікроорганізми), який потрапляє в навколишнє середовище або виникає в ньому в кількості, більшій за звичайну, і викликає забруднення середовища.

*Зона оптимуму* – це сприятлива інтенсивність впливу екологічного фактору для організмів певного виду.

*Зона песимуму* – відхилення інтенсивності дії певного екологічного фактора від оптимальної в той чи інший бік і виявлення його пригнічуваної дії.



*Зообентос* – сукупність донних тварин, що живуть на дні або в ґрунті морських і прісних водоймищ.

*Зооіндикація* – (від грец. ζῷον – тварина, та лат. indicatio – вказую, визначаю) використання тварин як індикаторних організмів.

*Зоопланктон* – сукупність тварин, що населяють водну товщу та пасивно переносяться течіями.

*Інгредієнте забруднення* – це забруднення сукупністю речовин, кількісно або якісно ворожих природним біогеоценозам (інгредієнт – складова частина складної сполуки або суміші) *Індекс забруднення* – показник, якісно і кількісно відображає присутність у довкіллі речовини-забруднювача і ступінь його впливу на живі організми.

*Індекс забруднення (ІЗ)* – показник, якісно і кількісно відображає присутність у довкіллі речовини-забруднювача і ступінь його впливу на живі організми.

*Індекс чистоти повітря* – синтетичний показник, який розраховують на основі вивчення угруповань епіфітних лишайників (зростають на корі дерев) у населених пунктах та індустріальних регіонах для порівняльного оцінювання стану атмосферного повітря.

*Кріногалофіти* – рослини які здатні виділяти надлишок солей у вигляді краплин розсолу крізь особливі залози (їх іноді називають галофітами, що фільтрують) і мають характерний сольовий наліт.

*Ксерофіти* – рослини сухих середовищ. Для них характерні вузьколистість, опушення листків, жорсткі стебла та видозміни листків (колючки).

*Ліхеноіндикація* (від грец. λειχήν – лишай, лишайник і лат. indicio – вказую, визначаю) – це оцінювання стану довкілля за допомогою лишайників.

*Мезосапроби* – витримують лише середній ступінь забруднення.

*Мегаторфи* – рослини, що вибагливі до родючості ґрунтів.

*Мезотрофи* – рослини, що середньо вибагливі до родючості ґрунтів.

*Мезогалофіти* – рослини, що ростуть на ґрунтах з середнім вмістом солей.

*Мезофіти* – рослини досить забезпечених вологою місць, але не сирих і не заболочених.

*Нейтрофіли* – рослини ґрунтів з нейтральною реакцією.

*Некрози* – відмирання обмежених ділянок тканини.

*Олігогалофіти* – рослини, що ростуть при малих вмістах солей у ґрунті.

*Олігосапроби* – здатні витримати лише слабкий ступінь забруднення, вимогливі до кисню

*Оліготрофи* – рослини, що не вибагливі до родючості ґрунтів.

*Омброфіти* – рослини, що існують лише внаслідок атмосферних опадів.

*Параметричне забруднення* пов'язане зі зміною якісних параметрів навколишнього середовища (параметр навколишнього середовища – одна з його властивостей, наприклад, рівень шуму, радіації, освітленості).

*Пасивна біоіндикація* – дослідження у вільно живучих організмів видимих або непомітних ушкоджень і відхилення від норми, що є ознаками несприятливого впливу

*Пелитофіти* – рослини, що ростуть на глині.

*Пелофіли* – рослини що ростуть на мулі.

*Перифітон* – поселення водних рослин і тварин на підводних скелях, камінні, річкових суднах, палях та інших об'єктах.

*Петрофіти (літофіти)* – рослини, що ростуть на кам'янистих субстратах, або на скалах.

*Позитивні біоіндикатори* – характеризуються збільшенням реакції (кількісних характеристик) при збільшенні стресового фактора.

*Полісапроби* – організми, що витримують сильний ступінь дефіциту кисню.

*Природне забруднення* – виникає внаслідок потужних природних процесів.

*Псамофіти* – рослини, що ростуть на пісках та піщаних субстратах.

*Псаммофіли* – рослини, що ростуть на кам'янистому ґрунті.

*Реакофіли* – організми, що пристосовані до проживання в умовах швидкої течії.

*Рослина-монітор* – рослина, за ознаками ушкодження на якій можна отримати інформацію про кількість забруднюючих речовин або їх суміші у довкіллі.

*Сапробність* – здатність водних організмів жити у воді, яка містить різну кількість органічних речовин. За ступенем органічного забруднення водоймища заведено поділяти на полі-, мезо- та олігосапробні, а організми, що в них проживають, відповідно називати полі-, мезо- або олігосапробами.

*Специфічна біоіндикація* – реакція організму є характерною для якого-небудь стресора.

*Синбіоіндикація* – дослідження стану навколишнього середовища, що ґрунтуються на спостереженні за угрупованнями організмів (популяції, види і т.д.).

*Стаціонально-деструкційне забруднення* (стація – місце існування популяції, деструкція – руйнування) викликає зміну ландшафтів та екологічних систем в процесі природокористування.

*Стенобіонти* – види з низькою адаптаційною здатністю, життєдіяльність яких обмежена вузьким діапазоном змін певного фактора.

*Стрес, або загальний адаптаційний синдром* – це необхідна ланка неспецифічної реакції організму, складник та етап його адаптації до умов життя, компонент нормальної життєдіяльності, фактор збереження гомеостазу.

*Таксобність* – ступінь забруднення водойми, чи її частини токсичними речовинами.

*Термофіти* – теплолюбні рослини, які не витримують зниження температур, нормально розвиваються при температурі 26<sup>0</sup>С з незначними добовими й річними коливаннями.

*Термофоби* – організми, які не витримують високих температур, нормально розвиваються при порівняно низьких температурах (верхня межа становить 10<sup>0</sup>С).

*Токсична концентрація* – концентрація шкідливої речовини, яка здатна при різній тривалості впливу викликати загибель живих організмів, або концентрація

шкідливого агента, що викликає загибель живих організмів протягом 30 діб в результаті впливу на них шкідливих речовин.

*Трихогідрофіти* – рослини, життя яких, насамперед, пов'язане з капілярною вологою ґрунтових вод.

*Фізичне забруднення* пов'язане зі змінами фізичних, температурно-енергетичних, хвильових і радіаційних параметрів зовнішнього середовища.

*Фітоіндикація* – (від грец. φύτον – росина та лат. indicatio – вказую, визначаю) застосування як біоіндикаторів рослин.

*Фітопланктон* – сукупність рослинних організмів, які населяють товщу води морських та прісних водоймищ і пасивно переносяться течіями.

*Фонова концентрація* – вміст речовини в об'єкті навколишнього середовища, яке визначається сумою глобальних і регіональних природних і антропогенних внесків в результаті дальнього або транскордонного перенесення.

*Фреатофіти* – рослини, пов'язані з водоносними горизонтами у яких добре розвинена коренева система (до 5-30 м)

*Хасмофіти* – рослини, що ростуть на кам'янистих ґрунтах.

*Хімічне забруднення* – збільшення кількості хімічних компонентів певного середовища, а також; проникнення (введення) в нього хімічних речовин, не притаманних йому або в концентраціях, котрі перевищують норму.

*Чутливий біоіндикатор* – реагує значним відхиленням життєвих показників від норми

**ВІКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Вальтер Г.А. Біоіндикація та біотестування навколишнього середовища : конспект лекцій. Харків : ХНАДУ, 2015. 125 с.
2. Василенко І.А., Півоваров О.А., Куманьов С.О. Збірник задач і вправ з екології та охорони навколишнього середовища : навч. посіб. Дніпропетровськ : Акцент ПП, 2015. 216 с.
3. Дідух Я.П. Основи біоіндикації : монографія. Київ : Наукова думка, 2012. 344 с.
4. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів : монографія. Київ : Ін-тут ботаніки НАН України, 1994. 280 с.
5. Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій : методичні рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Рівне : Дока-центр, 2018. 94 с.
6. Нікіфоров В.В., Дігтяр С.В., Мазницька О.В. Біоіндикація та біотестування : навч. посіб. Кременчук : Видавництво ПП Щенбатих О.В., 2016. 76 с.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Основна:

1. Моніторинг довкілля : підручник / В.М. Боголюбов та ін. Київ : НУБіПУ, 2018. 435 с.
2. Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій : методичні рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Рівне : Дока-центр, 2018. 94 с.
3. Притула Н.М. Біоіндикація : навчальний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Екологія» освітньо-професійної програми «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 141 с.

### Додаткова:

1. Клименко М.О. Прищеп А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля : підручник. Київ : Академія, 2006. 360 с.
2. Никифоров В.В., Дігтяр С.В., Мазницька О.В. Біоіндикація та біотестування : навч. посіб. Кременчук : Видавництво ПП Щенбатих О.В., 2016. 76 с.
3. Мусієнко М.М. Фітоіндикація та фітомоніторинг : навч. посіб. Київ : Фітосоціоцентр, 2006. 404 с.
4. Руденко С.С. Костишин С.С., Морозова Т.В. Загальна екологія : практичний курс. Частина 1. Чернівці : Рута, 2003. 320 с.
5. Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування : навч. посіб. для студ. вищ. навч. заклад. Львів : Новий Світ-2000, 2004. 248 с.
6. Войцицкий В. М., Мідик С. В., Полтавченко Т. В., Березовський А. В., Кеппл А. Ю., Велинска А. А. Моніторинг екосистем : цілі і необхідність, роль біоіндикації. Біоресурси и природокористування. 2019. 11, №3-4. С.39-46.

### Інформаційні ресурси:

1. Bio One Complete. Повнотекстова база даних публікацій в галузі біології, біохімії, екології та наук про навколишнє середовище URL: <https://library.gov.ua/svitovi-e-resursy/3988/bio-one/>.
2. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського . Книжкові видання і компакт диски. Біологічні науки URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?&C21COM=S&I21DBN=NEWR&P21DBN=NEWR&S21All=%3C.%3EZN=%D0%95%3C.%3E&S21FMT=online](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?&C21COM=S&I21DBN=NEWR&P21DBN=NEWR&S21All=%3C.%3EZN=%D0%95%3C.%3E&S21FMT=online)
3. Сайт Наукової бібліотеки ЗНУ. Вся тематика. Біологічні науки. URL: [https://ebooks.znu.edu.ua/index.php?&category\[\]=1509](https://ebooks.znu.edu.ua/index.php?&category[]=1509)
4. Адреса дисципліни «Фіто- зооіндикація стану навколишнього середовища» **СЕЗН** **ЗНУ** URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=11624>

Навчально-методичне видання  
(українською мовою)

Притула Наталія Михайлівна

ФІТО- ТА ЗООІНДИКАЦІЯ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА  
Методичні рекомендації до самостійної роботи  
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра  
спеціальності 091 «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія»  
денної та заочної форм здобуття освіти

Рецензент *Н.В. Воронова*  
Відповідальний за випуск *О.Ф. Рильський*  
Коректор *Н.М. Притула*