

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

*Н.М. Притула*

**БІОІНДИКАЦІЯ**

Навчальний посібник

для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Екологія»  
освітньо-професійної програми «Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування»

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

Запоріжжя 2020

УДК 57.087.1(075.8)  
П 772

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.

Навчальний посібник містить теоретичні відомості з курсу «Біоіндикація», питання для самоконтролю, практичні та тестові завдання, глосарій, використану і рекомендовану літературу. У запропонованому посібнику подано теоретико-методологічні основи і понятійний апарат навчальної дисципліни «Біоіндикація». Його використання сприятиме формуванню у здобувачів вищої освіти системи знань та засвоєнню основ біоіндикаційних досліджень.

Навчальний посібник розроблено для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Екологія» освітньо-професійної програми «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування».

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 і зоології

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОІНДИКАЦІЇ, РІВНІ БІОІНДИКАЦІЇ.....	6
Тема 1. Теоретичні основи біоіндикації.....	6
Тема 2. Біоіндикатор і об'єкт біоіндикації.....	20
Тема 3. Поняття про забруднення, оцінка забруднення навколишнього середовища.....	32
Тема 4. Біоіндикація на різних рівнях організації живого: молекулярний та клітинний рівень.....	45
Тема 5. Біоіндикація на різних рівнях організації живого: тканинний та організмний рівень.....	53
Тема 6. Біоіндикація на вищих ієрархічних рівнях: популяція, екосистема, біоценоз.....	67
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ІНДИКАЦІЇ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ	74
Тема 7. Дендроіндикація.....	74
Тема 8. Ліхеноіндикація та бріоіндикація.....	83
Тема 9. Біоіндикація забруднення атмосферного повітря.....	91
Тема 10. Біоіндикація стану ґрунтового покриву.....	99
Тема 11. Біоіндикація водного середовища.....	115
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ.....	131
ГЛОСАРІЙ.....	135
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	139
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	140

## ВСТУП

Навчальний посібник з дисципліни «Біоіндикація» розроблено для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Екологія», освітньо-професійної програми «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування», з метою формування у студентів комплексу знань щодо розробки заходів з оцінки екологічного стану складових довкілля. Біоіндикація – вагомий інструмент для визначення комплексного ефекту внаслідок забруднення оточуючого середовища через спостереження за реакцією сукупності видів рослин, тварин та мікроорганізмів, що мешкають на певній території.

Біоіндикація – це оцінка якості середовища та його деяких характеристик за станом біоти в природних умовах. Для обліку змін середовища під впливом антропогенного чинника використовують певні індикаторні організми, або групи особин одного виду, чи угруповання за наявності, стану та поведінці, яких роблять висновки щодо змін у довкіллі.

Біологічні методи дослідження навколишнього середовища дають змогу отримувати дані щодо безпосередньої реакції організмів, співтовариств 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.

За допомогою біоіндикаторів можна виявляти місця накопичення в екологічних системах забруднень різного походження, а також швидкість накопичення та ступінь шкочинності забруднюючих речовин.

Метою вивчення навчальної дисципліни «Біоіндикація» є засвоєння теоретико-методологічних основ біологічної оцінки довкілля та підготовка фахівців профільної галузі для розв'язання проблем охорони природних біоценозів і здоров'я людини. Біоіндикація є важливим засобом для оцінки комплексного ефекту різних екологічних факторів, і в особливості стресу внаслідок забруднення оточуючого середовища, за допомогою ознак рослин та тварин.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Біоіндикація» є: формування, по-перше, уявлення про екологічний фактор, як основний чинник впливу навколишнього середовища на живі істоти, що вимагає певних адаптаційних пристосувань; по-друге, про фіто- та зооіндикацію, як складову загальної системи біоіндикації та біомоніторингу, яка з допомогою біохімічного, фізіологічного та морфолого-анатомічного стану рослин та тварин дає змогу оцінювати стан довкілля та прогнозувати ступінь припустимих антропогенних навантажень

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Біоіндикація» студент повинен

**знати:**

- поняття про біоіндикацію та біоіндикатор;
- закономірності впливу екологічних факторів на живі організми;
- особливості біоіндикації на різних рівнях організації живого;
- особливості проведення біоіндикації водного, повітряного та наземного середовища;
- критерії вибору живих об'єктів у якості біоіндикаторів;
- сучасні методики біоіндикації;
- математичні методи обробки біоіндикаційних досліджень.

***вміти:***

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

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачами освіти необхідно досягти таких ***компетентностей***: знати концептуальні основи моніторингу та нормування антропогенного навантаження на довкілля за допомогою біоіндикації; розв'язувати проблеми у сфері захисту навколишнього природного середовища через біоіндикаційні дослідження; проводити пошук інформації з використанням відповідних джерел для прийняття обґрунтованих рішень; демонструвати навички оцінювання непередбачуваних екологічних проблем і обміркованого вибору шляхів їх вирішення; прогнозувати вплив технологічних процесів та виробництв на навколишнє середовище; підвищувати професійний рівень через продовження формальної освіти та самоосвіти.

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОІНДИКАЦІЇ, РІВНІ БІОІНДИКАЦІЇ

### ТЕМА 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОІНДИКАЦІЇ

**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 спричиняють стрес.

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

#### 1. Предмет, об'єкт, завдання, методи та структура сучасної біоіндикації

У наш час, у зв'язку з інтенсивним впливом людини на природу змінилося ставлення суспільства до стану навколишнього середовища, його повітряного басейну, ґрунту, водоймищ, та продуктів харчування. Контроль стану навколишнього середовища, оцінка його якості – це найважливіша складова частина діяльності людини, яка спрямована 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 стосується всіх видів антропогенних забруднень.

**Головна мета біоіндикації** – діагностика стану навколишнього середовища через встановлення здатності організмів до адаптації у відповідних умовах довкілля.

Основні завдання біоіндикації – виявлення 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 із високим порогом чутливості до антропогенних змін.

Біоіндикацію можна охарактеризувати таким чином:

- як розділ екології, що оцінює екологічні фактори по біологічним ознакам;
- наука, що вивчає залежність між біотичними ознаками і станом екосистем та їх складників загалом;

– наука, що вивчає питання діагностики стану екосистем за показниками біотичних ознак та властивостей.

**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 загалом, популяції, види, угруповання організмів). Для біоіндикації використовуються генетичні, біохімічні та фізіологічні порушення в біосистемах хромосом, біомембран, органел, обміну речовин (білків, вуглеводів, жирів), енергетичного та мінерального обміну, включно 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 й 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 деякі особини не тільки реагують на зміни в довкіллі, але й самі активно його формують, забезпечуючи у такий спосіб 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.

**Переваги методів біоіндикації:**

- мають інтегральний характер;
- підсумовують усі без винятку біологічно важливі параметри навколишнього середовища і відбивають його стан загалом;
- виявляють наявність у навколишньому природному середовищі комплексу забруднювачів;
- дають змогу оцінити ступінь шкідливості тих або інших речовин для живої природи й людини;
- дають можливість контролювати дію багатьох синтезованих людиною сполук;
- в умовах хронічного антропогенного навантаження біоіндикатори можуть реагувати на дуже слабкі впливи через акумуляцію дози;
- фіксують швидкість змін, що відбуваються в довкіллі;
- показують шляхи й місця скупчень різного роду забруднень в екологічних системах і можливі шляхи попадання цих речовин в організм людини;
- допомагають нормувати припустиме навантаження на різні за стійкістю до антропогенного впливу екосистеми, коли однаковий склад і обсяг забруднень може призвести 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 й реагують на короткочасні й залпові викиди токсикантів, що може не зареєструвати автоматизована система контролю з періодичним добором проб на аналізи.

Методи біоіндикації класифікуються в 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, у якому проводяться дослідження (напр.: методи біоіндикації води, атмосфери, ґрунту).

Структура сучасної біоіндикації – сукупність методів, що використовуються для дослідження антропогенних змін у довкіллі (рис. 1).



Рис.1 – Структура сучасної індикації

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



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

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

**Ліхеноіндикація** (від грец. *λειχήν* – лишай, лишайник і лат. *indico* – вказую, визначаю) – це оцінювання стану довкілля з використанням лишайників. Серед ліхеноіндикаційних показників найінформативнішими є картування поширення лишайникових угруповань, розрахунок синтетичних показників – індексів (чистоти повітря, полеотолерантності тощо), а також картування поширення індикаторних видів.

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

**Фітоіндикація** – (від грец. *φυτόν* – росина та лат. *indicatio* – вказую, визначаю) застосування у якості біоіндикаторів рослин.

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

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

## 2. Історія розвитку біоіндикації, як науки

Біоіндикація має давню історію. Перші біоіндикаційні спостереження були зроблені античними вченими, які звернули увагу на зв'язок морфології рослин з умовами їх зростання. Так, Теофраст (327-287 рр. до н.е.) у роботі «Природа рослин», описував, як за характером рослинності можна судити про властивості земель. Аналогічні відомості є в працях римлян Катона і Плінія Старшого. Так, у працях Катона Старшого (234–149 рр. до н. е.) є думка про те, що густина травостою до переорювання може допомогти вибрати ділянки, придатні для посіву культур бобових. У висловлюваннях римського вченого й письменника Плінія Старшого (23 або 24-79 рр.) містяться застереження про занадто спрощене уява про зв'язок ґрунтів і рослинності. Він пише, що не завжди високі дерева або пишні луки і високі трави служать ознакою родючості ґрунту.

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 напрям, отримав назву ландшафтної біоіндикації, і сьогодні успішно використовується в практичних цілях.

Засновником індикаційного підходу вважають американського ботаніка Ф. Клементса, який у 1920 році в праці «Рослинні сукцесії та індикатори» зауважив, що кожна рослина, або рослинне угруповання є найкращою мірою умов, у яких росте. Однак, ще наприкінці минулого століття В.В. Докучаєв вважав, що всі

елементи природи взаємопов'язані між собою й що по одному з них можна судити про всіх інших.

Засновником біоіндикційного використання рослин, оцінки властивостей ґрунтів і підстилаючих гірських порід за особливостями розвитку рослин і складу рослинного покриву, безперечно, вважають А.П. Карпінського, роботу якого, опубліковану в 1841 р. та присвячену приуроченості рослин до різних гірських порід використовують і нині.

Основою біоіндикації є взаємозв'язок і взаємозумовленість всіх явищ природи. Вона є прикладом застосування ідей В. В. Докучаєва про зв'язок усіх елементів умов середовища з вирішенням практичних завдань. В. В. Докучаєвим (1883, 1893 г.) було розвинене уявлення про ґрунт, як про особливе природно-історичне утворення. В.В. Докучаєвим (1898) був сформульований «закон сталості взаємин між ґрунтом і рослинними організмами, що ростуть на ньому, як у часі, так і в просторі». Глибокі зв'язки між ґрунтом, геологічною породою й рослинністю викладені в працях П.А. Костичева (1890). Приклади практичного використання індикаторів ґрунтів наведені Ф.І. Рупрехтом (1866).

У зв'язку з цим одним із перших напрямків у 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.

Значну цікавість представляють роботи з використання рослинності як показника клімату; типів лісу; рівня залягання ґрунтових вод. Ідеї В.І. Вернадського (1926, 1934), А.П. Віноградова (1952, 1954) обґрунтували можливість використання рослин і рослинних угруповань для індикації корисних копалин.

Широко використовуються рослинні індикатори для вивчення сільськогосподарських угідь, оцінці засолення, зволоження, механічного складу ґрунтів, стадій пасовищної дигресії. Послідовний аналіз екологічних умов земель і їх оцінка за рослинним покривом містяться в працях Л.Г. Раменського (1938, 1941), В.І. Ларіна (1953).

Для удосконалення захисту зовнішнього середовища й розширення біоіндикційного напрямку в моніторингу стану природних об'єктів на ХХІ загальній асамблеї Міжнародної спілки 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 тези програми: стандартизація методів дослідження, задоволення регіональних і національних проблем; створення мережі спеціалістів із біоіндикації; розширення біоіндикційних досліджень у моніторингу навколишнього середовища. Крім того, проводяться також міжнародні симпозиуми з біоіндикації антропогенних забруднень (Індія, 1984; Канада, 1985; СРСР, 1989 та інші).

Відомості про рослинні індикатори узагальнені в статті А. Семпсона (Sampson, 1939) «Рослинні індикатори»; Б.В. Віноградова (1964) «Рослинні індикатори...»; С.В. Вікторова, Г.Л. Ремезовой (1988) «Індикаційна

геоботаніка». В останній роботі особлива увага приділяється застосуванню в біоіндикації дистанційних методів із використанням аеро-, фото- і космічних знімків, які послужили основою для інтенсивного розвитку нового напрямку – ландшафтної індикації.

Поряд із геоботанікою індикаційний напрямок з'явилося й у гідробіології (гідробіологічна індикація), де в якості індикатора стану вод використовувався планктон.

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

Вчення В.І. Вернадського про біосферу, ноосферу, полягло в основу біогеохімічного напрямку. Вивчення хімічного складу живої речовини і зв'язок його з хімізмом навколишнього середовища поклали початок біогеохімічному методу пошуків корисних копалин і геохімічної екології.

З кінця 60-х років ХХ ст. в Скандинавських країнах почали широко використовувати мохи, лишайники при оцінці забруднення атмосферного повітря. Так, Гріндон зазначав значне скорочення числа лишайників через вирубку старих лісів і припливу фабричного диму. Ліхеноіндикаційна зйомка проведена на території багатьох великих міст: у Києві, Харкові, Лондоні, Львові, Парижі, Нью-Йорку, Москві, Санкт-Петербурзі, Запоріжжі, Дніпрі та ін.

На ранніх етапах розвитку біоіндикації переважало використання живих об'єктів як індикаторів природних компонентів біогеоценозів. Однак із погіршенням екологічних умов навколишнього середовища і виникненням проблем її охорони все більшого значення набувають біоіндикаційні дослідження як природних, так і антропогенних забруднень води, повітря, ґрунту, рослинного покриву, тваринного населення (тобто порушених біоценозів).

Вчення про важкі метали, що виникло понад сто років тому, стало основою біоіндикаційних досліджень забруднень. Одним із засновників його є К.Я. Тімірязєв, який у 1872 р. встановив позитивну дію  $Zn$  на ріст і розвиток рослин.

Кінець ХХ ст. та початок ХХІ ст. ознаменувався різким посиленням уваги до вирішення екологічних питань і свого роду «екологізації» всіх наук. У наш час встановлено й 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 пожарів, впливу на живі організми радіонуклідів, пріоритетних полютантів, у тому числі ксенобіотиків, хлорорганічних з'єднань, поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), фенолів та ін.

Зростаюча увага до проблеми охорони природи зумовила необхідність проведення міжнародних взаємоузгоджених заходів із питань біоіндикації. У більшості країн вони здійснюються переважно національними академіями наук і програмами ООН (ЮНЕП, ФАО та ін.).

У якості індикаторів антропогенного навантаження досліджені порушення репродуктивних функцій, динаміка чисельності та зміна структури популяцій, видового різноманіття, зміни мікробіологічної активності ґрунтів та багато інших показників.

У наш час біоіндикація забруднення широко використовується для охорони навколишнього середовища та раціонального природокористування.

### **3. Закономірності впливу екологічних факторів на живі організми: закон оптимуму**

**Екологічні фактори** – це всі компоненти довкілля, що впливають на живі організми та їх угруповання. Екологічні фактори поділяються залежно від природи та особливостей дії на абіотичні, біотичні та антропогенні.

**Абіотичні фактори** є компонентами та властивостями неживої природи. Вони впливають на живі організми прямо чи опосередковано. Це такі фактори, як: температура, освітленість, газовий склад повітря, солоність, вологість тощо.

**Біотичні фактори** – це всі форми взаємодії між організмами в популяції. Організми взаємодіють між подібними собі – внутрішньовидові зв'язки та з особинами інших видів – міжвидові зв'язки.

**Антропогенні фактори** – це зміна людиною середовища існування під впливом інтенсивної господарської діяльності. Діяльність людини впливає або прямо, або опосередковано на живі організми.

Екологічні фактори (сила тяжіння, солоність морської води, склад газів атмосфери тощо) можуть залишатися незмінними упродовж тривалого часу (стала інтенсивність дії фактору) чи змінюватись (температура, вологість, освітленість) протягом доби, сезонів, року (мінлива інтенсивність дії фактору).

Зміни екологічних факторів бувають:

- періодичними (залежно від часу доби, пори року, положення Місяця відносно Землі);
- неперіодичними (землетруси, урагани),
- тривалими (зміни клімату, площ суходолу тощо).

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 й що змушують пристосовуватися до них. Екологічні фактори по-різному впливають на організми. Однак у дії всіх факторів є щось спільне, що спричиняє цілком закономірні відповідні реакції, які можна передбачити і відобразити кількісно. Цим загальним законам підкоряється й людина, як біологічна істота.

Живі організми пристосовуються до умов середовища. На них діє не поодинокий фактор, а цілий комплекс. Тому організми пристосовуються до

всього комплексу екологічних факторів. Сукупність умов, у яких мешкають певні особини, популяції, угруповання організмів називається середовищем існування.

Пристосування організмів до умов середовища існування називаються адаптаціями. Адаптації виробляють усі організми, які є на планеті. Вони існують доти, доки не змінюються умови довкілля. Тому адаптації непостійні.

Основні закономірності впливу факторів на організми:

1) правило екологічної індивідуальності – не існує двох близьких видів, подібних за своїми адаптаціями. Наприклад, кріт – риє ґрунт кінцівками, а сліпак – різцями;

2) правило відносної незалежності адаптації – добра пристосованість організмів до певного чинника не означає такої самої пристосованості до інших. Наприклад, річкові раки живуть на дні та живляться живими організмами та рештками, але дуже чутливі до забруднення води;

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

Основна закономірність у впливі екологічних факторів на організми називається законом оптимуму. Результати дії змінного фактору залежать насамперед від сили його прояву, або дозування. Фактори позитивно впливають на організми лише в певних межах. Недостатня або надлишкова їхня дія позначається на організмах негативно.

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

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

Верхня та нижня межі витривалості (критичні точки максимуму та мінімуму) – це значення інтенсивності дії екологічного фактору, за якими існування організмів стає неможливим (рис. 2).



Рис.2 – Крива толерантності (графічне зображення закону оптимуму)

Закон оптимуму універсальний. Він визначає межі умов, у яких можливе існування видів, а також межі коливання цих умов. Ці прості й інтуїтивно давно зрозумілі закони часто грубо порушуються в господарській діяльності, що призводить до забруднення середовища й екологічних катастроф. Надлишок добрив, внесених у ґрунт – причина широко поширеної евтрофікації (цвітіння) водойм. Змивання фосфору й азоту з полів у прісні водойми спричинює бурхливе розмноження бактерій і водоростей. Надлишок отрутохімікатів, що застосовуються в боротьбі зі шкідниками, у кінцевому рахунку через продукти харчування і воду надходять в організм людини, підбиваючи здоров'я. Ці складності створюються самою людиною, що не дотримується кількісних норм впливу на навколишнє середовище.

**Екологічна валентність певного виду** – це діапазон інтенсивності дії екологічного фактору, у якому можливе існування певного виду. Широку екологічну валентність позначають префіксом *еври-* (евритермні, еврибатні тощо), вузьку – *стено-* (стенотермні, стенобатні). Види, що живуть у широкому діапазоні коливань інтенсивності дії факторів, називаються **еврибіонтами**, ті, що у вузькому – **стенобіонтами**.

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

Явище взаємодії екологічних факторів – щодо будь-якого чинника середовища оптимум і межі витривалості можуть зсуватися в певний бік залежно від того, з якою силою і в якому поєднанні діють інші чинники.

Взаємокомпенсація життєво важливих екологічних факторів має певні межі. Жоден із них не може бути замінений іншими. Існування виду стає неможливим, якщо інтенсивність дії хоча б одного чинника виходить за межі витривалості, незалежно від оптимальної інтенсивності дії інших. Наприклад, при недостатній освітленості зріст і розвиток рослини буде гальмуватись, незважаючи на оптимальний полив, мінеральні добавки, родючий ґрунт тощо.

**Обмежувальний фактор** – це такий фактор, інтенсивність дії якого виходить за межі витривалості. Цей фактор визначає територію розселення виду – ареал. Наприклад, тварини, що живуть на півночі (білий ведмідь), не оселяються на півдні.

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

#### 4. Антропогенні фактори, що спричиняють стрес

**Стрес** – це стан критичного навантаження, який проявляється у вигляді специфічного синдрому, що складається з неспецифічних змін всередині біологічної системи. Стрес можна розділити на два типи: **еустрес** – характеризується фізіологічними процесами, які дають змогу організму пристосуватися до змінених умов середовища, та **дистрес** – означає патологічні

процеси, при постійних навантаженнях, які організм не в змозі регулювати короткий або тривалий час.

У біоіндикації під стресом розуміється реакція біологічної системи на екстремальні фактори середовища (стресори), які можуть залежно від сили, інтенсивності, тривалості впливу, більш або менш сильно впливати на систему.

У природних умовах організми часто піддаються впливу різних абіотичних і біотичних стресорів. До екстремальних умов середовища, які ритмічно повторюються, наприклад, холоду, посухи, спеки багато організмів пристосувалися через зміни активності (сплячка, анабіоз), що робить їх стійкими до стресу.

Інші організми можуть ухилятися від впливу екстремальних умов за допомогою специфічних пристосувань (уникнення стресу) – це глибоке укорінення, перехід в інші зони проживання. Толерантність і уникнення створюють стійкість до стресу.

Антропогенні фактори, це тіла, речовини, процеси та явища, які виникають унаслідок господарської та іншої діяльності людини й діють на природу разом із факторами природними. Усю різноманітність антропогенних факторів можна поділити на такі групи:

**Фактори-тіла** – це, наприклад, штучний рельєф (кургани, терикони), водойми (водосховища, канали, ставки), споруди й будівлі тощо. Фактори цієї підгрупи характеризуються чіткою просторовою визначеністю та тривалою дією. Вироблені колись, вони часто існують віками й навіть тисячоліттями. Багато з них поширені на значні площі.

**Фактори-речовини** – це звичайні та радіоактивні хімічні речовини, штучні хімічні сполуки та елементи, аерозолі, стічні води тощо. Вони, на відміну від першої групи, не мають конкретної просторової визначеності, постійно змінюють концентрацію та переміщуються, змінюючи відповідно ступінь впливу на елементи природи. Частина з них із часом руйнується, інші можуть бути присутні в середовищі десятки, сотні й навіть тисячі років (наприклад, деякі радіоактивні речовини), що зумовлює можливість їх акумуляції в природі.

**Фактори-процеси** – це група антропогенних факторів, до якої належать вплив на природу свійських тварин та рослин, знищення шкідливих та розведення корисних організмів, випадкове або цілеспрямоване переміщення організмів у просторі, видобування корисних копалин, ерозія ґрунтів тощо. Ці фактори часто займають обмежені ділянки природи, але іноді можуть охоплювати й великі простори. Крім прямого впливу на природу, часто спричиняють і низку опосередкованих змін. Усі процеси мають високу динаміку й часто односпрямовані.

**Фактори-явища** – це, такі як, тепло, світло, радіохвилі, електричне й електромагнітне поля, вібрація, тиск, звукові ефекти та ін. На відміну від інших груп антропогенних факторів, явища здебільшого мають точні параметри. Як правило, по мірі віддалення від джерела їх вплив на природу зменшується.

На основі викладеного, антропогенними факторами можна називати лише ті вироблені людиною тіла, речовини, процеси та явища, яких не було в природі

до появи людини. У тому випадку, якщо певні антропогенні фактори не існували до появи людини лише у якомусь (певному) регіоні, їх називають регіональними антропогенними факторами; якщо їх не було лише якогось сезону, то їх називають сезонними антропогенними факторами.

Небезпека антропогенних стресорів полягає насамперед у тому, що біологічні системи недостатньо адаптовані до них. Антропогенні стресори створюються з такою швидкістю, що ці системи не встигають активізувати адаптаційні процеси (рис. 3).



Рис. 3 – Хід адаптації до довготривалих екстремальних умов середовища

Виявляючи та вивчаючи антропогенні фактори основна увага приділяється не тим засобам, якими вони вироблені, а тим їх елементам, які викликають зміни в природі.

Є багато класифікацій антропогенних факторів за різними ознаками.

**За природою** антропогенні фактори поділяють на:

- механічні – тиск колесами автомобілів, вирубка лісів, перешкоди на шляху руху організмів тощо;
- фізичні – тепло, світло, електричне поле, колір, зміни вологості тощо;
- хімічні – дія різних хімічних елементів та їх сполук;
- біологічні – вплив інтродукованих організмів, розведення рослин і тварин, лісопосадки тощо.
- ландшафтні – штучні ріки та озера, пляжі, ліси, луки та ін.

**За часом походження** і тривалістю дії антропогенні фактори поділяють на такі групи:

- фактори, вироблені в минулому:
  - а) ті, що припинили свою дію, але її наслідки відчуються й нині (знищення певних видів організмів, надмірний випас худоби тощо);
  - б) ті, що далі діють у наш час (штучний рельєф, водосховища, інтродуковані види тощо);
- фактори, які виробляються в наш час:
  - а) ті, що діють лише в момент виробництва (радіохвилі, шум, світло);
  - б) ті, що діють певний час і після закінчення виробництва (стійкі хімічні забруднення, вирубаний ліс та ін.).



**За ступенем здатності до міграції** антропогенні фактори поділяють на ті, які:

- не мігрують – діють лише в місці виробництва та на деякій відстані від нього (рельєф, вібрація, тиск, звук, світло, завезені людиною нерухомі організми тощо);
- мігрують із потоками води й повітря (пил, тепло, хімічні речовини, гази, аерозолі та ін.);
- мігрують із засобами виробництва (кораблі, поїзди, літаки тощо);
- мігрують самостійно (завезені людиною рухомі організми, здичавіли свійські тварини).

**За здатністю накопичуватися в природі**, антропогенні фактори поділяються на:

- ті, що є лише в момент виробництва, тому за своєю природою не здатні до накопичення (світло, вібрація тощо);
- ті, які здатні зберігатися в природі тривалий час після їх виробництва, що призводить до їх накопичування – акумуляції – і посилення впливу на природу.

До другої групи антропогенних факторів можна зарахувати штучний рельєф, водосховища, хімічні та радіоактивні речовини тощо. Ці фактори є дуже небезпечними, оскільки з часом зростають їх концентрації й ареали, відповідно й інтенсивність впливу на елементи природи. Деякі радіоактивні речовини, здобуті людиною з надр Землі та уведені в активний кругообіг речовин, можуть виявляти радіоактивність упродовж сотень і тисяч років, здійснюючи при цьому негативний вплив на природу. Здатність до акумуляції різко посилює роль антропогенних факторів у розвитку природи, а в поодиноких випадках, навіть є вирішальною у визначенні можливості існування окремих видів та організмів.

**За періодичністю** антропогенні фактори поділяються на:

- безперервно діючі – забруднення атмосфери, води та ґрунту викидами промислових підприємств та вилучення з надр корисних копалин;
- періодичні фактори – оранка ґрунту, вирощування та збирання сільськогосподарських культур, випас свійських тварин та ін. Ці фактори прямо діють на природу лише в певні години, тому вони пов'язані із сезонною й добовою періодичністю дії;
- спорадичні фактори – аварії транспортних засобів, що призводять до забруднення природного середовища, вибухи ядерних і термоядерних пристроїв, лісові пожежі та ін. Вони діють у будь-який час, хоча в деяких випадках можуть бути прив'язані до певного сезону.

Дуже важливо розрізнити антропогенні фактори за тими змінами, до яких призводить або може призводити їхня дія на природу й живі організми. Тому їх поділяють також за стійкістю змін, що вони зумовлюють у природі:

- антропогенні фактори, що спричиняють тимчасові зворотні зміни: будь-яка тимчасова дія на природу, що не призводить до повного знищення видів; забруднення води або повітря нестійкими хімічними речовинами тощо;

– антропогенні фактори, що спричиняють відносно незворотні зміни, – деякі випадки інтродукції нових видів, створення невеликих водосховищ, знищення деяких водойм та ін.;

– антропогенні фактори, що спричиняють абсолютно незворотні зміни в природі, – суцільне знищення певних видів рослин і тварин, повне вилучення з родовищ корисних копалин тощо.

Дія деяких антропогенних факторів може спричинити так званий антропогенний стрес екосистем, який буває двох різновидів:

– гострий стрес, для якого характерні раптовий початок, швидкий підйом інтенсивності й невелика тривалість порушень компонентів екосистем;

– хронічний стрес, який характеризується порушеннями незначної інтенсивності, але вони тривають достатньо довго або часто повторюються.

Природні екосистеми мають здатність протистояти гострому стресу або відновлюватися після нього. Потенційні стресори містять, наприклад, промислові відходи. Особливо небезпечними серед них є ті, до складу котрих входять вироблені людиною нові хімічні речовини, до яких компоненти екосистеми ще не мають пристосувань. Хронічна ж дія цих факторів може призвести до істотних змін у структурі та функціях спільнот організмів у процесі акліматизації та генетичної адаптації до них.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Дайте визначення біоіндикації, її мети, основних завдань, об'єкту та предмету.

2. Розкрийте методи біоіндикації, їх переваги та недоліки.

3. Охарактеризуйте сучасну структуру біоіндикації.

4. Як розвивалася біоіндикація упродовж історії людства?

5. Яку роль в біоіндикації 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. Охарактеризуйте антропогенні фактори, за якими ознаками вони класифікуються?

### **✍** *Практичні завдання*

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.

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

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз біоіндикаторів різних таксономічних категорій

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

## ТЕМА 2. БІОІНДИКАТОР ТА ОБ'ЄКТ БІОІНДИКАЦІЇ

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

### План

1. Визначення й 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.

### 1. Визначення й переваги біоіндикації перед хімічними та фізико-хімічними методами аналізу

Біоіндикація – метод виявлення й оцінки дії абіотичних і біотичних факторів за допомогою біологічних систем. Є два основних методи біоіндикації: пасивний і активний. Пасивна біоіндикація – дослідження у вільно живучих організмів видимих або непомітних ушкоджень і відхилення від норми, що є ознаками несприятливого впливу. Активна індикація, або, біотестування – дослідження тих же впливів у стандартних умовах на найбільш чутливих до цього фактору істотах – тест-організмах.

Живі індикатори не мають бути занадто чутливими й занадто стійкими до забруднення. Необхідно, щоб у них був досить тривалий життєвий цикл. Важливо, щоби такі організми були широко поширені на планеті, причому кожен вид має 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 спричиняє в лишайників такі ушкодження, що не зникають аж до загибелі їхніх сланей. Це пов'язане з тим, що лишайники відновлюють свої клітки дуже повільно, у той час як у вищих рослин пошкоджені тканини замінюються новими досить швидко. Біоіндикація має низку переваг перед інструментальними методами. Вона відрізняється високою ефективністю, не вимагає великих витрат і дає можливість охарактеризувати стан середовища за тривалий проміжок часу.

Фактори середовища досить строго визначають, які організми можуть жити в цьому місці, а які не можуть. З огляду на це, можна використати обернену закономірність і судити про фізичне середовище організму, який у ньому проживає. Так з'явився метод біоіндикації середовища, який особливо широко використовують у лісовій типології, фітоценології, а також для визначення рівня забруднення атмосферного повітря за допомогою лишайників (ліхеноіндикація), мохів (бріоіндикація) чи грибів (мікоіндикація).

Ю. Одум наводить низку суттєвих зауважень, які треба 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. Крупні види є кращими індикаторами, ніж дрібні, оскільки на даному потоці енергії може підтримуватися більша біомаса або «врожай на корені», і ця біомаса розподіляється між крупними організмами. Наприклад, анемона дібровна – вид дібровних умов зростання, який рясно представлений у буковому лісі лише в час цвітіння (весняний аспект). Однак уже в червні годі знайти його сліди. У 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 індикують багаті на азот землі.

Застосування біоіндикації має низку переваг 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, у 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.

**Перевагою методів біоіндикації** перед фізико-хімічними методами є інтегральний характер відповідних реакцій організмів, що:

- підсумовують усі без винятку біологічно важливі відомості про навколишнє середовище і відбивають її стан загалом;
- виявляють наявність у навколишньому природному середовищі комплексу забруднювачів;
- дають змогу визначити ступінь шкідливості тих або інших речовин для живої природи й людини;
- дають можливість контролювати дію багатьох синтезованих людиною сполук;
- в умовах хронічного антропогенного навантаження біоіндикатори

можуть реагувати на дуже слабкі впливи через акумуляції дози;

- фіксують швидкість змін, що відбуваються в навколишньому середовищі;

- вказують шляхи й місця скупчень різного роду забруднень в екологічних системах і можливі шляхи потрапляння цих речовин в організм людини;

- допомагають нормувати припустиме навантаження на екосистеми, які розрізняються по своїй стійкості до антропогенного впливу;

- роблять необов'язковим застосування дорогих трудомістких фізичних і хімічних методів для виміру біологічних параметрів;

- живі організми постійно присутні в навколишньому середовищі й реагують на короточасні й залпові викиди токсикантів, що може не зареєструвати автоматизована система контролю з періодичним добором проб на аналізи.

Підсумовуючи важливість біоіндикаційних методів дослідження, необхідно зазначити, що біоіндикація передбачає виявлення забруднення навколишнього середовища, що вже відбулося або відбувається за функціональними характеристиками особин і екологічними характеристиками угруповань організмів.

## 2. Основні принципи застосування біоіндикації

У природі всі види біоіндикації включені в ланцюг реакцій і процесів, що послідовно протікають. Якщо антропогенний фактор діє безпосередньо на біологічний елемент, то мова йде про пряму біоіндикацію. Але часто біоіндикація стає можливою лише після зміни стану під впливом інших елементів. У цьому випадку ми маємо справу з непрямою біоіндикацією й біоіндикатором. Часто бажано завчасно виявити біологічну дію антропогенного фактору, для того щоб в певних умовах мати можливість впливати на цю дію. Присутність дуже чутливих біоіндикаторів призводить до ранньої індикації, коли реакція проявляється за мінімальними дозами, за короткий проміжок часу і проходить у місці дії фактору на елементарні молекулярні й біохімічні процеси.

В біоіндикації варто враховувати **чотири основних принципи**:

1. Відносна швидкість проведення досліджень. Біоіндикаційні дослідження мають охоплювати одну фенологічну фазу з порівняно однорідними метеорологічними умовами. Біоіндикаційні дослідження для вивчення закономірностей міграції хімічної речовини за харчовими ланцюгами 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 із високою зустрічальністю. Біоіндикатори мають бути добре вивчені й мати на всій території досліджень однорідні властивості.

4. Діапазон похибок у порівнянні з іншими методами тестування має

складати не більш 20%.

### 3. Доцільність біоіндикації. Абсолютні та відносні калібровані стандарти

У біоіндикації розглядається не оцінка присутності, концентрації або інтенсивності того чи іншого параметра, а реакцію біологічних систем, тобто біологічний вплив фактору. Антропогенні впливи являють собою, з одного боку, нові параметри середовища, з іншого боку – зумовлюють 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 (рис. 4).

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 фактору;
- б) експериментальне виключення антропогенних факторів;
- в) порівняння з біологічними системами, які в минулому піддавалися впливу, або слабо чи зовсім не підданих дії антропогенних факторів.

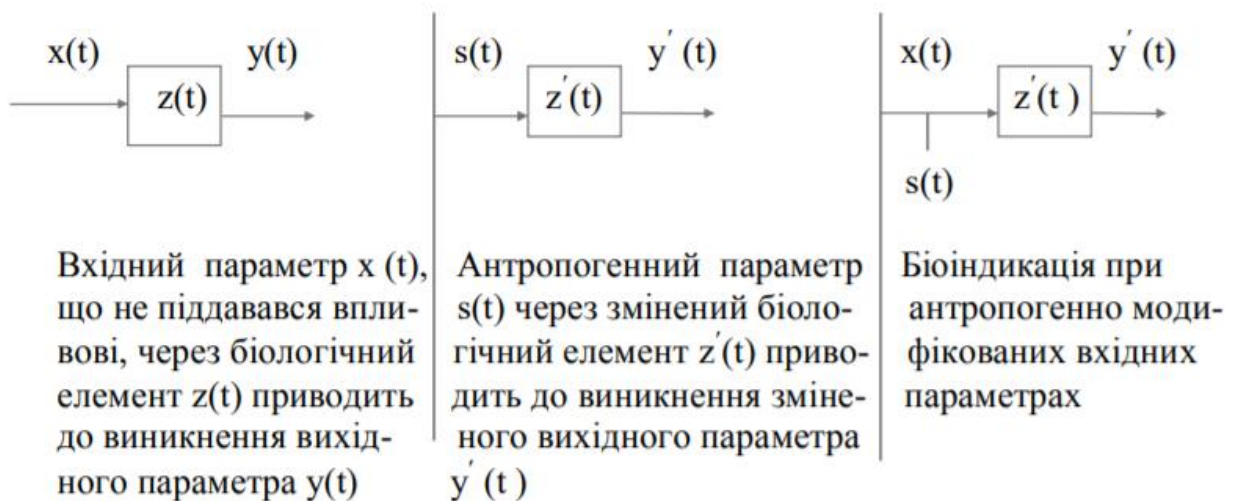


Рис. 4 – Схема доцільності біоіндикації

#### *Відносні стандарти порівняння:*

- а) кореляція зі змінами антропогенних факторів;
- б) встановлення еталонних об'єктів, що випробують незначний або відомий антропогенний вплив.

#### 4. Рівні біоіндикації і принципи добору біологічних показників для біоіндикації

Біоіндикація проводиться на всіх рівнях організації живого: макромолекул, клітин, організмів, популяцій, угруповань і екосистеми.

У відповідності з організаційними рівнями біологічних систем можна встановити різні рівні біоіндикації:

1-й рівень: біохімічні і фізіологічні реакції;

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

3-й рівень: флористичні і фауністичні зміни;

4-й рівень: ценотичні зміни;

5-й рівень: біогеоценотичні зміни;

6-й рівень: зміна ландшафтів.

Зазвичай з підвищенням рівня організації біологічних систем зростає і складність будови, й одночасно ускладнюються їхні зв'язки з навколишнім середовищем. При цьому біоіндикація на нижчих рівнях є складовою біоіндикації на вищих рівнях. У той час як на нижчих рівнях організації біологічних систем переважають прямі, специфічні види індикації, зв'язані з впливом будь-якого визначеного стресора, на вищих рівнях здійснюється непряма біоіндикація.

Механізми, що лежать в основі пошкодження деяких клітин, організмів, популяцій, або угруповань живих організмів за впливом того самого фактору, що ушкоджує, будуть відрізнятися, тому що кожен із рівнів структури живого описується визначеним набором показників, що належать тільки до цього рівня.

Добір цих показників для біоіндикації проводиться виходячи з визначених критеріїв, що утворюють три групи. Перша група складається з критеріїв, що характеризують фундаментальність біологічного впливу, це:

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

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

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

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 діючим забрудненням;

2) інтенсивність діючого фактору, що спричиняє реакцію змінної, що спостерігається

3). межі зміни величини діючого фактору, що викликає ефект, що спостерігається;

4) величина проміжку часу, упродовж 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 біоіндикаторів. Вимоги до біоіндикаторів**

Організми або угруповання організмів, життєві функції яких тісно корелюють із визначеними факторами середовища й можуть застосовуватися для їхньої оцінки, називаються біоіндикаторами.

Біотичний компонент геосистем, що є під впливом літосфери й атмосфери й має велику чутливість до умов середовища існування, можна розглядати як індикатор.

За допомогою біоіндикаторів принципово можливо:

– виявляти місця скупчень в екологічних системах різного роду забруднень;

– простежити швидкість змін, що відбуваються в навколишньому середовищі;

– тільки за біоіндикаторами можна судити про ступінь шкідливості тих або інших речовин для живої природи;

– спрогнозувати подальший розвиток екосистеми.

Якщо біоіндикатор реагує значним відхиленням життєвих показників від норми, то він є чутливим біоіндикатором. 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.

Залежно від часу розвитку біоіндикаційних реакцій можна виділити шість різних типів чутливості.

I тип: біоіндикатор дає через певний час, упродовж якого він ніяк не відповідав на дію (відсутність ефективного рівня), одноразову сильну реакцію і втрачає чутливість (вище верхнього ефективного рівня).

II тип: як і в першому випадку, реакція миттєва й сильна, але продовжується деякий час після чого різко зникає.

III тип: біоіндикатор реагує з моменту виявлення порушеної дії з однаковою інтенсивністю упродовж довгого проміжку часу.

IV тип: після миттєвої сильної реакції спостерігається її припинення, спочатку швидке, потім більш повільніше.

V тип: при появі порушеної дії починається реакція, яка стає все більш інтенсивною, поки не досягне максимуму, а потім поступово припиняється.

VI тип: реакція V-го типу багаторазово повторюється; виникає осциляція біоіндикаторних параметрів (рис. 5).

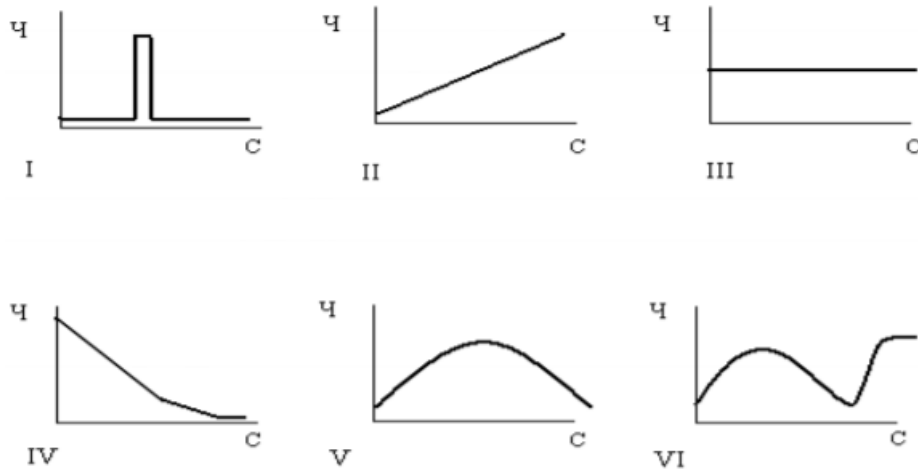


Рис. 5 – Типи чутливості біоіндикаторів, та розвитку реакції в часі (за Stocker, 1980), де: ч – чутливість, с – дія стресора

Біологічні системи, застосування яких можливо для виявлення шкідливих антропогенних речовин, досить різноманітні.

Біоіндикатори розподілені за **шести групами**:

1. Мікробіологія. Мікроорганізми швидко реагують на забруднення води і ґрунту. Деякі мікроорганізми особливо чуттєві до визначених речовин, інші беруть участь у розпаді забруднень. Зміни в угрупованнях мікроорганізмів, зменшення видового складу може бути спричинено присутністю в середовищі специфічних токсичних агентів.

2. Ботаніка. Для виявлення специфічних забруднень повітряного басейну і для відстежування його динаміки можливе застосування чуттєвих видів. До їхнього числа належать нижчі рослини, лишайники, гриби, велика кількість вищих рослин. Відповідний добір організмів дає змогу знайти як тривалі, так і короткочасні впливи забруднення. Толерантні або індикаторні види використовуються для визначення меж поширення певних ґрунтових умов. Вони вказують на рН ґрунту, його родючість, концентрацію важких металів і можуть бути використані для картографування ґрунтів.

3. Зоологія. Вивчення певних видів, а також цілих угруповань може стати джерелом інформації, що стосується нагромадження хімічних речовин у тілі тварин.

4. Клітинна біологія і генетика. Чуттєвими біоіндикаторами є клітинні й субклітинні (в т.ч. хромосоми) компоненти організму, адаптовані до визначених умов природного середовища. Зараз є чисельні тест-системи *in vitro* і *in vivo* для коротко- і довгострокового спостереження за змінами навколишнього середовища.

5. Порівняльна фізіологія. Багато тварин, з появою нових агентів у навколишньому середовищі, змінюють свою поведінку. Забруднювач, потрапивши на покриття тіла або в органи дихання може бути видалений

рефлекторним шляхом. Деякі забруднювачі так змінюють поверхню зіткнення, що порушуються життєво важливі обмінні процеси. Забруднення, що потрапило в організм з їжею – виводиться травним трактом, або проникає в організм, де впливає на функціонування ендокринної, нервової, м'язової, серцево-судинної і видільної систем, функціональні зміни можуть бути досліджені на морфологічному, біохімічному і фізіологічному рівнях і вказують на присутність у навколишньому середовищі небезпечних речовин.

6. Гідробіологія. Зони розподілу або спектр видів, чутливих до якості води, відображають стан водного басейну. Необхідно тільки обрати відповідний вид-індикатор для конкретних токсикантів.

Узагальнена схема сучасної класифікації біоіндикаторів представлена на рис. 6.



Рис. 6 – Класифікація біоіндикаторів

Біоіндикатори можуть бути *прямими й непрямими*. Якщо реакція живого організму спричинена безпосередньо впливом зовнішнього фактору, то мова йде про пряму індикацію. У непрямих індикаторів реакція виникає через систему опосередкованих взаємозалежних реакцій і прямо не зв'язана зі стресовим впливом.

Біоіндикатори бувають *позитивними й негативними*. Позитивні біоіндикатори характеризуються збільшенням реакції (кількісних характеристик) зі збільшенням стресового фактору.

*Залежно від реакції біоіндикатора на певний стресовий фактор* виділяють специфічний і неспецифічний характер біоіндикації. У випадку специфічної біоіндикації реакція організму є характерною для якого-небудь стресора. Є такі види, у яких можуть з'являтися явні симптоми впливу, що свідчать про присутність у навколишньому середовищі одного або декількох забруднюючих речовин. Вони можуть також виявляти і специфічні симптоми,

що дає змогу проводити й кількісні виміри рівня забруднення. Однак часто в біоіндикаторів, особливо рослин, та сама реакція спричинена різними стресорами або їх сукупністю.

Здатність організмів однаково реагувати на зміну факторів середовища ускладнює виявлення справжніх причин прояву реакції. У такому випадку говорять про неспецифічну індикацію. Ця властивість біоти ускладнює процес одержання інформації з принципу «вплив – реакція». Для виявлення причин порушень необхідні вивчення хімічного складу абіотичних компонентів екосистеми й порівняльна оцінка нагромадження поллютантів у рослинах із фоновими характеристиками.

Якщо в біоіндикаційних дослідженнях використовується один параметр, то говорять про *частковий біоіндикатор*. У тому випадку, коли застосовується система біоіндикаційних ознак, говорять про *комплексний біоіндикатор*.

Біоіндикація може проводитися при наземних польових дослідженнях і при дешифруванні аерокосмічних матеріалів. *За ступенем дешифрування* індикатори діляться на аерофотогенічні (добре помітні на матеріалах дистанційних зйомок) й ультрадеципієнтні (помітні при детальних наземних дослідженнях).

*За ступенем 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 усього ареалу; регіональні – що зберігають своє значення лише в межах однієї чи декількох областей із подібними фізико-географічними умовами; локальні – що здатні утворювати стійкий зв'язок з об'єктом індикації тільки на визначеній території.

Панареальні індикатори зазвичай є прямими, регіональні й локальні індикатори частіше бувають непрямыми.

Істотною рисою біоіндикаторів є чутливість. Проява реакції організму за незначними відхиленнями 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 належать лишайники, мохи, ґрунтові і водні мікроорганізми (водорості, бактерії, мікрогриби). У ролі біоіндикаторів можуть бути використані пилки 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.).

Чутливими біоіндикаторами можуть слугувати як певні процеси в клітині й організмі (зміна ферментативної активності, зміна в пігментному комплексі), так і морфологічні зміни (зміни форми й розміру листкової пластинки, зменшення тривалості життя хвої).

*За ступенем вірогідності* виділяють такі індикатори:

Виняткові – поширені тільки на об'єкті індикації й не зустрічаються на

інших. Спряженість 95-100 %.

Постійні – поширені майже на всіх об'єктах індикації і практично не зустрічаються на інших. Спряженість 80-95 %.

Змінні – поширені здебільшого на об'єктах індикації, але зустрічаються й на інших. Спряженість 60-80 %.

Відносні – поширені на об'єктах індикації в тій же кількості, що й на всіх інших об'єктах. Спряженість 40-60 %.

Індиферентні – не мають переваги в поширенні на об'єкті індикації й зустрічаються рівнозначно на інших об'єктах. Спряженість 40-10 %.

Негативні – поширені на об'єктах фону й не зустрічаються зовсім або дуже рідко на об'єкті індикації. Спряженість 0-10 %.

Одна з розповсюджених шкал вірогідності приведена нижче (табл. 2).

Таблиця 2 – Шкала вірогідності індикатора

Число випадків, у % від загальної кількості		Ступінь вірогідності
індикатор, що виявлений на об'єкті індикації	індикатор, що виявлений поза об'єктом індикації	
100	0	Найвища (абсолютний індикатор)
90	10	Висока (надійний індикатор)
75-89	11-25	Достатня (задовільний індикатор)
61-74	26-39	Низька (сумнівний індикатор)
60	40	Незначна (індикація не можлива)

Для оцінки індикаторної значимості визначають частоту зустрічальності індикатора у відсотках, по величині якої Б. В. Віноградов (1964) запропонував виділяти такі індикатори:

Фонові – зустрічаються на 80-100 % майданчиків об'єкта індикації.

Рясні – зустрічаються на 60-80 % майданчиків об'єкта індикації.

Спорадичні – зустрічаються на 40-60 % майданчиків об'єкта індикації.

Рідкісні – зустрічаються на 20-40 % майданчиків об'єкта індикації.

Одиничні – зустрічаються на 5-20 % майданчиків на об'єкта індикації.

Індикатори можуть мати різні спряженість і зустрічальність. З огляду на співвідношення спряженості й зустрічальності, виділяються такі біоіндикатори:

Абсолютні – мають найбільше індикаторне значення. Вони характеризуються високою спряженістю і високої зустрічальністю.

Унікальні – мають високу спряженість і знижену зустрічальність на об'єкті індикації.

Вульгарні – мають низьку спряженість, але високу зустрічальність на об'єкті індикації.

Біологічні методи допомагають діагностувати негативні зміни в природному середовищі за низькими концентраціями забруднюючих речовин. При цьому види, що використовуються – біоіндикатори мають задовольняти

таким вимогам:

- індикаторами мають бути види, які характерні для природної зони, де розташовується об'єкт індикації;
- організми-індикатори мають бути поширені на всій території, що досліджується;
- індикатори мають мати чітко виражену кількісну і якісну реакцію на відхилення властивостей середовища існування від екологічної норми;
- біологія видів-індикаторів має бути добре вивчена.

## 6. Неспецифічна і специфічна біоіндикація

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 біоіндикаційних методів досліджень перед інструментальними.
2. Охарактеризуйте принципи застосування біоіндикації.
3. Як охарактеризувати доцільність біоіндикації? Що таке абсолютні та відносні стандарти?
4. Які принципи використовуються при доборі біологічних показників?
5. Назвіть рівні біоіндикації та групи біоіндикаторів.
6. Що таке біоіндикатор?
7. Взаємозв'язок чутливості та вірогідності біоіндикаторів.
8. Які вимоги висуваються до біоіндикаторів?
9. Як класифікуються біоіндикатори?
10. Охарактеризуйте неспецифічну та специфічну біоіндикацію.

### *Практичні завдання*

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?

### **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 добору 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.

#### **1. Поняття про забруднення. Основні речовини – забруднювачі атмосфери, водного басейну, ґрунтів**

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.

Безпосередньо об'єктами забруднення (акцепторами забруднених речовин) є основні компоненти екотопу (місце існування біотичного угруповання):

- атмосфера,
- вода,
- ґрунт.

Опосередкованими об'єктами забруднення (жертвами забруднення) є складові біогеоценозу:

- рослини,
- тварини,
- гриби,
- мікроорганізми.

Втручання людини в природні процеси в біосфері, котре спричиняє небажані для екосистем антропогенні зміни, можна згрупувати за наступними видами забруднень:



– інгредієнтне забруднення – це забруднення сукупністю речовин, кількісно або якісно ворожих природним біогеоценозам (інгредієнт – складова частина складної сполуки або суміші);

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

– біоценотичне забруднення полягає у впливі на склад та структуру популяції живих організмів;

– стаціонально-деструкційне забруднення (стація – місце існування популяції, деструкція – руйнування) спричиняє зміну ландшафтів та екологічних систем у процесі природокористування.

Проникнення різних забруднювачів у природне середовище може мати небажані наслідки, зокрема:

– завдання шкоди рослинності і тваринному світу (зниження продуктивності лісів і культурних рослин, вимирання тварин);

– порушення стійкості природних біогеоценозів;

– завдання шкоди майну (корозія металів, руйнування архітектурних споруд та ін.);

– шкода здоров'ю людини тощо (табл. 4).

Таблиця 4 – Основні забруднювачі біосфери та їхній вплив на здоров'я людини

Забруднювач	Вплив на здоров'я людини (у значних концентраціях)
Оксид карбону(CO)	Агресивний газ, що сполучається з гемоглобіном крові й утворює карбоксигемоглобін, що може призвести до (залежно від концентрації): погіршення гостроти зору та здатності оцінювати тривалість інтервалів часу; змін у роботі серця та легенів; головного болю, сонливості, порушення дихання й навіть смерті
Оксиди сірки	Подразнюють слизові оболонки очей та ротової порожнини, а також: спричиняють респіраторні симптоми: утруднене дихання, кашель із виділенням мокротиння, задишку; хронічну обструктивну легенеvu недостатність, смертність від респіраторних та серцево-судинних хвороб
Оксиди нітрогену	Спричиняють хронічну обструктивну легенеvu недостатність, посилення респіраторних симптомів: кашель, головний біль, блювоту
Вуглеводні (бензин, метан, пентан, гексан)	Мають наркотичну дію, спричиняють головний біль, запаморочення
Формальдегід	Спричиняє подразнення очей, носа й горла, нудоту, рак носової порожнини

Свинець	Спричиняє головний біль, анемію, нервові розлади, пологові дефекти, затримку розвитку, дебілізм
Ртуть	Може призвести до ураження центральної та вегетативної нервової системи, печінки, нирок, органів травлення
Кадмій	Спричиняє ушкодження нирок, анемію, хворобу легенів, високий кров'яний тиск; можливі також онкологічні захворювання, ушкодження плоду
Пестициди	Причиняє рак, ушкодження печінки, ембріонів
Нітрати	Спричиняють утруднення дихання, підвищують дитячу смертність, хімічно перетворюючись породжують канцерогенні сполуки
Радіонукліди	Призводять до онкологічних захворювань, генетичних мутацій
Тверді завислі частки	Спричиняють бронхіти, ослаблюють легеневу функцію, вірогідне скорочення середньої тривалості життя

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

## 2. Джерела антропогенного забруднення

Поряд із виснаженням природних ресурсів збільшення чисельності населення планети створює небезпеку глобального забруднення середовища мешкання, яке призводить до непередбачуваних катаклізмів: епідемій, погіршення якості води, їжі та життя загалом.

За статистикою, серед усіх джерел забруднення на першому місці – відпрацьовані гази автотранспорту (до 70% усіх хвороб у містах спричинено ними), на другому – викиди теплових електростанцій, на третьому – хімічна промисловість.

Швидкими темпами відбувається забруднення атмосфери. Оскільки поки що основним способом отримання енергії залишається спалювання викопного палива, то з кожним роком зростає споживання кисню, та збільшення вмісту вуглекислого газу, оксидів нітрогену, чадного газу тощо, та великої кількості сажі, пилу і шкідливих аерозолів.

Більш ніж 10 млрд. т. умовного палива спалюється щорічно у світі, і при цьому в повітря викидається більш ніж 1 млрд. т. різних завислих часток, серед яких багато канцерогенних речовин. За останні 100 років в атмосферу потрапило понад 1 млн. т. кремнію, 1,5 млн. т. миш'яку, 900 тис. т. кобальту. Тільки в атмосферу США щорічно викидається понад 200 млн. т. шкідливих речовин (100 млн. т. оксидів вуглецю, 37 млн. т. оксидів сірки, 30 млн. т. вуглеводнів, 20 млн. т. оксидів азоту і 30 млн. т. різноманітного пилу).

Забруднення атмосфери шкідливо не тільки для дихання населення планети, воно, зменшує прозорість атмосфери, через яку відбувається взаємодія планети з космосом, передусім із випромінюванням Сонця. Вважають, що сьогодні в атмосфері перебуває майже 20 млн. т. завислих часток.

Катастрофічних розмірів набуло забруднення океану нафтопродуктами, отрутохімікатами, синтетичними миючими засобами, нерозчинними пластиками. Зараз в океан потрапляє біля 30 млн. т. нафтопродуктів за рік. Неважко підрахувати, зважаючи на повільні темпи розчинення нафти у воді, що значна частина поверхні океану вкрита нафтовою плівкою. Деякі спеціалісти вважають, що її загальна площа складає 1/5 від площі океану. Нафтова плівка таких розмірів дуже небезпечна, тому що вона порушує газо- і водообмін між атмосферою й гідросферою, пригнічує розвиток життя, особливо планктону.

Антропогенна міграція хімічних елементів стала основним чинником змін у навколишньому середовищі. Природне надходження хімічних елементів із надр ледве досягає 1 % від антропогенних надходжень. Якщо приріст світового виробництва сталі залишиться на сучасному рівні (приблизно 5 % на рік), то вміст оксидів заліза в ґрунті та у воді через 50 років подвоїться. За цей час за браком регулювальних заходів концентрація свинцю в навколишньому середовищі зросте в 10 разів, ртуті – в 100, миш'яку – у 250 разів. Зазначено, що вміст свинцю в кістках сучасної людини приблизно в 50 разів вищий, ніж у рештках наших давніх пращурів, а концентрація ртуті в сьогоднішніх організмах у 100-200 разів перевищує її вміст у ґрунті, природних водах і повітрі.

На стан природного середовища земної поверхні великий вплив справляє теплове забруднення. При спалюванні палива сучасне людство вивільняє в рік 34-1015 кКал тепла, яке розсіюється в навколишньому просторі, змінюючи температурний режим середовища й динаміку процесів, які в ньому відбуваються. Особливо інтенсивно при цьому змінюються темпи процесів окислення, через те, що вміст кисню в середовищі істотно змінюється залежно від перепадів температури.

Після проходження через градирні ТЕЦ і ГРЕС вода повертається у водоймища без забруднених речовин, але різке підвищення температури води знижує вміст у ній кисню, пригнічує діяльність аеробних бактерій. Вода загниває, і вищі форми життя в ній гинуть, а нижчі рослини бурхливо розростаються.

Крім того, різка зміна температурного балансу середовища внаслідок теплового забруднення починає помітно відбиватися на погоді й навіть на кліматі в загалом, що особливо помітно в районі великих міст і великих промислових центрів. Перепад температури між центром великого міста й околицею становить 2-4 °С.

До серйозних чинників забруднення середовища, крім зазначених, належить: підвищення фону електромагнітного випромінювання від численних електротехнічних пристроїв, підвищення звукового фону в середовищі (інфра- та ультразвук, шуми), а також підвищення радіоактивного фону.

Забруднення середовища негативно відображається на здоров'ї людей і

тривалості життя. Незважаючи на успіхи медицини й санітарного обслуговування збільшується кількість хворих на серцево-судинні, онкологічні захворювання, хвороби шлунку, печінки й нирок. Зростає чисельність вроджених патологій. Від хвороб, спричинених забрудненням води, щорічно вмирає приблизно 5 млн. немовлят. У промислово розвинутих країнах зафіксовані нові захворювання, що пов'язані з різними забрудненнями. Так, у Японії стала відома хвороба під назвою «ітай-ітай», яка виникає через отруєння кадмієм і вражає майже всі внутрішні органи.

У цій країні стала також відома хвороба «мінамата» – отруєння людей сполуками ртуті. Характерною ознакою хвороби є сильний розлад нервової системи. Збільшилася кількість випадків задухи під час смогів, які нависають над великими містами промислово розвинутих країн. Під час одного зі смогів у Лондоні загинуло майже 4 тис. жителів, які страждали на хвороби дихальних шляхів. Медичні служби сигналізують про перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК) шкідливих речовин не тільки на деяких підприємствах і прилеглих до них районах, але й на території цілих міст. Особливо великої шкоди жителям міст завдало масове виробництво й широке використання автомобільного транспорту.

### **3.Класифікація забруднень: природні та антропогенні забруднення. Фізичні, хімічні та біологічні забруднення**

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

Забруднювачі бувають природні й антропогенні, а також первинні (безпосередньо з джерела забруднення) і вторинні (внаслідок розкладу первинних або хімічних реакцій). Ще виділяють забруднювачі стійкі (ті, що не розкладаються), які акумулюються в трофічних ланцюгах.

Розрізняють природне забруднення, яке виникає внаслідок потужних природних процесів (виверження вулканів, лісові пожежі, вивітрювання тощо) без будь-якого впливу людини, й антропогенне, яке є результатом діяльності людини й інколи за масштабами впливу переважає природне. Різні типи забруднення можна розділити на три основні: фізичне, хімічне та біологічне.

**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. Джерелами теплового забруднення в межах міських територій є: підземні газопроводи промислових підприємств (140-160°C), теплотраси (50-150°C), збірні колектори й комунікації (35-40°C) тощо. До фізичного забруднення можна віднести вплив шуму, електромагнітне випромінювання, джерелами якого є високовольтні лінії електропередач, електростанції, антени радіо- і телекомунікаційних станцій, а останнім часом

також деякі побутові електроприлади. Встановлено, що через тривалий вплив електромагнітних полів, навіть у здорових людей спостерігається перевтома, головний біль, почуття апатії та ін.

**Хімічне забруднення** – збільшення кількості хімічних компонентів певного середовища, а також; проникнення (введення) у нього хімічних речовин, не притаманних йому або в концентраціях, котрі перевищують норму. Найнебезпечнішим для природних екосистем і людини є саме хімічне забруднення, яке отрує навколишнє середовище різними токсикантами (аерозолі, хімічні речовини, важкі метали, пестициди, пластмаси, детергенти та ін.). За підрахунками спеціалістів, у наш час у природному середовищі міститься 7-8,6 млн. різних хімічних речовин, причому їхня кількість щорічно поповнюється ще на 250 тис. нових сполук. Багато хімічних речовин мають канцерогенні та мутагенні властивості, серед яких особливо небезпечними є 200 (список складений експертами ЮНЕСКО): бензол, азбест, бензопірен, пестициди, важкі метали (особливо ртуть свинець, кадмій), різноманітні фарбники й харчові добавки.

**Біологічне забруднення** – випадкове або пов'язане з діяльністю людини проникнення в екосистеми не притаманних їй рослин, тварин і мікроорганізмів (бактеріологічне); часто справляє негативний вплив під час масового розмноження нових видів. Особливо забруднюють середовище підприємства, які виробляють антибіотики, ферменти, вакцини, сироватки, кормовий білок, біоконцентрати та ін., тобто підприємства промислового біосинтезу, у викидах якого наявні живі клітини мікроорганізмів. До біологічного забруднення можна віднести надмірну експансію живих організмів. Так, у містах наявність звалищ, несвоєчасне прибирання побутових відходів призвели до значного збільшення синантропних тварин: щурів, комах, голубів, ворон та ін.

#### 4.Критерії оцінки забруднення навколишнього середовища

У якості критеріїв кількісної оцінки рівня забруднення навколишнього середовища можуть бути використані індекс забруднення, гранично допустима, фонові й токсичні концентрації.

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

**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. Гранично допустимі концентрації речовин, що забруднюють біосферу, вводилися як нормуючі показники в багатьох країнах, у тому числі й у нашій країні. Вони встановлювалися в приземній атмосфері, водах, ґрунтах, рослинах, продуктах харчування.

Сучасна система ГДК недостатньо достовірно 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 певного важкого металу.

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

Під токсичною концентрацією розуміють або концентрацію шкідливої речовини, яка здатна при різній тривалості впливу спричинити загибель живих організмів, або концентрацію шкідливого агенту, що спричиняє загибель живих організмів протягом 30 діб у результаті впливу на них шкідливих речовин.

В основі рекомендацій щодо зміни виробництва для 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>. Ця концентрація при щоденній (крім вихідних днів) роботі в межах 8 год або іншій тривалості, але не більш ніж 41 годину на тиждень, протягом усього робочого часу не має спричинити в стані здоров'я теперішнього й наступного поколінь захворювань або відхилень, що виявляються сучасними методами дослідження в процесі роботи. Робочою зоною вважається простір висотою до 2 м над рівнем підлоги або майданчика, на якій розташовані місця постійного або тимчасового перебування працюючих;

**ГДКм.р.** – гранично допустима максимальна разова концентрація речовини в повітрі населених пунктів, мг/м<sup>3</sup>. Ця концентрація при вдиханні упродовж 20 хв. не має спричинити рефлексних (у тому числі субсенсорних) реакцій в організмі людини;

**ГДКс.д.** – гранично допустима середньодобова концентрація токсичної речовини в повітрі населених пунктів, мг/м<sup>3</sup>. Ця концентрація не має надавати на людину прямого або непрямого шкідливого впливу при необмежено тривалому вдиханні.

У водному середовищі:

**ГДКв.** – гранично допустима концентрація речовини у воді водойми господарсько питного та культурно-побутового водокористування, мг/л. Ця концентрація не має спричинювати прямого чи непрямого впливу на органи людини протягом усього його життя, а також впливати на здоров'я наступних поколінь і не має погіршувати гігієнічні умови водокористування;

**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** – кількість кисню, використаного при біохімічних процесах окислення органічних речовин (виключаючи процеси нітрифікації) за певний час інкубації проби (2, 5, 20, 120 діб), мг O<sub>2</sub>/л води (БПК<sub>2</sub> – за 20 діб, БСК<sub>5</sub> – за 5 діб);

**ХПК** – **хімічна потреба в кисні**, визначається біхроматним методом, тобто

кількість кисню, еквівалентну кількості окиснювача, що витрачається, необхідного для окислення всіх відновників, що містяться у воді, мг O<sub>2</sub>/л води.

По відношенню БПКП/ХПК роблять висновки про ефективність біохімічного окислення речовин.

У ґрунті:

**ПДК<sub>г</sub>**. – гранично допустима концентрація речовини в орному шарі ґрунту, мг/кг. Ця концентрація не має спричинити прямого й непрямого негативного впливу на здоров'я людини, а також на здатність ґрунту до самоочищення;

**ГДК<sub>пр</sub>**. (ДОК) – гранично допустима концентрація (Допустима залишкова кількість) речовини в продуктах харчування, мг/кг.

Якщо величина ГДК у 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).

Для токсичних речовин безпечна концентрація визначається співвідношенням

$$C/ГДК \leq 1,$$

де С – фактична концентрація речовини в середовищі.

Розглянемо приклад: припустимо, що в повітрі концентрація фенолу С<sub>ф</sub> = 0,345 мг/л, ацетону С<sub>ац</sub> = 0,009 мг/л, а ГДК<sub>ф</sub> = 0,35 мг/л, ГДК<sub>ац</sub> = 0,01 мг/л. Таким чином, для кожної з речовин зазначене співвідношення менше 1:

$$C_1 / ГДК_1 < 1; C_2 / ГДК_2 < 1.$$

Але оскільки ці речовини мають ефект сумачії, то загальне забруднення фенолом і ацетоном перевищить гранично допустиме, оскільки

$$C_1 / ГДК_1 + C_2 / ГДК_2 = 0,986 + 0,9 = 1,886 > 1.$$

Отже, сума відносин концентрацій до ГДК речовин, що здатні до ефекту сумачії, не має перевищувати одиниці.

Для більш повної оцінки якості середовища порівняно недавно почали використовувати інший критерій – ГДЕН – гранично допустиме екологічне навантаження, для води – це ГДС – гранично допустимий скид, г/с; для повітря – ГДВ – гранично допустимий викид, г/с. Ці величини характеризують навантаження, яке спричинює підприємство на навколишнє середовище в одиницю часу.

## 5.Методи визначення забруднень. Методика добору проб

Для оцінки рівня забруднення водного середовища використовуються традиційні прилади фізико-хімічного аналізу, а також хроматографи. Контролюється мутність, колір, запах, твердість, питома електрична провідність, редокс-потенціал, активність водневих іонів (рН), рівень насичення киснем, активність і концентрація іонів різних речовин, що надходять у воду у вигляді забруднень, й інші параметри (температура, тиск, швидкість потоку).

Хімічний аналіз води здійснюється за допомогою лабораторних комплектів аналізу води. У ці комплекти входять хімічні розчини, порцеляновий

і скляний посуд, допоміжне обладнання, необхідне для збору й обробки проб, виконання хімічного аналізу. Фізико-хімічні властивості води визначаються з використанням фотоколориметра, атомно-абсорбційних, інфрачервоних, калориметричних спектрометрів, іонометрії, комплексних аналізаторів якості води.

Для контролю стану поверхні земель, якісного й кількісного складу ґрунтів, оцінки рівня і складу забруднень використовуються стандартні прилади та обладнання (рефрактометри, спектрометри, хроматографи), а також низка спеціальних приладів, призначених для визначення щільності, властивостей ґрунтів (твердомір, глибинний гамма щільномір, вимірник об'ємної вологості), параметрів снігового покриву.

Широко використовується переносний лабораторний комплект визначення гідрофізичних і фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Седиментація атмосферних транспортних аерозолів, зокрема, важких металів, призводить до забруднення рослинності. Наземні частини рослин акумулюють атмосферні забруднення, і їх хімічний склад може бути індикатором для виділення територій із високим рівнем впливу транспортних засобів.

Вимірювані параметри:

- фізіологічний стан рослин;
- елементний склад тканин рослини.

Візуальна оцінка забруднення – прояв надмірного (вище встановлених норм) вмісту різних речовин у зеленій масі будується на ідентифікації явно виражених змін виду рослин:

- мідь – темно-зелене листя, товсті короткі коріння;
- залізо – темно-зелене забарвлення листя, сповільнений ріст надземних частин рослини;
- цинк – хлороз і некроз решток листя, міжжілковий хлороз молодого листя;
- свинець – темно-зелене листя, бурі короткі коріння, скручування старого листя;
- кадмій – бурі краї листя, червонуваті жилки й черешки, скручені листя й бурі недорозвинені коріння.

Визначення концентрації токсичних елементів у тканинах рослин здійснюється за водною витяжкою в лабораторних умовах методами, розглянутими вище.

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

При проведенні фітоіндикаційних досліджень, та виборі біоіндикатору, необхідно дотримуватися таких рекомендацій:

1. Вивчати одновікові екземпляри.
2. Відбирати середню пробу з декількох екземплярів рослин (8–10



екземплярів).

3. Проводити добір проб з однієї висоти й за всією окружністю крони дерев.

4. Оцінювати покриття лишайників на стороні їхнього максимального розвитку.

5. Проводити добір проб на аналіз вмісту хімічних речовин з певних органів: листя, гілок, кори, деревини і т.ін.

### **6. Кількісні критерії оцінки фактичного рівня забруднень. Роль галузей господарства у виникненні екологічних проблем**

Комплекс складних науково-прикладних завдань, вирішення яких можливо екотоксикологією, дає можливість зробити кількісну оцінку порогового ефекту токсикологічного впливу, що має місце в системах «токсикант – навколишнє середовище» й «токсикант – живий організм» згідно рівняння:

$$D_r = D_o - (D_e + D_m),$$

де  $D_r$  – доза шкідливої речовини, що досягла рецептора;

$D_o$  – доза шкідливої речовини, введена в організм;

$D_e$  і  $D_m$  – дози шкідливої речовини, відповідно виділені з організму і знешкожені в процесі просування отрути до рецептора.

Концепція пороговості передбачає високу якість середовища й повну безпеку для людини й будь-яких популяцій за умови забруднення цього середовища нижче певного рівня, вплив якого на будь-які організми менше деякого порогового значення.

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

На частку теплових електростанцій припадає 35 % сумарного забруднення води промисловістю і 46% – повітря. Вони викидають сполуки сульфуру, карбону й нітрогену, споживають велику кількість води (50% і більше водогону); для отримання однієї кВт години енергії теплові електростанції витрачають орієнтовно 3 л води (атомні – ще більше: 6-8 л). Стічні води теплових електростанцій забруднені й мають високу температуру, що створює не тільки хімічне, але й теплове забруднення водоймищ.

Металургійні підприємства характеризуються високим рівнем споживання ресурсів і великою кількістю відходів. Серед яких пил, оксид вуглецю, сірчистий ангідрид, коксовий газ, фенол, сірководень, вуглеводні (зокрема, бензопірен). Металургійна промисловість використовує велику кількість води, яка забруднюється в процесі виробництва.

Найбільш небезпечними в хімічній промисловості є виробництва аміаку, кислот, анілінових фарб, фосфорних добрив, хлору, пестицидів, синтетичного каучуку, каустичної соди, ртуті, карбїду кальцію, фтору тощо.

Великий внесок у забруднення атмосфери роблять автомобілі. Автомобільний транспорт з'явився наприкінці XIX ст. Збудовано понад 10 млн. км. доріг, які відібрали в людства більш ніж 50 млн. га землі, випущено майже 1

млрд. автомобілів.

При будівництві сучасної швидкісної автотраси обсяг ґрунтових робіт перевищує 50 тис. м<sup>3</sup>/км; із землекористування вилучається приблизно 5 га/км, а разом з інфраструктурою – до 10 га/км. Автомобільний транспорт дає 70-90 % забруднень у містах. Його викиди містять біля 20 канцерогенних речовин та більш ніж 120 токсичних сполук, серед них оксид карбону, двооксид нітрогену, свинець, токсичні вуглеводи (бензол, толуол, ксилол та ін.). Взаємодія вуглеводнів та оксидів нітрогену за високою температурою призводить до утворення озону (O<sub>3</sub>). Якщо в шарі атмосфери загалом (особливо на висоті 20-30 км) досить високий вміст озону вкрай необхідний для захисту органічного життя від жорсткого ультрафіолетового випромінювання, то біля земної поверхні підвищений вміст озону пригнічує рослинність, подразнює дихальні шляхи і ушкоджує легені.

Джерелом підвищеної небезпеки для навколишнього середовища став не лише сам автомобіль, але і траса (смуга забруднення вздовж автошляхів становить до 300 м), системи обслуговування (нафтосховища, станції технічного обслуговування, мийки тощо).

У деяких країнах (Франція, Італія, США, Японія) кількість автомобілів уже можна зіставити з числом жителів. У США, наприклад, на 200 млн. населення припадає 104 млн. авто. Відомо, що на кожні 1000 км пробігу автомобіль споживає річну норму кисню однієї людини.

Основні екологічні проблеми, пов'язані з використанням транспорту, можна об'єднати в такі групи:

- транспорт – споживач палива;
- транспорт – джерело хімічного забруднення повітря;
- транспорт – джерело шумового забруднення.

Значні забруднення дає целюлозно-паперова промисловість. За об'ємом забруднених стоків вона займає перше місце (понад 15 %). Питомі витрати води становлять 300-350 м<sup>3</sup> на 1 т продукції. У стічних водах підприємств цієї промисловості нараховується більш ніж 500 компонентів, причому ГДК визначено лише для 55. Найбільшу небезпеку становлять сполуки сульфуру і хлору, розчинна органіка.

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 має 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 Силіконової долини (південне узбережжя затоки Сан-Франциско), де зосереджено центри електронної й аерокосмічної промисловості.

Наприклад, виробництво комп'ютерів потребує енергії й води. Особливо

енерго- і водомістким є виробництво силіконових напівпровідників, з яких виготовляють комп'ютерні чіпи. Один великий завод із виробництва напівпровідників, який виготовляє 5000 8-дюймових плат на тиждень, може споживати стільки ж електроенергії і води, як невелике місто.

Ще одна екологічна проблема виникає внаслідок ускладнення конструкції машин. Вони виготовляються з тисяч деталей, з різних компонентів: чорних і кольорових металів, пластмас, деревини, гуми, скловолокна, композиційних матеріалів. Це ускладнює їхню утилізацію після закінчення терміну служби. Строк служби стає все коротшим у зв'язку з прискореним розвитком техніки, що спричиняє швидке моральне старіння машин. Внаслідок цього все частіше вироби й матеріали, ще придатні за своїми технічними якостями, опиняються на звалищах. Наприклад, Корпорація мікроелектроніки й комп'ютерної технології проаналізувала відходи, які створюються під час виробництва типової комп'ютерної робочої станції. Це дослідження виявило, що при виробництві 25-кілограмового комп'ютера створюється 63 кг відходів, 22 кг із яких токсичні.

Дуже велику 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, вивітрюється. Ефективність використання пестицидів постійно знижується через звикання шкідників до них, і для того, щоби досягнути попередніх результатів, потрібно все більшу їхню кількість. До того ж, пестициди, які пригнічують розмноження комах одних видів, сприяють інтенсивному розмноженню популяцій комах, які мали до цього малу чисельність, через те, що отрутохімікати сильніше впливають на ворогів шкідників, ніж на них самих. При розкладанні пестицидів у ґрунті, воді й рослинах часто утворюються ще більш стійкі токсичні метаболіти. Пестициди та їхні метаболіти ефективно переносяться по харчових ланцюгах, накопичуючись у кінцевих частинах. Унаслідок цього щорічно у світі фіксується 0,5 млн. випадків отруєнь пестицидами.

Значне забруднення ґрунтів, а потім і сільськогосподарських культур пов'язано з використанням мінеральних добрив. Щорічно у світі на поля вноситься 400-500 млн. т мінеральних добрив, гіпсу і фосфоритів.

Значні локальні забруднення дають великі тваринницькі комплекси, з яких у навколишнє середовище потрапляють гній, залишки силосу й кормових добавок, у яких часто містяться сальмонели та яйця гельмінтів.

В основі заходів щодо зниження чи запобігання забруднень навколишнього середовища лежить контроль за вмістом шкідливих речовин. Контроль стану складових доквілля здійснюється з використанням хімічних, фізико-хімічних і фізичних методів аналізу, які лежать в основі стандартизації та контролю за станом доквілля.

### **?** *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 забруднюють атмосферу, водні ресурси та ґрунти?
6. Які методи визначення забруднень Вам відомі?
7. Які показники використовують для визначення забруднення?
8. Які хвороби людини спричинені 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 виявлення 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 значенню 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  $25^\circ\text{C}$ .

## **ТЕМА 4. БІОІНДИКАЦІЯ НА РІЗНИХ РІВНЯХ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОГО. МОЛЕКУЛЯРНИЙ ТА КЛІТИННИЙ РІВЕНЬ**

**Мета:** визначити особливості біоіндикаційних досліджень на молекулярному та клітинному рівнях організації живої матерії. Розкрити біоіндикаційні 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 біоіндикації.

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

### **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 й до різних таксонів, ми спостерігаємо більше подібності, чим розходження. Високий ступінь подібності молекулярно-клітинної організації й біохімічних перетворень у порівнянні з більш високими рівнями організації характерний для всього живого. Це простежується переходячи від найнижчого рівня організації живого до вищого. Суттєві розходження виявляються, навіть, у близькоспоріднених видів тільки переходячи на більш високі рівні організації (тканинно-органний, організмовий, популяційно-видовий).

Тому, відповідні реакції різних організмів, що належать до однієї родини або роду, за дією токсичних речовин на молекулярному рівні не будуть сильно різнитися. Це у свою чергу дає можливість екстраполювати результати, що отримані в досліді з одними організмами на клітинному і тканинному рівні на інші.

Діагностичне значення біохімічних і фізіологічних показників. З біоіндикацією тісно пов'язані динамічна рівновага і стабільність біологічних систем. При зміні факторів середовища й під впливом стресорів, тобто антропогенно навантажених екосистеми можуть переходити в інші стабільні стани. Організми теж здатні у визначених межах адаптуватися до змінених умов існування. У меншому ступені це стосується органел, таких як мітохондрії або хлоропласти, а також до біохімічних або фізіологічних реакцій. Межі їх протікання порівняно вузькі, тому вони досить чуттєві до порушень.

На рівні організмів і екосистем вплив стресорів помітний завдяки появі зовнішніх симптомів – ушкоджень. Наприклад, реакцію індикаторних рослин можна простежити за виникненням певного ушкодження (некроз, хлороз). На клітинному й субклітинному рівнях вплив стресорів найчастіше прихований від

спостереження. Як синоніми в літературі широко використовуються поняття «фізіологічні ушкодження», «латентні ушкодження», «тонкі ушкодження». Однак, досягнувши визначених кількісних параметрів стресора невидимі ушкодження призводять до зниження продуктивності, появи морфологічної мінливості або тератов і т.ін.

Якщо необхідно вчасно запобігти необоротної зміни, то рання діагностика саме цих порушень стає вирішальною, тому що біохімічні і фізіологічні параметри реагують на дуже незначні концентрації стресора. Крім того, біоіндикація на біохімічному і фізіологічному рівні дає розуміння механізму дії стресорів:

- видимі симптоми якого-небудь ушкодження – результат змін в обміні речовин рослин і тварин;
- точне знання механізмів дії стресора дає змогу провести ранню діагностику порушень;
- можна встановити механізм адаптацій і почати захисні заходи.

Обмін речовин кожної живої клітини підкоряється таким принципам:

- прив'язаний до молекулярних і надмолекулярних структур;
- організований за типом функціональної і структурної ієрархії;
- високоекономічний;
- здатний до саморегуляції.

Його задачі можна звести до таких:

- 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.

За всі процеси обміну речовин, насамперед, несуть відповідальність нуклеїнові кислоти (носії генетичної інформації) і білки (ферменти і структурні елементи). Необхідно, щоби ці макромолекули функціонували з відповідною швидкістю. Регуляція обміну речовин здійснюється за допомогою численних ферментів, тому найбільш чуттєві з них можуть бути важливими індикаторами порушень. Стресори насамперед впливають на активність і кількість ферментів.

Показові ушкодження молекулярного рівня. Для біоіндикації вирішальне значення мають дії стресорів на таких етапах обміну речовин:

- 1) концентрація макромолекул (наприклад, змінюється кількість ферментів);
- 2) активність макромолекул (наприклад, ферментативна) – загалом спостерігається збільшення активності при низьких концентраціях забруднюючих речовин і зниження – при високих;
- 3) зниження енергетичного балансу;
- 4) порушення процесу фотосинтезу;
- 5) продукування речовин із захисними функціями (наприклад, проліну), збільшення сахарози і фруктози для самозахисту;
- 6) передчасне включення механізмів старіння організму: характерною

ознакою якого є збільшення вмісту гормонів, що регулюють дозрівання плодів, старіння й опадання листя і т.ін. (етилен, абсцизова кислота й ін.).

Біоіндикаційні ознаки молекулярного рівня.

1. Концентрація (кількість) ферментів, пігментів:

а) хлорофіл – у якості біоіндикаторної ознаки в рослин використовують зменшення вмісту хлорофілу, співвідношення хлорофілів а і б, збільшення змісту феофітіну. Зниження вмісту зелених пігментів у листах може відбуватися внаслідок руйнування хлорофілів і перетворення їх у феофітіни під впливом стресорів, що впливають на ферменти, які каталізують утворення цього пігменту;

б) співвідношення каротіноїдів – у листі і хвої, що потрапили під дію фотоокислювачів (фотохімічного смогу) і викидів двоокису сірки, вміст лютеїну підвищується, а  $\beta$ -каротіну знижується;

в) металотіонеїни – процеси детоксикації деяких важких металів у багатьох видів йдуть через зв'язування металів із металотіонеїновими білками; дія ртуті в концентрації 5 мкг/л на лосося спонукала значне збільшення концентрації ртуті в тканинах; тоді, коли при концентрації ртуті 1 мкг/л такого ефекту не спостерігалось, очевидно, тому, що весь метал утворив комплекси з металотіонеїнами;

г) стероїди – виявлена достовірна кореляція між впливом сублетальних концентрацій деяких забруднюючих речовин і концентрацією стероїдних гормонів у птахів, риб і морських ссавців. Сублетальні концентрації забруднюючих речовин можуть вплинути на ферментні системи, відповідальні за стероїдогенез, що у свою чергу визначає функціонування гомеостатичного механізму тварин.

2. Ферментативна активність. За біохімічними і фізіологічними реакціями на антропогенні стресори можна простежити за змінами активності визначених ферментів. Вони можуть бути індикаторами порушень обміну речовин:

а) глюкозо-6-фосфатдегідрогеназа – ключовий фермент прямого окислення глюкози, реагує підвищенням активності на різні види стресу; підвищення активності спричиняє перехід на енергетично не вигідне розщеплення глюкози шляхом гліколізу;

б) ферменти амінокислотного обміну під дією поллютантів змінюють активність, у результаті чого підсилюється розпад і знижується синтез білків;

в) пероксидази – підвищують активність у відповідь на посилення утворення токсичних перекисів  $H_2O_2$ . Визначення цієї активності дає можливість виявити порушення обміну речовин, що виникає під дією фтористих, транспортних викидів, викидів, що містять двоокис сірки або озон;

г) оксігенази зі змішаною функцією – цитохром P-450 – гемопротеїд, що міститься в оксігеназних системах, можна без перебільшення вважати універсальною молекулою. Вона виявлена в бактерій, вищих рослин і ссавців. Поряд з основними функціями цитохром P-450 може брати участь у метаболізмі чужорідних сполук. У певних умовах зміна активності оксігенази організмів природних популяцій, може свідчити про хронічне або гостре забруднення території нафтопродуктами.

3. Енергетичний баланс. Показник енергетичного стану організму дає змогу оцінювати кількість хімічно зв'язаної енергії, запасеної в пулі аденінових нуклеотидів і доступної в даний момент для метаболічних процесів в організмі.

Енергетичний стан клітини характеризують за допомогою «енергетичного заряду» і визначається за формулою:

$$\text{е. з.} = \frac{[\text{АТФ}] + 0,5[\text{АДФ}]}{\text{АТФ} + \text{АДФ} + \text{АМФ}}$$

Це відношення є контрольним критерієм і мірою життєздатності системи. Завдяки механізмам регуляції обміну система АТФ – АДФ – АМФ відносно стабільна.

Встановлено, що активність одних ферментів залежить від концентрації АТФ, активність інших визначається концентраціями АДФ, АМФ або співвідношеннями АТФ/АМФ; АТФ/АДФ. Існує негативний вплив стресорів на утворення АТФ. Під дією стресора «енергетичний заряд» знижується з 0,8 до 0,2. Зниження його значення до 0,5-0,75 означає, що процеси споживання й акумулювання енергії розбалансовані під впливом несприятливих факторів. У стресових умовах значення енергетичного потенціалу нижче 0,5. Після видалення стресора енергетичний потенціал знову досягає своєї первісної величини.

Основні переваги методу «енергетичного потенціалу», як показника впливу забруднюючих речовин на біоту:

- 1) різниця між значеннями енергетичного потенціалу в нормальних і стресових умовах є величина постійна для певного організму;
- 2) внутрішньовидові розбіжності значень енергетичного потенціалу дуже малі, що дає можливість працювати з вибіркою невеликого обсягу;
- 3) відповідь на стресовий вплив може бути зареєстрована швидше, ніж при використанні інших показників.

4. Фотосинтез. Цей процес дуже чутливий до зміни факторів зовнішнього середовища. Під дією стресорів фотосинтез пригнічується. Фотосинтетична активність хлоропластів пов'язана з пігментами, що поглинають випромінювання з довжиною хвиль від 400 до 700 нм. Хлорофіл виявляє здатність до флуоресценції – спонтанному випромінюванню світла. Ця особливість хлорофілу була запропонована як індикаторна ознака порушень, що виникають у рослин під впливом газодимових викидів.

5. Асиміляція CO<sub>2</sub>. Під дією [SO<sub>3</sub>]<sup>2-</sup>, спостерігається гальмування фотосинтетичної фіксації CO<sub>2</sub>, через конкурентне зв'язування біологічно активною формою двоокису сірки ключового ферменту фотосинтезу – рібuloзодіфосфаткарбоксилази.

## 2. Клітинний рівень біоіндикації

Біоіндикація на клітинному рівні ґрунтується на вузьких межах протікання



біотичних та фізіологічних реакцій.

Біоіндикації на клітинному рівні спирається на те, що органоїди клітини мають високу чутливість до порушень, що дає змогу дуже швидко виявити незначні концентрації поллютантів.

Результат дії поллютантів:

- порушення проникності біомембран;
- зміна концентрацій та активності макромолекул;
- акумуляція шкідливих речовин;
- порушення фізіологічних показників клітини, зміна розміру клітини.

Розглянемо вплив поллютантів на клітини на прикладі рослин.

Сірчаний газ руйнує клітинну мембрану, у результаті знижується буферна ємність цитоплазми клітини, змінюється її кислотність. Озон та інші окиснювачі порушують проникність мембран. Цей ефект посилюється в присутності йонів важких металів.

Дія поллютантів на ферменти: порушується процес нормального приєднання ферменту до субстрату, що відбувається трьома способами:

- до ферменту замість субстрату приєднується поллютант-інгібітор з утворенням комплексу Ф-І (отруєння  $\text{CO}_2$ );
- поллютант інгібує фермент, розщеплюючи його зв'язок із субстратом;
- приєднуючись до субстрату з ферментом, поллютант інгібує його активність – утворюється стійкий комплекс С-Ф-І. У підсумку порушуються біохімічні процеси, наприклад, асиміляція вуглекислого газу в процесі фотосинтезу.

Розглянемо вплив поллютантів на біомембрани на прикладі клітин рослин:

Сірчистий газ.  $\text{SO}_2$  проникає в лист через продихи, потрапляє в міжклітинний простір, розчиняється у воді з утворенням  $[\text{SO}_3]^{2-}$ ,  $[\text{HSO}_3]^-$  іонів, що руйнують клітинну мембрану. У результаті знижується буферна ємність цитоплазми клітини, змінюються її кислотність і редокс-потенціал.

Озон та інші окисники, наприклад, пероксиацетилнітрат порушують проникність мембран. Цей ефект посилюється в присутності йонів важких металів. У всіх випадках особливому впливу піддаються тилакоїдні мембрани хлоропластів. Їх руйнування – основна причина зниження фотосинтезу під впливом поллютантів.

Двооксид сірки зв'язується з активним центром ключового ферменту фотосинтезу (рибулозодифосфаткарбоксилази) замість  $\text{CO}_2$  і гальмує фіксацію  $\text{CO}_2$  в циклі Кальвіна. Газообмін  $\text{CO}_2$  гіпотетично є придатним для біоіндикації. Взаємодія  $\text{SO}_2$  з  $\text{HS}^-$  групами білків, призводить до руйнування ферментів (доведено для малатдегідрогенази).

У клітин рослин під дією різних порушень накопичуються певні захисні речовини: пролін, аланін, пероксидаза й супероксиддисмутаза, пігменти, аденозинтрифосфорна кислота, білки, вуглеводи, ліпіди.

Показником забруднення середовища може служити підвищена концентрація поллютантів у клітинах живих організмів. Так, виявлена кореляція між вмістом свинцю в листках тису й інтенсивністю автомобільного руху в

містах. Накопичення ртуті в пір'ї птахів дало можливість з використанням опудал простежити динаміку забруднень ртуттю. Виявлено, що з початку 40-х років ХХ століття вміст ртуті в пір'ї фазанів, куріпок, сапсанів та інших збільшився в 10-20 разів, у порівнянні з 1840-1940 рр.

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 спричиняє порушення фізіологічних процесів у клітині та плазмоліз. У клітинах рослин під дією кислот і  $\text{SO}_2$  цитоплазма відшаровується від клітинної стінки.

Шкідливі сполуки, що поглинаються організмом, можуть бути або перетворені у процесі обміну речовин, або включені в загальний метаболізм. Однак більшість елементів шкідливих речовин може бути використана лише в невеликих кількостях і присутня в незабруднених організмах лише у вигляді слідів (хлор, важкі метали – свинець, кадмій, цинк), акумуляція яких вище природного вмісту може бути використана як індикаційна ознака для визначення рівня стресового навантаження. Так, наприклад, виявлено тісний зв'язок між вмістом свинцю в листах рослин і інтенсивністю руху в містах.

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  $\text{SO}_2$ , збільшується вміст глюкози і фруктози, що забезпечує механізм самозахисту рослин. Автомобільні викиди й солі свинцю впливають на метаболізм вуглеводів менше, ніж двоокис сірки.

З ростом забруднення газодимовими викидами (ліс → парк → центр міста) відбуваються значні зміни складу жирних кислот, що входять до складу ліпідів. Особливо збільшується концентрація лінолевої й ліноленової кислот. Підвищення концентрації цих кислот спостерігається в листках рослин, що старіють, тому можна вважати, що стресори прискорюють процеси старіння. Автомобільні викиди сильніше діють на збільшення концентрації жирних кислот, чим двоокис сірки.

Далі розглянемо як забруднення впливає на стан органоїдів клітин.

А. Біомембрани. Будівля і склад біомембрани (бімолекулярної ліпоїдної плівки з білковими шарами, відкладеними з обох її сторін) забезпечують виборчу проникність і спрямований транспорт речовин всередину клітини.  $\text{SO}_2$  дифундує, подібно  $\text{CO}_2$  через мембрани клітин, розчиняється у воді клітинної стінки, утворює іони  $[\text{SO}_3]^{2-}$  /  $[\text{HSO}_3^-]$ , які руйнують клітинну мембрану. Ці порушення виявляються в підвищенні проникності, зміні рН, ферменти, зв'язані з мембраною, вивільняються й переходять в інші ділянки.

Нормальна клітина захищена від змін рН. Поглинання  $\text{SO}_2$  і його перетворення в сірчисту кислоту, змінює буферну ємність клітини, найчастіше

вона значно знижується. А так, як каталітичні функції ферментів залежать від рН, зниження буферної ємності може призвести до значних порушень обміну речовин. Ушкоджують мембрани клітин озон, важкі метали – кадмій, цинк, нікель.

Б. Зміна внутрішньоклітинних структур:

- розширення цистерн ендоплазматичного ретикулума під впливом Zn;
- відкладення кристалічних включень у хлоропластах квасолі під впливом

Cl;

- грануляція цитоплазми й руйнування хлоропластів під впливом SO<sub>2</sub>, Cl.

В. Стабільність лізосом. Лізосоми в багатьох відносинах є ідеальною клітинною органелою для досліджень інтегральної реакції на вплив несприятливих факторів середовища. Лізосомний комплекс утворює внутрішньоклітинну травну систему, що здатна катаболізувати як ендогенні клітинні компоненти, так і екзогенні речовини. Вважають, що в нормі основною функцією лізосом є розщеплення цитоплазматичних компонентів всередині вакуолі. У стресових умовах лізосоми можуть перейти на гетерофагію, що включає ендоцитоз (піноцитоз і фагоцитоз). Таким чином може відбуватися внутрішньоклітинне споживання речовин. Однією з фундаментальних біохімічних властивостей лізосом є ізоляція гідролітичних ферментів, що мають величезну руйнівну силу. При порушенні стабільності лізосом можлива активізація гідролітичних ферментів і в деяких випадках вихід їх у цитоплазму, що призводить до часткового або повного цитолізу. Виявлено, що лізосоми здатні накопичувати ароматичні вуглеводні, азбест, кремнезем, похідні аміноазобензина, бериліт, металеві порошки і віруси, а також іони Купруму Феруму, Плюмбуму, Цинку, Нікелю, Аргентуму, Ртуті і Плутонію. Коли нагромадження цих речовин у лізосомах перевищувало деякий рівень, мембрани лізосом руйнувалися і, як наслідок, спостерігалася активація та вихід ферментів у цитоплазму.

Г. Зміни розмірів клітини – зменшення клітин епідермісу листів під впливом SO<sub>2</sub>.

Д. Плазмоліз – відшаровування плазми від клітинної стінки може бути наслідком дії кислот і SO<sub>2</sub>.

Е. Хромосомні порушення. Хронічна або випадкова присутність забруднюючих речовин антропогенного походження може призвести, до різних порушень генетичного плану.

Але, фізіологічні, біохімічні й особливо ферментні аналізи дуже складні й пов'язані з відповідними вимірювальними приладами.

Далеко не в кожному випадку реакція, що спостерігається, може бути ідентифікована з антропогенним стресором. Так, забруднення повітря чітко виявляється лише тоді, коли його вплив суттєво перевищує вплив усіх інших факторів середовища. Однак біоіндикація на молекулярному і клітинному рівнях із метою ранньої діагностики необхідна в областях із забрудненням від низького до середнього, де спостерігати видимі ушкодження організмів ще неможливо.

**?** *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 полютанти пошкоджують клітину?
4. Як біомембрани реагують на дію забруднювачів?
5. Поясніть, чому органели клітини більш чутливі до 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?

## **ТЕМА 5. БІОІНДИКАЦІЯ НА РІЗНИХ РІВНЯХ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОГО. ТКАНИННИЙ ТА ОРГАНІЗМОВИЙ РІВЕНЬ**


**Мета:** засвоїти особливості проведення біоіндикаційних досліджень на тканинному та організмовому рівні. Усвідомити принципи використання ссавців та комах у 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 й 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.

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

Ще в середині XIX ст. були описані пошкодження рослин димом навколо бельгійських і англійських содових фабрик. В деяких країнах морфологічні індикатори використовуються в національній системі моніторингу вже більш 30 років. За допомогою методів біоіндикації, що ґрунтуються на морфології рослин, отримана велика кількість картосхем антропогенного впливу. Одним із методів, що широко використовуються для екологічної оцінки стану навколишнього середовища є аналіз особливостей морфологічної будови біологічних об'єктів. Нагромадження полютантів в організмі, порушення метаболізму, призводять до зміни будови тканин, органів і загалом до модифікації діагностичних ознак видів.

При оцінці екологічного стану навколишнього середовища використовуючи у якості індикаторів морфологічні відхилення організмів, необхідно обирати найбільш чутливі види, що мають добре виражені, яскраві реакції, які легко розпізнаються на певний антропогенний вплив. Чутливість живих організмів до полютантів залежить від генетичної структури, стадії розвитку, умов зовнішнього середовища, концентрації полютанту і змінюється протягом вегетаційного сезону залежно від віку біологічного об'єкту.

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 й 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 й ін.

Можливість кількісної оцінки перерахованих параметрів при порівняльному аналізі фонових і антропогенно-порушених територій із застосуванням математичної статистики підвищує надійність і вірогідність прогнозу антропогенної сукцесії і висновків щодо стану екосистеми.

Виникнення вироєливих форм (тератов), поява хлорозу й некрозу є крайньою формою прояву стресового впливу. Але такі яскраві відхилення в розвитку організму є лише якісними ознаками стресової ситуації й не дають уяви щодо інтенсивності впливу або частоти стресу.

Перехід до кількісної характеристики досягається завдяки використанню бонітировочних шкал некрозів, хлорозів або, наприклад, шкали тривалості життя хвої (листя) деревних порід. Інтенсивність впливу діагностується ступенем поразки (% покриття) листів хлорозом або некрозом, представленої у вигляді відповідних класів.

Морфологічні показники деревостою можуть свідчити про погіршення середовища мешкання в результаті порушень і (або) забруднень. Такі показники, як висота, діаметр, форма крони, середня відстань між деревами, висота мертвої відірваної кірки, висота прикріплення крони, наявність сушняку і пнів, порівнюються з відповідними фоновими характеристиками. Зміни в порівнянні з фоновими значеннями свідчать про несприятливі умови місцеперебування деревних видів.

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 залежно від місця, сезону, а також віку й розміру організму;

- 3) легкість і точність виміру аномалії;

- 4) відносна стійкість аномалії;

- 5) витрати часу і вартість одержання даних;

- 6) відповідність специфічності аномалії й забруднення;

- 7) види, для яких характерна така аномалія;

- 8) наявність даних про біологію й екологію видів, що використовуються.

Біоіндикація на тканинному рівні ґрунтується на таких ознаках:

- 1) відмирання тканин – некроз;

- 2) передчасне в'янення й опадання листя (дефоліація);

- 3) патологічні відхилення у тварин.

Макроскопічні зміни морфології рослин.



Рис. 7 – Некрози листя

А. Некрози – відмирання обмежених ділянок тканини, досить специфічні; варто розрізняти (рис. 7):

- крапкові і плямисті некрози – відмирання тканин у вигляді крапок і плям (при дії озону);

- міжжилкові некрози – відмирання листової пластинки між бічними жилками першого порядку (під впливом  $\text{SO}_2$ );

- крайові некрози – характерні, чітко помітні відмирання тканин по краю листової пластинки, наприклад, спричинений дією повареної солі, яка використовувалася для танення льоду; сполучення міжжилкових і крайових

некротів призводить до появи візерунка типу «риб'ячого кістяка»;

- верхівкові некрози – характерні для хвойних, темно-бурі, різко відмежовані некрози кінчиків хвої під впливом  $\text{SO}_2$  або знебарвлені – під впливом HF.

Під час розвитку некротів спочатку спостерігаються зміни в забарвленні, потім, після загибелі клітин. уражені ділянки призводять до розривів листової пластинки.



Рис. 8 – Некрози хвої

- Б. Передчасне в'янення – під дією етилену в теплицях, квітки гвоздики не розкриваються, в'януть пелюстки орхідей.

- В. Опадання листя (дефоліація) – у більшості випадків з'являється після появи хлорозів і некротів. Прикладами може бути зменшення тривалості життя хвої, її опадання, передчасне опадання листя в липи, кінських каштанів, в агрусу і смородини під дією  $\text{SO}_2$ .

Дефоліація призводить до зменшення асимілюючої площі, скороченню приросту, пробудженню бруньок і передчасному утворенню нових пагонів.

Зручним об'єктом дослідження в таких випадках є хвойні породи, з багаторічною хвоєю. У чистих природних екосистемах середній вік хвої сосни складає в південній формі 3-4 року, у північній – 8-9 років, хвої ялинки – 7-8 років. Під впливом токсичних газів вік хвої скорочується, так що в деяких випадках на деревах залишається тільки однолітня хвоя.

Для біоіндикації задимлених територій використовують хвою. Зручними параметрами для цього є верхівкові некрози хвої і тривалість її життя. Такі

дослідження можна проводити упродовж року і використовувати для складання картосхем зон газодимового стресу.

Визначаючи морфологічні зміни варто враховувати вплив кліматичних і едафічних (грунтових) факторів на стійкість рослин. При газовому забрудненні на формування некрозів вирішальним чином впливає вологість і освітленість: за високою вологістю повітря і ґрунту рослини стають особливо сприйнятливими. Узимку зниження стійкості спричинено низькими температурами.

Патологічні прояви у тварин. Виразки на шкірі, спостерігалися в багатьох видів риб, що були виловлені поблизу узбережжя й удаліні від нього. У тріски, що мешкає у водах Північної Європи, часта поява таких виразок одержала назву «виразкового синдрому». Є зв'язок між сезонними проявами цього синдрому, ступенем забруднення вод вуглеводнями і збільшенням у воді концентрацій, потенційно патогенних для риб.

Навесні відсоток хворих риб біля узбережжя вище, ніж удаліні, але влітку ця залежність стає менш очевидною. Тому при вилові риби для моніторингу потрібно враховувати сезон. Крім того, варто проводити мікробіологічні тести проб, відібраних із донних опадів і водної товщі.

Ерозія плавців. Це одне з найбільш розповсюджених захворювань риб, яке пов'язане із забрудненням естуарного і прибережного середовища.

Є два типи ерозії плавців. У донних риб, у результаті прямого контакту з забрудненими донними опадами уражаються спинний і анальний плавці, а у пелагічних прибережних риб спостерігається загальна ерозія, але з деякою переважною поразкою хвостового плавця.

Причини ерозії мають комплексний характер і можуть залежати від хімічних агентів (які впливають на епітелій), дефіциту розчиненого кисню у воді і вторинного бактеріального зараження. Систематичне зараження бактеріями не обов'язково пов'язано з появою ерозії плавця, хоча в пробі виразки виявлено багато видів бактерій. Спостереження за цим показником рекомендується проводити з урахуванням сезону року, розміру риб, чутливості виду, умов мешкання й міграції.

Аномалії кістяка. За останні роки збільшилося число випадків аномалії кістяка в риб. У літературі наводиться безліч прикладів спинних фузій і скривлень, хребетного стиску (сплощення), аномалій голови і плавця. Такі порушення трапляються й у більшості природних популяцій, але найчастіше вони спостерігаються в забруднених акваторіях. Зв'язок між частотою появи аномалій кістяка водних хребетних і забрудненням була підтверджена експериментально. Наприклад, хлорорганічний пестицид Кепон, спричиняє сколіоз у міног, під дією важких металів у риб спостерігалися викривлення й розриви хребта.

Отже, моніторинг морських хребетних на тканинному рівні включає ретельний огляд риб для виявлення явних аномалій із подальшою рентгеноскопією для виявлення схованих деформацій, наприклад, хребетних спайок. Не представляє особливих труднощів обстеження зябрових тичинок і



спинних плавців. Інформативними є планктонні проби для виявлення виродливих личинок і аномалій у ранньої молоді.

Пухлини були виявлені в представників усіх класів холонокровних хребетних, двостулкових моллюсків і комах. У 60 морських видів тварин із різних груп і місцеперебувань були виявлені інфекційні пухлини. Пухлини в риби і моллюсків є потенційно корисним показником для моніторингу морського середовища, але обмежене географічне поширення видів, що мають пухлини, і відсутність пухлин у видів, що мають широке географічне поширення, а також нестача даних про причини дають неможливим використовувати один вид морської риби як універсальний індикатор.

Використання двостулкових моллюсків для моніторингу хімічних канцерогенів у навколишньому середовищі має значні переваги, тому що вони, на відміну від риби, профільтровують великі кількості води протягом тривалого часу. Важливо також те, що порівняно невелике число видів живе майже у всіх естуаріях Світового океану.

До того ж, рак крові у двостулкових моллюсків описаний для чотирьох континентів, і, хоча є докази на користь як вірусної, так і хімічної етіології цього захворювання, його виникнення, очевидно, пов'язане з присутністю забруднювача. Методика визначення рака крові в моллюсків надзвичайно проста й полягає в спостереженні за каламутністю 0,5 см<sup>3</sup> рідини, отриманої з тіла моллюска. Нормальні гемоцити прилипають до скла, і крапля швидко стає прозорою. Ракові клітини стають круглими, не прилипають до скла, і сама крапля дуже схожа на краплю молока.

Імунна реакція. Сучасними імунологічними дослідженнями показано, що риби на противагу безхребетним виробляють високо специфічні антитіла. Виявилось, що антитіла, патогенні для людини, трапляються в 1,5-6 % риби, що мешкають у затоці Чесапек. Це було відзначено переважно в естуарних районах поблизу великих поселень, причому кореляція серед антитіл невелика.

Є мало доказів придушення імунних реакцій безпосередньо забрудненнями. Так, під дією кадмію на рибу виявлене зниження ефективності реакції фагоцитів. Були отримані дані про генетичний добір риби із більш високими рівнями антитіл. Таким чином, тест на присутність у риби антитіл, патогенних для людини, може стати важливою частиною моніторингу, особливо цінним для тих видів риби, що мають строго обмежений ареал мешкання.

Лімфоцитоз – захворювання, широко розповсюджене серед плоских риби. Воно характеризується утворенням пухлиноподібної тканини під шкірою, що містить гіпертрофовані фібробласти розміром до 2 мм. Це захворювання має вірусне походження. Є думка, що лімфоцитозом частіше хворіють риби, що живуть у забруднених і теплих водах. Тому цей показник можна використовувати для моніторингу, хоча варто пам'ятати, що лімфоцитоз іноді трапляється серед популяцій риби і в незабрудненому районі в результаті епідемії. Відомо, що деякі хвороби риби є у схованому стані й можуть бути спровоковані дією несприятливих факторів. Отже, лімфоцитоз служить раннім сигналом

несприятливого стану середовища й може у визначених умовах успішно використовуватися в системах моніторингу.

**Зяброва гіперплазія.** Риба може реагувати на хімічні речовини гіперплазією (клітинною проліферацією) зябрового епітелію. Але кількісний зв'язок «причина-ефект» не відомі. Отримати зяброві проби не представляє особливих труднощів.

**Зміна тканини печінки.** Відомо, що печінка відіграє важливу роль у детоксикації забруднень. Є експериментальні дані, що під дією забруднюючих речовин відбуваються різні паралогічні зміни в тканині печінки, у тому числі утворення пухлин.

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

Основна мета добору біологічних показників на організмному рівні зводиться до оцінки фізіологічного стану особини і її поведінки, а також біологічної значущості концентрації забруднюючих речовин у тілі організмів. Біоіндикація на організмному рівні використовує такі ознаки:

- 1) зміна забарвлення листя й тіла тварин, а також скульптури поверхні;
- 2) зміна розмірів і продуктивності рослин і тварин;



Рис.9 – Хлороз листя

- 3) зміна форми росту, екобіоморфних ознак;
- 4) показники поведінки тварин.

Зміна фарбування листя – в більшості випадків неспецифічна реакція на стресори:

хлороз – бліде фарбування листів між жилками (важкі метали, сполуки хлору, хлор); хлороз викликається порушенням співвідношення в організмі Fe і Ca; у природних умовах він виникає у рослин з порушеним водним чи

світловим режимом. Трапляється міжжилковий, верхівковий та інші види хлорозу. Ступінь ушкодження листя може бути виражена в бальній оцінці і використовуватися як кількісна характеристика при аналізі й картографуванні поширення газоподібних токсикантів (рис. 9);

- пожовтіння листя або деяких ділянок листових пластинок (у листяних порід під впливом хлоридів);
- почервоніння листя – нагромадження пігменту антоціану під дією SO<sub>2</sub>;
- побуріння й побронзовіння (початкова стадія важких некротичних ушкоджень, під дією O<sub>3</sub>);

– фарбування, за яким листові пластинки мають вигляд просочених водою, подібне до морозного пошкодження (початкова стадія некрозів, що спричинені пероксиацетилнітратом);

Зміна забарвлення тіла тварин. Серед реакцій фарбування тіла на антропогенну зміну середовища, найбільш відомої є «індустріальний меланізм» або «меланізм великих міст». Під меланізмом мається на увазі помітне потемніння первісних світлих форм.

Зміна скульптури поверхні. У комах встановлено чітку кореляцію між структурою поверхні тіла, що вивчається за допомогою електронного мікроскопу й рівнем забруднення середовища.

Зміна розмірів і розташування органів рослин – найчастіше неспецифічна реакція. Аномальна конфігурація листя виявлена в деревних рослин після радіоактивного опромінення. У результаті локальних некрозів виникає виродлива деформація, здуття деяких ділянок листової пластинки, викривлення пагонів, зрощення й розщеплення певних органів, збільшення або зменшення частин квітки.

Зміна приросту і плодючості рослин – найчастіше неспецифічні прояви, але широко використовуються в біоіндикації; вимірюють в основному радіальний приріст стовбурів дерев, приріст у довжину пагонів і листків, довжину коренів; зменшення утворення плодкових тіл у грибів.

Зміна структури деревини – зниження якості соснової деревини в результаті незначного її утворення влітку і випадання річних кілець під дією SO<sub>2</sub>; одеревіння коренів злаків після обробки гербіцидами.

Ріст – один із найважливіших параметрів, що характеризує стан популяції в конкретних умовах навколишнього середовища. Оскільки зниження швидкості росту тварин є неспецифічною реакцією на будь-які стресові впливи, варто бути дуже уважними використовуючи цей показник та аналізуючи дані. Уповільнення росту може бути через зниження інтенсивності харчування або збільшення витрати енергії, що пов'язано з диханням або виділенням, під дією різних екологічних факторів – температури, солоності, концентрації O<sub>2</sub>, концентрації іонів металів, нафти, швидкості руху води й ін. Ріст деяких особин можна вимірювати прямим або непрямим методом. Непрямий метод, або фізіологічна оцінка росту є інтегральним, оскільки включає вимір таких фізіологічних змінних, котрі окремо й разом характеризують стан особини.

Незважаючи на те, що лабораторні й польові дослідження з впливу забруднення на показники росту в основному виконані на ракоподібних і двостулкових молюсках, а для риб є лише лабораторні, цей показник варто активно використовувати в програмах моніторингу.

Харчування. Процес харчування складний і включає не тільки травлення, а й поведінкові компоненти: пошук їжі, вибір і лов здобичі, фільтрація їжі з водного стовпа, добування в донних опадах і ін. Зміна швидкості харчування й утворення фекалій служать показниками фізіологічного стану в умовах забруднення. Показник швидкості харчування в природних умовах змінюється в

широких межах. Він досить чуттєвий навіть до невеликих змін кількості доступної їжі, що дуже ускладнює задачу визначення фонового рівня.

Швидкість споживання кисню. Показник свідчить про фізіологічний стан як цілого організму, а так і ізольованих тканин. Однак інтерпретація цього показника утруднена через те, що, як правило, не враховується вплив інших екологічних факторів, таких, як солоність, температура, пора року й ін.

Респіраторна активність. В програмах моніторингу використовуються три показники активності дихання в прісноводних риб: частота кашлю, частота оперкулярного руху й частота серцебиття. Частота кашлю змінюється під дією фізичних (зважені тверді частки) або хімічних (важкі метали) факторів на епітелій зябер. Виміри частоти оперкулярного руху проводилися на багатьох видах риб у присутності різних забруднювачів. Зміна, зазвичай, пов'язана з рівнем споживання кисню, хоча, останній може бути збалансований завдяки регуляції амплітуди рухів. Зміна частоти серцебиття також пов'язана зі змінами споживання кисню, хоча й у цьому випадку компенсація може бути досягнута через зміни глибини дихання. З трьох показників частота кашлю, очевидно, найбільш чуттєвий і зручний для дослідника.

Виділення й азотний баланс. Продукти виділення морських тварин включають аміак, сечу, амінокислоти й пурини. Баланс між речовинами, що надходять в організм, з їжею і їх виділенням із продуктами життєдіяльності розраховують за допомогою рівняння енергетичного балансу й показників росту. У тих випадках, коли вміст азоту в їжі лімітовано, втрата азоту у виділеннях свідчить про азотне порушення балансу. Швидкість виділення, що перевищує значення норми, свідчить про стресову ситуацію, через порушення харчування під впливом забруднення. Швидкість виділення азоту може дати більше інформації про стан тварини, якщо її розглядати поряд з іншим фізіологічними показниками. Відношення спожитого кисню до виділеного азоту (відношення O/N) є індексом катаболічного балансу білка, вуглеводів і ліпоїдів, там як атомні еквіваленти спожитого кисню при катаболізмі і виділеного азоту коливаються. Високе значення індексу O/N вказує на перевагу ліпідного або вуглеводного катаболізму над розпадом білків. Теоретичне мінімальне значення O/N при винятково білковому катаболізмі дорівнює приблизно 7.

Репродуктивність. Зниження значень показників росту може призвести до зниження плідності тварини, тому що на утворення гамет витрачається істотна частина енергії, що запасується. Будь-які зниження показників росту, що спостерігаються, особливо під час дозрівання гамет, можуть бути сигналом різкого зниження репродуктивної здатності батьківського організму. Ембріональні й личинкові стадії розвитку, як правило, найбільш чутливі до токсикантів у порівнянні з дорослими особинами. Вивчаючи дії забруднюючої речовини на відтворення варто мати на увазі, що частина її може накопичуватися в ікринках і зберігатися там тривалий час. Контроль за цим нагромадженням дає змогу з деякою часткою ймовірності прогнозувати наступні стадії розвитку організму.

Склад крові. При оцінці стану риб і їх реакції на зміну навколишнього середовища в останні роки почали частіше використовувати гематологічні методи. Дослідження крові безхребетних у зв'язку з впливом фактору навколишнього середовища нечисленні.

Показники поведінки тварин. Перший етап на шляху використання показників поведінки в програмах біоіндикації полягає у розробці якісних і кількісних критеріїв оцінки зміни поведінки під дією антропогенних факторів. Розрізняють три підходи для оцінки поведінкових реакцій. Перший підхід припускає спостереження за поведінкою тварин, що живуть у природних умовах. Другий – передбачає перенос тварин із лабораторних умов або контрольованих акваторій на деякий час у природні умови. Третій підхід полягає в переносі води й донних опадів із природних умов в акваріуми, у які поміщають тест-організми. Остаточне рішення щодо включення показників поведінки в програми біоіндикаційних досліджень приймають після оцінки їх екологічної значимості і зв'язку з рівнем нагромадження в навколишньому середовищі й контрольних організмах.

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

### **3. Ссавці – біоіндикатори забруднення наземних екосистем.**

#### **Ентомоіндикація**

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 й тому, що в медичній токсикології накопичено чимало даних, які стосуються впливу різних ксенобіотиків на лабораторних і свійських тварин. Це суттєво спрощує вирішення багатьох методологічних проблем саме на ссавцях. З-поміж уже визнаних і потенційних індикаторних видів є мешканці ґрунту й підстилки, що його вкриває, травоїдні види гризунів до великих копитних і, нарешті, хижаків. У таблиці 5 представлені деякі з цих видів. З-поміж них можна знайти як консументів вищих порядків, так і масові домінуючі види консументів нижчих порядків із порівняно коротким життєвим циклом і стійкою динамікою чисельності популяцій. Із комахоїдних заслуговують уваги кроти. Вони поширені на всій території лісової зони, є евритопними, осілими й антисинантропними. Кроти є вищою ланкою трофічного ланцюжка щодо ґрунтової мезофауни.

У підстилці, яка утворена травами, що загинули, і листям, яке опало, живе багато видів комах. Забруднюючі атмосферу компоненти осаджуються насамперед на підстилці. Тому комахи, які харчуються рослинними залишками, і різноманітні зоофаги утворюють харчовий ланцюжок, у якому відбувається швидка біомагніфікація. Вищим хижакам цього компоненту екосистем є

землерийки роду *Sorex*. Найбільш велика з них, до того ж із широким ареалом поширення – бурозубка звичайна (*S. Araneus* L.).

Таблиця 5 – Ссавці-біоіндикатори забруднення наземних екосистем

Індикаторний вид	Середовище існування	Харчова спеціалізація
Крот ( <i>Talpa europaea</i> L. і <i>T. altaica</i> Nikolsky)	Ґрунт	Комахоїдні, ґрунтова мезофауна
Землерийка-бурозубка ( <i>Sorex araneus</i> L.)	Лісова підстилка	Комахоїдні, мезофауна підстилки
Європейська руда полівка ( <i>Clethrionomus glareolus</i> Schreber) і сибірська червона полівка ( <i>C. rutilus</i> Pall.)	Лісова підстилка	Рослиноїдні
Ондатра (мускусний пацюк) ( <i>Ondatra zibethica</i> )	Прибережна зона	Рослиноїдні
Козуля європейська ( <i>Capreolus capreolus</i> )	Лісова зона	Рослиноїдні
Куниця лісова ( <i>Martes lupus</i> ) і соболь ( <i>M. zibellina</i> )	Лісова зона	Хижаки, лісові гризуни
Лисиця звичайна ( <i>Vulpes vulpes</i> )	Лісова зона	Хижаки, лісові і польові гризуни

З-поміж дрібних гризунів найбільшу цікавість як біоіндикатори становлять хом'якоподібні – європейська рижа й 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 й достатньо стійку чисельність, тому використання їх у біоіндикації забезпечує безперервність спостережень.

У більшості європейських країн визнання як біоіндикатор здобула козуля. Очевидно, парним (таким, що доповнює і взаємозамінює) для неї індикаторним видом може слугувати лось, ареал якого останнім часом поширився. Промислові хижаки, що харчуються дрібними гризунами, – куниця й соболь – є схожими за екологією. Ареал їхнього поширення перекриває всю лісну зону Євразії. Проте для того, щоби використовувати ці види як парні індикатори, необхідно вивчити особливості накопичення ними екотоксикантів у районах спільного існування.

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.

У літературі накопичена значна кількість даних про зміну параметрів популяцій комах в антропогенно трансформованих екосистемах. Ці дані цікаві в плані використання комах як об'єктів біоіндикації. Комахи, дійсно, є перспективною групою тварин для біоіндикаційних досліджень. Вони відрізняються великими видовою та екологічною різноманітністю, різною стійкістю до антропогенних впливів та різними характерними реакціями на них.

При визначенні екологічного стану району біоіндикаторне значення мають такі популяційні характеристики комах:

- щільність (відносна чисельність) комах. В екосистемах, що зазнали або зазнають антропогенного впливу, щільність одних видів комах зменшується, інших – збільшується, третіх – істотно не змінюється, четвертих – зазнає стрибкоподібних змін (спочатку зменшується, потім збільшується або навпаки). Різна реакція може прослідковуватися в популяціях одного й того самого виду;

- аналіз фазових портретів комах із різним типом динаміки чисельності (складається за допомогою графічної інтерпретації щільності популяції та коефіцієнту розмноження) дає можливість провести імітаційне моделювання багаторічної динаміки певних видів у популяції;

- фенотипова структура комах. Мінливість фенотипової структури (співвідношення фенотипових форм імаго) може корелювати з рівнем забруднення повітря, наприклад, підвищення частки меланістичних (чорних) особин у популяціях. Але тут треба враховувати й те, що ця мінливість може бути пов'язана із сезонними коливаннями чисельності та річними особливостями клімату, а в деяких видів співвідношення різнозбарвлених особин може бути стабільною ознакою;

- рівень асиметрії білатеральних морфологічних ознак – різке збільшення рівня асиметрії в популяціях спостерігається у двох випадках: при порушенні генного балансу популяції через міграцію особин із популяцій, адаптованих до інших умов існування; під впливом незвичайних умов середовища (індустріального забруднення, температури, радіації тощо);

- статева структура популяцій. На співвідношення статей у комах можуть впливати різні фактори. Встановити, який фактор вирішальний тут дуже важко, але детально досліджуючи популяції модельного виду в екосистемах можна за індексом співвідношення статей встановити ступінь їх антропогенної трансформації;

- просторовий розподіл комах у біоценозах – впливають мікрокліматичні умови, структура ландшафту та антропогенні фактори, зокрема вплив пестицидів, солей важких металів, агро- та лісотехнічні заходи. Вони можуть спричиняти підвищення активності домінантних видів та їх міграцію в інші біотопи (збільшується кількість видів – r-стратегів);

- сезонна динаміка імаго. Кліматичні фактори, що спричиняють фотоперіодичні та температурні реакції комах, зумовлюють їх річні цикли. У різних видів вони різні. Співвідношення груп, виділених за типом активності імаго в різних біотопах, їх кількість можна використовувати для визначення ступеня антропогенного впливу на їх угруповання;

– внутрішньовидові розміри тіла комах. Доведена тенденція збільшення розмірів тіла комах для популяцій у біотопах із посиленням антропогенним навантаженням;

– спектр життєвих форм. Вивчення спектра життєвих форм імаго населення модельних видів дає змогу охарактеризувати структуру їх угруповань і встановити зміни, що відбуваються під впливом антропогенної діяльності;

– чисельність екологічних груп в угрупованні комах за біотопічним преферендумом. Об'єктивний показник антропогенної трансформованості біотопів – чисельність екологічних груп за категоріями реліктності в угрупованні, особливо чисельності еврибіонтних видів, які збільшуються в біотопах із підвищенням антропогенного впливу. Кількість стенобіонтних видів у таких біотопах зменшується;

– індекс угруповань модельної групи комах. Цей індекс – об'єктивний показник ступеня антропогенного впливу на біотопи. За його допомогою можна визначити ступінь порушення кожного з біотопів без порівняння з контрольним місцезнаходженням. Індекс угруповань збільшується від біотопів із сильним антропогенним впливом до біотопів зі слабкішим впливом людини, найнижчі його показники – у біотопах із найменшим ступенем антропогенної трансформації. Оцінка угруповань модельної групи комах на основі індексу їх угруповань дає змогу виявити найцінніші природні екосистеми, які потребують охорони;

– виявлення основних груп комах щодо фактору антропогенного впливу. За своїм ставленням до антропогенного фактору комах можна поділити на три основні групи: антропофільні, антропоіндиферентні та антропофобні види. Антропофільні види переважають у антропогенних ландшафтах, вони стійкі до антропогенних впливів. Антропоіндиферентні види трапляються як у природних, так і в антропогенних ландшафтах, але слабкопорушених. Антропофобні види є тільки в природних ландшафтах. У кожній із наведених груп можна виділити дві підгрупи залежно від чисельності певного виду в угрупованнях: види з високою та низькою чисельністю.

Ступінь антропогенного навантаження на навколишнє середовище можна визначити й за такими показниками: видовий склад і стаціональний розподіл комах; динаміка, структура та спектри домінування видів; характер вертикального розподілу популяцій ґрунтових комах у профілі ґрунтів; характер анатомо-морфологічних, біохімічних, фізіологічних, імунологічних, цитогенетичних, біоритмологічних і поведінкових відхилень під впливом антропогенних стресорів; визначення концентрації хімічних забруднювачів і радіонуклідів у тілі комах тощо.

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 в природі, достатня кількість для відбирання серії проб.



За можливості ентомобіоіндикація забрудненості екосистеми повинна включати три напрями досліджень: підбір видів-біомоніторів прогнозування раннього антропогенного впливу; прогнозування стану певних біотичних компонентів екосистеми; діагностику стану екосистеми загалом.

Якщо виходити з положення, що біоіндикатори мають мати спектр кількісної та якісної різноманітності, то пріоритетними в цьому напрямку будуть комахи-герпетобіонти, які мешкають у верхньому ґрунтовому горизонті – важливій ланці в процесах міграції пестицидів та інших екоотоксикантів. Зазвичай, що це не виключає використання комах-хортобіонтів, педобіонтів та інших груп. Важливий аспект ентомобіоіндикації – контроль за потенційно небезпечними видами шкідників, які дають спалахи масового розмноження в особливих екологічних ситуаціях, пов'язаних із господарською діяльністю людини.

Перед проведенням еколого-ентомологічного моніторингу проводять детальне вивчення біологічних параметрів майбутніх видів-біоіндикаторів. Потім складається інтегрована програма діагностики екосистеми з використанням методів ентомобіоіндикації. Ця програма має включати систему тестів для аналізу стану екосистеми, яка базується на сукупності ентомобіоіндикаторів і особливостях їх реакції відповіді на забруднення середовища. У зв'язку з тим, що можливості використання певних біологічних параметрів популяцій комах для моніторингу обмежені, виникає необхідність обліку їх сукупності та тривалих (багаторічних) спостережень на стаціонарних площах двох типів (із сильним і слабким антропогенним впливом). Це дає змогу встановити, спрямований або неспрямований характер мають зміни біологічних параметрів популяцій комах, за якими ведуться спостереження.

### **?** *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 для проведення біоіндикаційних досліджень?
4. Які критерії для добору біоіндикаційних показників використовуються на тканинному та організмовому рівні?
5. Назвіть макроскопічні зміни морфології рослин.
6. Якими факторами навколишнього середовища може бути спричинено зміна забарвлення тіла тварин?
7. Які біоіндикаційні ознаки на рівні організму більш показові?
8. Назвіть види ссавців, що найчастіше використовуються в біоіндикації.
9. 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, продукованого одним деревом за вегетаційний період?

## **ТЕМА 6. БІОІНДИКАЦІЯ НА ВИЩИХ ІЄРАРХІЧНИХ РІВНЯХ: ПОПУЛЯЦІЯ, ЕКОСИСТЕМА, БІОЦЕНОЗ**

**Мета:** набути знання 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. Біоіндикація на екосистемному та біоценотичному рівні.

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

### **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 біоіндикаційного спостереження може бути будь-яка група організмів: від мікрофлори до мегафауни. В тих випадках, коли передбачене використання маловивчених видів, обов'язкове додаткове дослідження їхньої фізіології та біохімії. При доборі видів варто враховувати їхній просторовий розподіл. Обмежена доступність може спричинити необхідність багаторазового добору проб, а це у свою чергу змушує розробляти відповідні вимоги у відношенні обсягу вибірки й частоти їх відбору. Перевагу слід віддавати тим видам, які чутливі до потенційних забруднень, навіть якщо вони мають обмежене екологічне і промислове значення. Можуть виникати труднощі добору проб, що пов'язані з особливостями поведінки організмів залежно від сезону, віку й міграцій. При розробці програм біоіндикації варто брати широко розповсюджені в районі, що досліджується види. При доборі видів для біоіндикації віддають перевагу видам, що представляють різні трофічні рівні.

Показники популяційного рівня. Використання показників популяційного рівня залежить від обраних видів. У біоіндикації використовують такі біоіндикаційні показники на популяційному рівні.

А. Ростові показники – дані про абсолютну або відносну швидкість росту можна отримати, вивчаючи структуру популяції або видів певного віку. Оскільки маркірування організмів проводити дуже важко, найкраще використовувати такі види, у яких утворюються щорічні мітки.

Б. Зміна плідності особин, що входять у популяцію, може свідчити про порушення репродуктивного процесу. Цей показник доцільно використовувати

для видів, що відкладають порівняно невелике число яєць.

В. Розподіл і різноманіття видів – є важливим показником стану популяції осілих видів, особливо при вивченні градієнту забруднення. Однак показник різноманіття для рухливих форм має велику мінливість, тому його цінність для біоіндикації порівняно невелика.

Г. Структура популяції – для оцінки цього показника можна використовувати методи визначення вікових груп. Максимальна чутливість структурного показника популяції досягається при спостереженні за змінами динаміки популяції.

Д. Біомаса – це структурний показник, визначення якого не представляє великих труднощів. У трав'янистих угрупованнях зручніше й найпростіше проводити облік біомаси в період максимального розвитку травостою. Одним із найбільш розповсюджених методів, є метод укосів. Для цього на площі розміром 20×25 м розміщують 20 ділянок 0,25×0,25 м, 0,5×0,5 м або 1×1м. Вибір оптимального розміру ділянок визначається загальними запасами й багатством травостою.

Е. Багатство – ця величина змінюється більше, ніж біомаса, якщо вона розглядається для певних груп особин. Сумарне значення багатства, очевидно, менш мінливо, чим багатство певних популяцій.

Ж. Видове різноманіття – число видів у даному таксоценозі, зазвичай, сильно залежить від числа й розміру проби. Вимір різноманіття ґрунтується на сумарному числі видів і особин і відносному розмаїтті особин певного виду.

З. Число вищих таксонів – простим методом біоіндикації може бути реєстрація числа особин із визначенням їх приналежності до роду, родини або порядку. Наприклад, виявлено поступове зниження числа таксономічних груп мезофауни в напрямку від відкритого моря до забруднених прибережних зон.

Співвідношення первинних продуцентів або консументів може бути пов'язано із сукцесією і стабільністю угруповання, а співвідношення видів с різними типами харчування може вказувати на переважний вид енергії, що доступна угрупованню.

К. Порівняння угруповань – методи порівняння угруповань у просторі й часі за своєю природою носять статистичний характер. Багато методів зараз широко використовуються і вже мають у вигляді стандартних обчислювальних програм.

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 конкуруючих видів. Змінюються також показники народжуваності і смертності, а в результаті щільність популяції (число особин/площа). Популяції з малою чисельністю особин перебувають під особливо великою загрозою. У відповідь на антропогенне порушення відбувається розширення або скорочення ареалу популяції. У крайньому випадку це може призвести до зникнення популяції й до вимирання виду. Дуже важливий, для біоіндикації, добір стійких екотипів до дії

антропогенних стресорів.

Екотип – сукупність особин будь-якого виду організмів, яка пристосована до умов місцезнаходження, має спадкоємні ознаки, що зумовлені екологічно.

У природі різноманіття екотипів є основою для підтримки однакової продуктивності популяції за змінними умовами мешкання. При цьому популяції багатьох видів містять екотипи з високою толерантністю до визначених антропогенних стресорів.

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

## 2. Біоіндикація на екосистемному та біоценотичному рівні

**Показові ознаки екосистемного рівня.** Негативний вплив антропогенних факторів на природні екосистеми виявляється в зміні їх видового складу. Маючи певну стійкість до негативних впливів, види формують угруповання, що відрізняються біорізноманіттям, що може бути використане для біоіндикаційних цілей. Показовими ознаками на цьому рівні є:

- 1) видовий склад, видове різноманіття;
- 2) характер поширення виду; динаміка ареалу, у тому числі розширення ареалів синантропних видів;
- 3) 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 й редуценти. Складні взаємозалежні процеси функціонування екосистеми здійснюються завдяки потоку енергії, харчових ланцюгів, кругообігу поживних речовин, зміни різноманіття, розвитку й еволюції в часі і просторі, ефективним виявилось попереднє виявлення таких ланок екосистем, за якими можна судити про стан екосистем.

Для оцінки стану навколишнього середовища використовується метод комплексної біоіндикації, який полягає в комбінації фіто- і зооіндикаторів на різних системних рівнях.

Перевагою цього методу є:

- можливість оцінити стан екосистемі як результат взаємодії природних елементів екосистем і антропогенного впливу, виявити ступінь стійкості й реакцію екосистем на вплив людини;
- використання біоіндикаторів, а саме їх фізіологічних індикаційних ознак, дає змогу визначити зміни в екосистемах на дуже ранніх етапах, коли вони ще не проявляються морфологічними і структурними змінами і їх не можна

виявити іншими методами;

– можливість передбачати порушення екосистем і вчасно вживати заходи, щоби захистити екосистему від ураження й тим самим не допустити великих народногосподарських втрат.

Метод комплексної біоіндикації має кілька послідовних етапів (рис. 10):

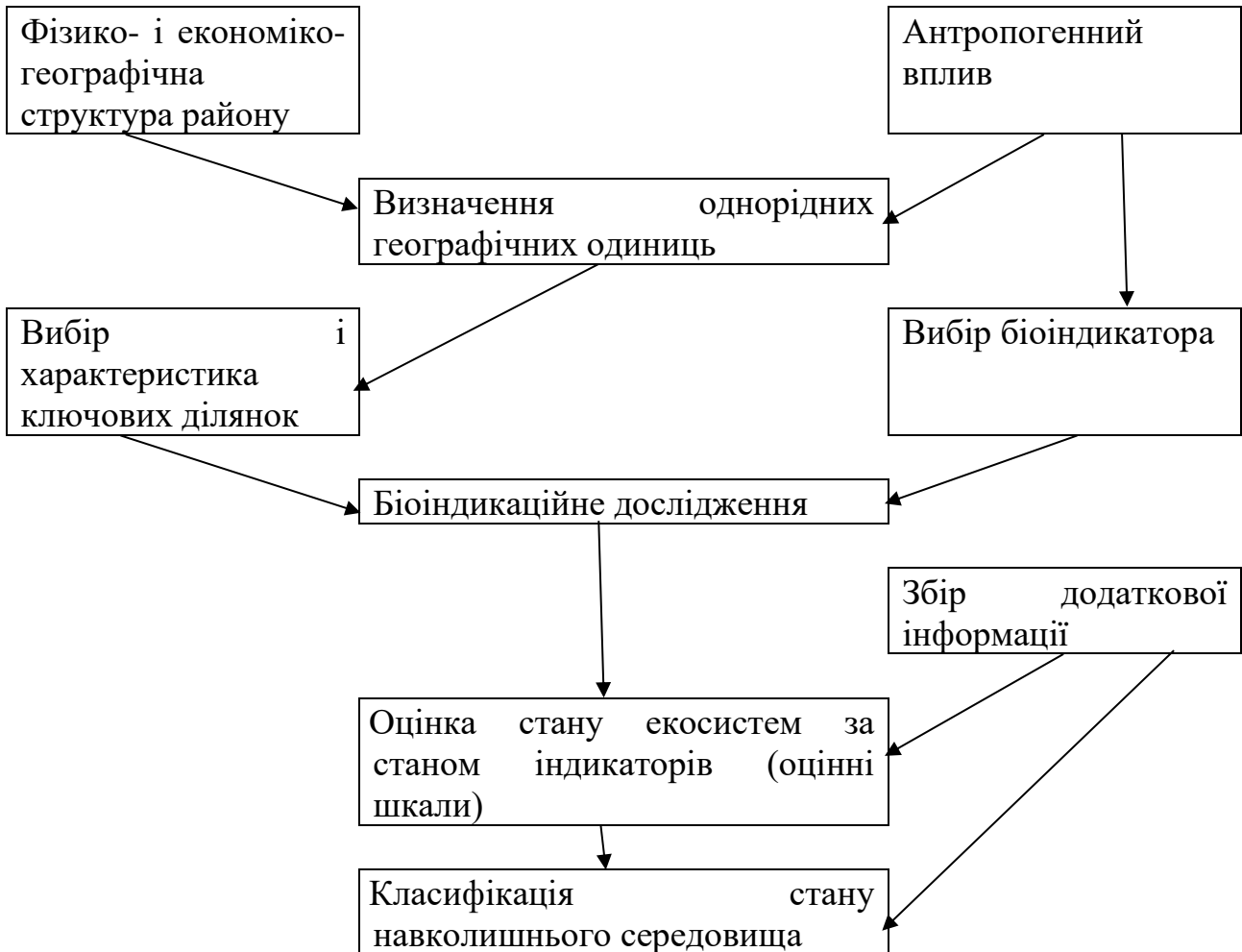


Рис. 10 – Логічна схема досліджень по методу комплексної біоіндикації

Перший – виявлення структури території за фізико-географічними і економіко-географічними факторами, виявлення антропогенного впливу й 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 упродовж трьох років три рази в рік – навесні, влітку і восени, щоби виявити не тільки стан індикаторів, але й динаміку їх змін.

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

П'ятий – оцінка стану навколишнього середовища, у два етапи:

1) виявлення основних кількісних співвідношень між станом індикаторів і станом екосистем; побудова оцінних шкал;

2) екстраполяція станів екосистем на більш великі однорідні географічні одиниці. Побудова карти стану навколишнього середовища.

Біоіндикаційні спостереження ведуться на двох системних рівнях – популяції й індивіда. Для кожного рівня розроблені критерії для вибору індикаторів і індикаційних ознак.

На рівні індивіда вибирають індикаційні ознаки за такими критеріями: тісний зв'язок зі значущими для життя реакціями організму;

– здатність відбивати поступові зміни стану організму, причому в ранніх стадіях, поки вони не виявляються в патологічному стані організму;

– здатність відбивати різну силу і якість фактору, що спричиняє зміни, повернутися в первісний стан у зв'язку з адаптацією організму до фактору або зі зникненням фактору;

– стандартний і простий спосіб добору проб і їх збереження;

– стандартні і прості методи аналізу.

Останні два критерії особливо важливі при фізіологічних спостереженнях, тому що більшість із них мають потребу в дотриманні точних експериментальних умов.

Основний критерій, по якому визначається стан фітоіндикатора – рівень фотосинтезу. Фотосинтез визначає життєздатність рослин, їх врожайність і добре відбиває всі зміни середовища мешкання. Але його рівень дуже важко виміряти безпосередньо, тому використовуються непрямі індикаційні ознаки – суха біомаса, кількість розчинних білків, активність пероксидази. Чим сильніше змінюється стан екосистеми в небажаному напрямку, тим менше фотосинтез. У зелених наземних частинах рослин зменшується їх суха біомаса, концентрація розчинних білків і активність фотосинтетичних ферментів.

Індикаційні ознаки зооіндикаторів: маса організму, маса органів (печінки, нирок), вміст важких металів в органах і вовні, активність церулопласміну – стресового ферменту. Це фермент крові, що містить у своїй молекулі іони Cu (він голубий) і чітко відбиває стан організму, підвищуючи свою активність при онкологічних захворюваннях, запаленнях і інших патологічних станах. Показано, що він також чітко відбиває і вплив факторів середовища існування, наприклад, при введенні в організм важких металів і при іммобілізації тварини.

Стан екосистем визначають зіставленням стану індикаторів – відхиленням їх індикаційних ознак від фонового (оптимального) стану. Для побудови оцінних шкал доцільно виражати відхилення не в абсолютних величинах, а у відсотках, де за 100 % береться величина фонового стану. Оцінюючи, не можна ігнорувати, у яку сторону йде відхилення від фонових значень в екологічному і фізіологічному змісті. В екстремальних випадках можуть спостерігатися відхилення й у позитивну сторону. У підсумку отримується набір величин, кількість і величина відхилень, яких відбиває стан екосистеми. Чим більше

відмінність від фону й чим вище відхилення, тим «гірше» стан екосистем. Залежно від розподілу відхилень за рівнями індикаторів (популяцій і індивідів) можна судити про ступінь і характер змін стану екосистем і біосфери в цілому(рис. 11).

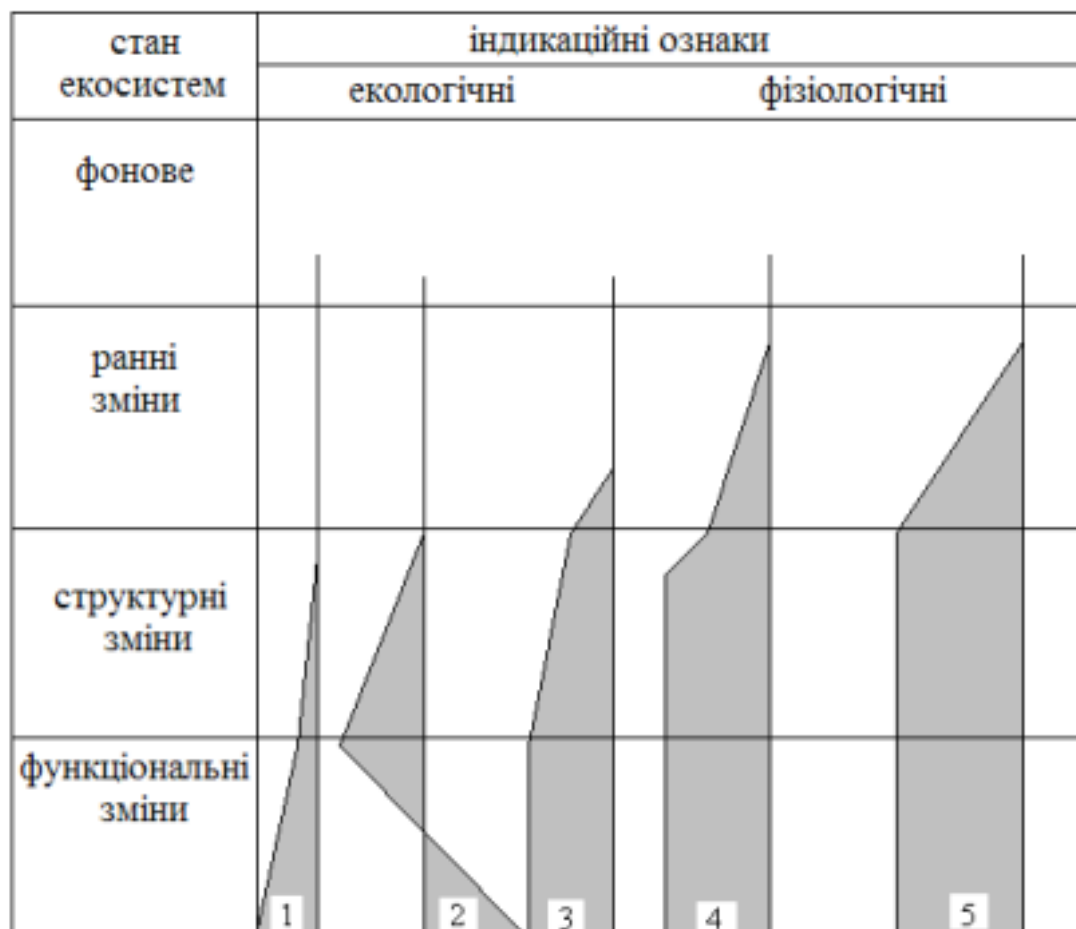


Рис. 11 – Модель оцінної шкали: 1 – кількість видів; 2 – чисельність; 3 – біомаса; 4 – вага органів; 5 – активність ферментів

Різне відхилення фізіологічних індикаційних ознак і майже фонове значення екологічних свідчать про ранні стадії порушення екосистем. На стадії структурного порушення екосистем екологічні і фізіологічні ознаки досягають майже однакових відхилень і вони пропорційні. Про функціональне порушення екосистем свідчить перевищення відхилень екологічних ознак над фізіологічними. На цьому етапі фізіологічні ознаки вже не змінюються, більш якісна оцінка виходить завдяки екологічним ознакам.

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

На основі карти й оцінних шкал у майбутньому можна швидко оцінити



стан будь-який екосистеми відповідного типу певного регіону й дати рекомендації про оптимальну господарську діяльність на цій території.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Назвіть біоіндикаційні показники популяційного рівня.
2. Значення біоіндикації на популяційному рівні.
3. Які показові ознаки екосистемного рівня Вам відомі?
4. Охарактеризуйте 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 кругообігу вуглецю за наступними даними, тис. т/рік: дихання рослин – 50; тварин – 4,1; людей – 0,7.

3. У наш час у 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 за рахунок спалювання викопного палива в атмосфері накопичується  $\Delta C = 5$  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>.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ БІОІНДИКАЦІЇ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

### ТЕМА 7. ДЕНДРОІНДИКАЦІЯ

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

#### План

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

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

#### 1. Використання судинних рослин у якості біоіндикаторів

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. Під антропогенним впливом у листі відбуваються морфологічні зміни (поява асиметрії, зменшення площі листової пластини). Добрими біоіндикаторами в місті є листя берези, дерева з високими поглинаючими якостями.

Під час формування листової пластини, у міру накопичення токсичних речовин, відбувається гальмування ростових процесів, і деформація листа. Після остаточного формування листових пластин на деревах, які відчувають високе техногенне навантаження, їх площі менше, ніж на деревах, які ростуть у більш сприятливих екологічних умовах.

Деревні породи, стають у ролі едіфікаторів і саме вони відіграють основну роль у створенні біосередовища і формуванні структури біоценозу. Рослинність нижніх ярусів відіграє підпорядковану роль щодо деревних порід, але для характеристики і визначення лісорослинних умов вона є або в рівнозначному, або в більш значущому положенні (особливо в штучно створених насадженнях). Але за будь-яких умов кожний конкретний вид має неперевершене значення. Втім, кваліфікований спеціаліст лісового господарства визначаючи тип лісорослинних умов одночасно оцінює весь комплекс вказаних показників – і видовий склад, і співвідношення видів, і їх розміри, і зовнішній вигляд насадження. Важливе значення для ідентифікації типів лісорослинних умов має співвідношення тих чи інших видів на конкретній ділянці лісу. Цей показник

вказує на потенційну продуктивність ґрунтів та ступінь їх вологості.

За допомогою рослин можна провести біоіндикацію всіх природних середовищ. Індикаторні рослини застосовуються для оцінювання механічного й кислотного складу ґрунтів, їх родючості, зволоженості та засолення, ступеню мінералізації ґрунтових вод і ступеню забруднення атмосферного повітря газоподібними сполуками, а також для виявлення 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*), купруму та кобальту – смольовка (*Silene vulgaris*), багато злаків та мохи.

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 ув'яданням та опаданням листя. У багаторічних рослин забруднюючі речовини спричиняють зміну розмірів, форму та кількість органів, напрямок росту пагонів або зміну плодючості. Подібні реакції зазвичай неспецифічні.

## 2. Критерії добору рослин для використання у якості біоіндикаторів

Ідеальний біологічний індикатор має задовольняти низку потреб:

- бути типовим для певних умов;
- мати високу чисельність у досліджуваному екотопі ;
- мешкати в певному місці й упродовж багатьох років, що дає можливість простежити динаміку забруднень;
- знаходитися в умовах, які зручні для добору проб;
- давати можливість проводити прямі аналізи без попереднього концентрування проб;
- характеризуватися позитивною кореляцією між концентрацією забруднюючих речовин в організмі-індикаторі й об'єкта дослідження;
- використовувати в природних умовах цього існування;
- має короткий період онтогенезу, щоби була можливість відслідковувати вплив чинника на наступні покоління.

Критерії вибору біоіндикатора:

- швидка відповідь;
- надійність (помилка <20 %);
- простота;
- моніторингові можливості (постійно присутній у природі об'єкт).

Методи біоіндикації поділяються на два види: **реєструвальна біоіндикація** і **біоіндикація за акумуляцією**.

Реєструвальна біоіндикація дає змогу зробити висновок про вплив чинників середовища за станом особин виду або популяції, а біоіндикація за акумуляцією використовує властивість рослин накопичувати ті чи інші хімічні

речовини.

Відповідно до цих методів розрізняють реєструвальні й накопичувальні індикатори.

Реєструвальні індикатори реагують на зміни стану навколишнього середовища зміною чисельності, пошкодженням тканин, соматичними проявами (в тому числі повторюваність), зміною швидкості росту та іншими добре помітними ознаками.

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

Дуже часто для біоіндикації використовують різні аномалії росту й розвитку рослин (рис.12) – 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).



Рис. 12 – Аномалії росту та розвитку рослин

Гігантизм і карликовість багато вчених вважають каліцтвом. Наприклад, надлишок у ґрунті міді вдвічі зменшує розміри каліфорнійського маку, а надлишок свинцю призводить до карликовості смілки.

Для біоіндикації цікаві такі деформації рослин:

- фасціації – стрічкоподібні сплюснення і зростання стебел, коренів і квітконосів;
- махровість квіток, у яких тичинки перетворюються на пелюстки;
- проліфікації – проростання квіток і суцвіть;
- асцидія – воронкоподібні, чашоподібні і трубчасті листя рослин із пластинчастими листям;

- редукція – зворотній розвиток органів рослин, виродження;
- ниткоподібність – нитчаста форма листкової пластинки;
- фітоподії тичинок – перетворення в перетворення в пласке листове утворення.

### **3. Рослини-індикатори й рослини-монітори. Оцінювання реакції рослин на забруднення**

За особливостями реакції на вплив забруднювачів рослини поділяють на рослини-індикатори і рослини-монітори.

**Рослина-індикатор** – рослина, у якої ознаки ушкодження виявляються під впливом 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 одержати дані про її кількість.

Індикаторами можуть бути такі рослини, які акумулюють у тканинах забруднюючу речовину або продукти метаболізму, утворені внаслідок взаємодії рослини із зовнішніми чинниками: важкими металами (свинець і кадмій), газоподібними речовинами, такими як фтористий водень (HF) або сульфат ( $SO_4$ ). Внаслідок їх дії в рослин можуть змінюватися параметри розвитку: швидкість і якість росту й дозрівання, цвітіння, утворення плодів і насіння, процесів розмноження; знижуватися продуктивність і врожайність.

Кожний параметр окремо або їх комплекс можна використати, щоби визначити наявність забруднюючих речовин у повітрі і (за допомогою проведення дослідів) у контрольованих умовах для того, щоби зіставити ознаки ушкодження або зміни в стані рослини з наявністю певної забруднюючої речовини або їх суміші. Такі дослідження засвідчили, наприклад, що тютюн дуже чутливий до дії озону й реагує характерними ушкодженнями. Також виявлено, що кількість зав'язі і врожайність помідорів значно зменшуються під хронічним впливом на цю рослину озону в низьких концентраціях. У соєвих бобів за дії певних доз  $SO_2$  з'являються небажані ознаки, змінюються швидкість росту і врожайність.

Лишайники і мохи відомі як накопичувачі забруднюючих речовин, переважно важких металів, які ці рослини можуть акумулювати в кількостях, що значно перевищують їх концентрацію в навколишньому середовищі.

Отже, поява в рослин типової ознаки ушкодження вказує на наявність у повітрі забруднюючої речовини або їх суміші.

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

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

Звичайно, з цією метою використовують різноманітні прилади. Однак прилади коштують дуже дорого, для їх роботи необхідні живлення, калібрування, спостереження за функціонуванням. Іноді вони надто чутливі й непридатні для роботи в умовах суворого клімату. На відміну від них рослини дешеві, легко відновлюються, швидко розмножуються й по-різному реагують на вплив, даючи змогу вибрати одну або кілька найхарактерніших реакцій для певного дослідження. Можна також використати недовговічні (трав'яні) рослини, які оновлюються кожного сезону чи кілька разів упродовж одного вегетаційного періоду, або дерев'янисті рослини (дерева, кущі), котрі можна висадити на потрібних ділянках і використовувати як індикатори протягом довгого періоду.

Для того, щоб індикатор став монітором, тобто міг інформувати про якісні й кількісні характеристики забруднювача, необхідно визначити і використати залежності між реакцією рослин на забруднення й концентрацією цієї речовини в навколишньому середовищі. Для цього використовують три основні способи:

- 1) зіставлення ступеню ушкодження, спричиненого забруднюючою речовиною, із відомою концентрацією забруднюючої речовини в 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 із концентрацією забруднюючої речовини в повітрі.

Оскільки внаслідок притаманної рослинам змінності види і сорти рослин по-різному реагують на вплив негативних факторів, треба відбирати ті рослини, реакція яких передбачувана. Такими є мохи, папороті, голо- і покритонасінневі, які використовують як біоіндикатори і (або) біомонітори.

Отже, моніторинг природних популяцій можна поєднувати із розведенням та селекцією для отримання чутливих до впливу забруднюючих речовин рослин із передбачуваними реакціями. Можливе виведення нових видів рослин, придатних для моніторингу забруднення повітря.

Під час проведення дослідів для моніторингу довкілля вивчають ознаки ушкодження рослин, зміни їх у рості та розмноженні, зниження врожайності або продуктивності, а також зміни ареалів поширення різних видів. Однак такі реакції також значною мірою залежать від віку рослини, факторів довкілля та способів обробітку ґрунту. Тип ґрунту, вміст у ньому мінеральних речовин, відносна вологість, топографічні та метеорологічні умови впливають на тип реакції рослини, на дію певної концентрації або дози будь-якої забруднюючої речовини або їх суміші. У зв'язку зі змінністю рослин навіть на території певної популяції під час здійснення моніторингу необхідно використовувати велику кількість різних рослин і розміщувати їх у такий спосіб, щоби вони мали максимальний вплив вітрів.

#### 4. Адаптація рослин до умов техногенного забруднення

У будь-якому живому організмі відбувається безперервний ланцюг адаптаційних змін, спрямованих на збереження та відновлення динамічної сталості внутрішнього середовища, або гомеостазу.

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.

Комплекс реакцій організму на стресори становить адаптаційний синдром, у якому виділяють три стадії:

- тривога, коли розвивається гальмування великої кількості процесів;
- адаптація, коли відбувається пристосування до певного стресора;
- виснаження, якщо адаптивний потенціал особини недостатній для подолання впливу стресора.

Теорія стресу дає змогу 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.

Адаптивний процес до зовнішніх умов має різну тривалість, у результаті чого, можна виділити декілька його типів:

– еволюційна адаптація – ґрунтується на утворенні нової генетичної інформації, яка, визначає нові адаптивні фенотипові ознаки. Формується протягом багатьох генерацій.

– аклімація та акліматизація – процеси пристосування відбуваються впродовж життєвого циклу організму і тривають від кількох годин до кількох місяців. Типовим прикладом є різноманітні сезонні зміни в рослин.

– 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.

Деякі адаптаційні зміни створюють принципово нові можливості для використання організмом власного природного середовища або ж навіть для експансії в нові умови. Адаптацію такого типу називають *експлуативною*. На відміну від компенсаторної, яку супроводжує відновлення пристосувальних процесів, експлуативна адаптація не є необхідною. Організм нормально функціонує без нових можливостей, але завдяки ним значно краще

приспосовується до нових, раніше не доступних умов існування.

До механізмів формування загального адаптаційного синдрому рослин 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 багатофакторного 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 й будь-який вплив несприятливих умов довкілля спричиняє комплекс відповідних захисних реакцій, частина яких має загальний характер, а частина – специфічний.

До первинних неспецифічних процесів, що відбуваються на клітинному рівні рослин за умов сильної і швидко наростаючої дії стресора, відносять такі:

1. Підвищення проникності мембран, деполяризація мембранного потенціалу плазмолемі.
2. Вхід  $\text{Ca}^{2+}$  у цитоплазму (із клітинних стінок і внутрішньоклітинних компартментів: вакуолей, ЕС-клітини, мітохондрій).
3. Зсув рН цитоплазми в кислу сторону.
4. Активація збирання актинових мікрофіламентів і сіток цитоскелета в результаті чого зростає в'язкість і світлорозсіювання цитоплазми.
5. Підвищення поглинання кисню, прискорення витрат АТФ, розвиток вільнорадикальних реакцій.
6. Посилення гідролітичних процесів.
7. Активація й синтез стресових білків.
8. Посилення активності  $\text{H}^+$ -помп у плазмолемі (і, можливо, у тонопласті), що перешкоджає несприятливим змінам іонного гомеостазу.
9. Збільшення синтезу етилену й АБК, гальмування поділу й росту, поглинальної активності клітин і інших фізіологічних і метаболічних процесів, що здійснюються у звичайних умовах. Гальмування функціональної активності клітин відбувається в результаті дії інгібіторів і витрати енергетичних ресурсів на подолання несприятливих умов.

Перераховані стресові реакції спостерігаються внаслідок дії будь-яких стресорів. Вони спрямовані на захист внутрішньоклітинних структур і усунення несприятливих змін у клітинах. Особливе зацікавлення спричиняють дані про активацію в клітинах в умовах стресу синтезу так званих стресових білків з одночасним ослабленням продукуванням білків, що утворюються в нормальних



умовах. Так, у багатьох рослин виявлені білки теплового шоку.

Відомо, що деякі з цих білків існують у цитоплазмі постійно в невеликій кількості, а в умовах стресу їх синтез збільшується через фрагментування. У ядрі та ядерці білки теплового шоку утворюють гранули, що зв'язують матриці хроматину, необхідні для нормального метаболізму. Після припинення дії стресових чинників ці матриці вивільняються й починають функціонувати. Один із білків теплового шоку стабілізує плазмолему, проникність якої для внутрішньоклітинних речовин в умовах стресу зростає.

За несприятливих умов у клітинах зростає вміст вуглеводів, проліну, що беруть участь у захисних реакціях, стабілізуючи цитоплазму. У разі водного дефіциту й засолення в ряді рослин (ячмінь, шпинат, бавовник та ін.) концентрація проліну в цитоплазмі зростає в 100 і більше разів. Завдяки своїм гідрофільним групам пролін може утворювати агрегати, що мають властивості гідрофільних колоїдів. Незвичайний характер взаємодії агрегатів проліну з білками підвищує розчинність останніх і захищає їх від денатурації. Нагромадження проліну як осмотично активної органічної речовини сприяє утриманню води в клітині.

Незначні за ступенем вияву повторювані стреси сприяють загартовуванню організму, причому в багатьох випадках доведено, що загартування одним стресовим фактором підвищує стійкість організму й до деяких інших стресорів.

На різних рівнях організації пристосування рослин до екстремальних умов здійснюється неоднаково. Чим вищий рівень біологічної організації (клітина, організм, популяція), тим більша кількість механізмів одночасно бере участь в адаптації рослин до стресових впливів.

На організмовому рівні не тільки зберігаються всі механізми адаптації, клітині, але й виникають нові, що відбивають взаємодію органів у цілій рослині. Насамперед це конкурентні відносини між органами за фізіологічно активні речовини і трофічні фактори, побудовані на силі притягання. Подібний механізм дає змогу рослинам в екстремальних умовах формувати такий мінімум генеративних органів, який вони в змозі забезпечити необхідними речовинами для нормального дозрівання.

Найважливіший і дуже характерний для рослин механізм захисту від наслідків дії екстремальних факторів – заміна пошкоджених чи втрачених органів через регенерацію і ріст пазушних бруньок. У разі несприятливих умов існування в рослинах різко зростає утворення етилену й АБК, які знижують обмін речовин, гальмують ростові процеси, спричиняють старіння й опадання органів, переходу організму в стан спокою. Одночасно в тканинах знижується вміст ауксину, цитокініну й гіберелінів. Ця стереотипна реакція гормональної системи на екстремальні умови дуже характерна для рослинних організмів.

За умов тривалого й сильного стресу на популяційному рівні в період виснаження гинуть ті індивідууми, у яких норма реакції на певний екстремальний фактор обмежена генетично. Ці рослини усуваються з популяції, а насінневе потомство утворюють лише генетично стійкі рослини. У результаті загальний рівень стійкості популяції зростає. Таким чином, у стресову реакцію

включається додатковий фактор – добір, внаслідок якого з'являються більш пристосовані до нових умов організми (генетична адаптація). Передумовою виникнення цього механізму служить внутрішньопопуляційна варіабельність рівня стійкості до того чи іншого фактору або групи факторів. Стійкість рослин до стресових факторів значно залежить від фази онтогенезу: якщо в стані спокою рослини найбільш стійкі, то в періоди пророщування або формування – найбільш уразливі.

### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Які особливості судинних рослин використовуються в біоіндикації?
2. Які потреби має задовольняти ідеальний біоіндикатор?
3. Чим відрізняються рослини-індикатори від рослин-моніторів?
4. Що таке загальний адаптаційний синдром?
5. Стадії адаптаційного синдрому.
6. 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 тон 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 ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ). Потужність скидання за контрольний період склала  $1000 \text{ м}^3$ . Рівноважна концентрація  $\text{O}_2$  у водоймищі до скидання стічних вод – 9 мг/л, об'єм водоймища –  $10000 \text{ м}^3$ . 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 за рахунок 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?

## ТЕМА 8. ЛІХЕНОІНДИКАЦІЯ ТА БРІОІНДИКАЦІЯ

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

### План

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

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

### 1. Характеристика мохів та лишайників як об'єктів біоіндикації

*Мох* – природний біоіндикатор, який реагує на забруднення або, наприклад, посуху, залежно від того, що відбувається навколо, він змінює форму й щільність, а може й повністю зникнути. Мох поглинає воду й поживні речовини там, де він росте, і це є хорошим показником змін в екосистемах. Спостерігаючи за цими змінами в природному середовищі (або навіть у певних заданих людиною умовах), вчені можуть встановити рівень забруднення повітря, який у свою чергу може завдати шкоди здоров'ю людей.

Японський вчений Йошитака Оіші, провів дослідження в місті Хатіодзі на північному заході Токіо, де була довгий час посуха, а також у цьому районі мох показав високі азотні забруднення, що у свою чергу спричинило стурбованість у дослідника.



Рис.13 – Мохи

Мох росте не тільки, у лісі, але й у міських парках і його можна зустріти навіть на деяких деревах у центрах мегаполісів. Щороку 88 відсотків міських

жителів наражаються на серйозну небезпеку – рівень забруднення повітря рік від року тільки збільшується, у рази перевищуючи рекомендації за якістю повітря Всесвітньої організації охорони здоров'я. Сьогодні найбільші викиди в атмосферу відбуваються в Південно-Східній Азії, на східному Середземномор'ї, у країнах Латинської Америки й Африки. Мох може бути економічним методом моніторингу, що дає змогу дізнатися, наскільки все погано в цих країнах.

Брюссельська компанія Green City Solutions встановлює подібність мобільних стін, на яких росте мох – у центрі міст, такі стіни діють як невеликі переносні поглиначі.

Як індикатори забруднення наземних екосистем успішно використовуються мохи, які здатні накопичувати потенційно токсичні елементи. Унаслідок фізіологічних особливостей, вони поглинають мінеральні речовини як із повітряного середовища, так і з гумусового шару ґрунту. Тому мохи застосовують для оцінки атмосферного забруднення, а також для тестування стану верхнього шару ґрунтового покриву. У якості індикаторів 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.

Як показники екологічних умов використовують видовий склад мохів і їх кількість, а вміст мінеральних речовин в організмі мохів є інтегральним показником рівня забруднення, що відображає більш-менш усереднене зміст поллютантів за тривалий період.

**Ліхеноіндикація** – один із найважливіших і корисних методів екологічного моніторингу. Однак цей метод не завжди застосовують. Справа в тім, що лишайники, як і будь-які живі організми, відчувають зміни навколишнього середовища. Тому в природі часто не можна встановити конкретну причину тих або інших ушкоджень лишайників. Простий вплив температури або вологості може перебивати вплив забруднення, особливо, якщо концентрація забруднюючих речовин невелика.



Рис.14 – Лишайники

Один із провідних ліхенологів, Х. Трас, розділив методи ліхеноіндикації (тобто індикації за допомогою лишайників) на три групи.

На перше місце він поставив методи, що дають можливість вивчати зміни, що відбуваються в будівлі й життєвих функціях лишайників під впливом забруднення.

Методи другої групи базуються на описі видів лишайників, що живуть у районах із різним ступенем забруднення атмосфери.

Третя група включає методи вивчення цілих лишайникових співтовариств у забруднених районах і складання спеціальних карт.

Використовуючи методи першої групи можна вибрати показовий вид лишайника, що досить легко відзивається на погіршення якості навколишнього середовища. Відмінний приклад такого індикаторного виду – гіпогімнія роздута, і багато ліхенологів використовують цей лишайник для проведення своїх досліджень. Так, вивчаючи поширення викидів сталеливарних заводів у Північній Фінляндії, вчені зібрали зі стовбурів дерев гіпогімнію роздуту, що виростала на різних відстанях від заводів. У міру наближення до джерела викидів сильно мінялися такі показники стану рослини, як кислотність клітинного соку, електропровідність, зміст хлорофілу, сірки й заліза в слань і ступінь пошкодження фотобіонта.

До речі, за станом водорості в лишайнику легко спостерігати, користуючись флуоресцентним мікроскопом. Здорові клітки в синім або ультрафіолетовому світлі мають характерне червоне світіння. У міру руйнування кліток колір стає спочатку коричневим, потім жовтогарячим і потім білим. Щоби визначити, наскільки швидко зміниться лишайник під впливом забруднення, користуються методом трансплантації, тобто пересаджування рослини в забруднені райони.

Уперше трансплантацію лишайників здійснив німецький учений Ф. Арнольд у 1892 році. Він переніс трохи надґрунтових видів цих рослин із сільської місцевості в місто Мюнхен. Дуже незабаром усі «переселенці» загинули. У 1959 році з Хібін у Ботанічний сад Тартуського університету привезли п'ять арктоальпійських лишайників. Уже в перші місяці перебування на новому місці лишайники сполотніли, їх апотеції втратили свій ошатний вид, ріст припинився. Через рік усі лишайники загинули. Довше інших протрималася нефрома арктична.

Надґрунтові лишайники переносять разом із ґрунтом, вирізуючи ділянки розміром 20×20 або 50×50 см. Рунисті види можна переносити в спеціальних пластмасових горщиках або підвішувати в сіточках. Епіфітні види переносять разом із гілками або шматочками кори, на яких вони росли. Для висікання дисків із кори користуються особливими бурами діаметром 4-6 см. У забрудненому районі кору й гілки з епіфітами прибивають на дерева тих же порід, що й дерева, з яких вони були вилучені, або на спеціальні дошки і стовпи. Через кілька тижнів або місяців лишайники досліджують і визначають ступінь їхньої пригніченості. Пересадження дає зведення про індивідуальну стійкість видів.

Стосовно забруднення повітря види лишайників та мохів можна розділити

на три категорії:

- 1) низько чуттєві, зникаючі при перших симптомах забруднення;
- 2) середньочуттєві, що приходять на зміну загрозливим чуттєвим видам, з якими вони не могли конкурувати, поки повітря було чистим;
- 3) самі витривалі, толерантні до забруднення.

Іноді стійкість лишайників до забруднення обумовлена зовнішніми умовами. Виявляється, що слань, що добре змочується, страждає від забруднення більше, ніж змочувана погано. Але іноді пояснення причини стійкості лишайника до забруднення потрібно шукати усередині самого лишайника.

Важливу роль грає щільність покривного шару, проникність кліток, присутність деяких лишайникових речовин, що нейтралізують кислотні випадання.

На основі індивідуальних особливостей лишайників були зроблені шкали, що дають змогу встановити рівень забруднення конкретного району за наявності або відсутності в ньому визначених видів лишайників. Прикладом може служити шкала полеотолерантності епіфітів, тобто стійкості до міських умов. Цю шкалу склав Х. Трас. Шкала включає десять класів.

У 1-й, 2-й і 3-й класи входять лишайники, що живуть тільки в природних ландшафтах (у лісах, болотах, удалині від населених пунктів) і в слабо окультуреній місцевості (у лісових масивах поруч із населеними пунктами, лугах).

У 4-й, 5-й і 6-й класи попадають лишайники, що більш-менш часто зустрічаються в помірковано окультуреному ландшафті (у селищах, малих містах, парках в околицях великих міст і на цвинтарях).

Нарешті, класи 7, 8, 9 і 10 поєднують ті види лишайників, що поширені в сильно окультурених районах (у великих і середніх містах). Іноді лишайникам допомагають вижити самі несподівані щасливі обставини. Так, краще виживають ті колонії, у розпорядженні яких більше живильних речовин. Помічено скупчення лишайників на краях міських дахів, де багато пташиного калу, а також на гниючих суках старих дерев. Важливим є й переважне в певному районі напрямком вітрів, що несуть згубні гази й пил.

Ліхенологічні карти дають можливість спостерігати за змінами, що відбуваються в стані повітря протягом 20-50 років. Ці методи вимагають не дуже значних витрат і з успіхом можуть доповнити, а іноді й замінити більш точні фізико-хімічні методи дослідження повітря, для яких необхідна дорога апаратура. Щоправда, для складання карт необхідно досить повно вивчити ліхенофлору в досліджуваному районі.

Припустимо, потрібно скласти опис епіфітних лишайників у якому або парку. Для цього, рухаючись алеєю, описують ті лишайники, що ростуть по обох її сторонах на пробних майданчиках, на кожному п'ятому (або третьому або десятому) дереві. Пробний майданчик обмежується на стовбурі дерев'яною рамкою, наприклад розміром 10×10 см, що розділена усередині тонкими дротиками на квадратики 1 см<sup>2</sup>. Вказують, які види лишайників зустрілися на



ділянці, який відсоток загальної площі рамки займає кожен зростаючий там вид. Крім того, зазначають життєздатність кожного зразка: є чи в нього плодові тіла, здорова або хирлява слань. На кожному дереві описують мінімум чотири пробні майданчики: дві в підстави стовбура (з різних його сторін) і дві на висоті 1-1,5 м. Загалом, алеєю виходить значне число описів, а у всьому парку – і того більше. Одні карти відбивають присутність якогось одного виду лишайників на певній території, інші подають додаткову інформацію про його достаток у різних крапках, на третіх позначене кількість видів лишайників, що виростають у зоні дослідження.

## **2. Характеристика видів забруднень, що визначаються за допомогою мохів та лишайників**

Мохи здатні накопичувати у своєму організмі широкий спектр техногенних полютантів: від органічних речовин, включаючи пестициди, до важких металів і радіонуклідів. Вміст важких металів у 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 здатні витягувати іони різних елементів прямо з атмосфери, якщо цих елементів немає в субстраті. Це пов'язано з тим, що мохоподібні позбавлені покривних тканин і вологу вбирають усією поверхнею тіла, яка дуже велика щодо обсягу. Тому, мохи служать чудовими індикаторами наявності або відсутності різних елементів в атмосфері або субстраті. Найбільш перспективним є їх використання для вивчення забруднення навколишнього середовища важкими металами для індикації таких металів, як Pb, Zn, Cd, Si, Fe, Ni.

Мохи є індикаторами особливостей місцезростань, вказують на певні якості цих місцезростань, на динамічні процеси, що відбуваються в ценозах. Так, *Syntrichia caninervis* Mitt. є індикатором вапнистих субстратів, *Polytrichum piliferum* Hedw. вказує на вкрай ксерофітні умови середовища.

Характеристика мохоподібних як індикаторів стану навколишнього середовища псамофітних ценозів. *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T. Kop. – індикатор неморальних умов середовища. *Brachythecium mildeanum* (Schimp.) Schimp. – індикатор лучних ценозів та подібних до них вологих субстратів. *Cephaloziella divaricata* (Sm.) Schiffn. – індикатор мохово-лишайникової стадії демутації псамофітних ценозів, у т. ч. постпірогенних сукцесій. *Didymodon rigidulus* Hedw. – піонер первинних сукцесій на вапнякових стінах та бетонних спорудах. *Didymodon sinuosus* (Mitt.) Delogne – піонер первинних сукцесій вапнистих субстратів (будівлі з вапняку, місця добичі вапняків тощо).

Мохи є визнаними індикаторами рівня забруднення селітебних територій. За їх наявністю або відсутністю встановлюються зони з визначеним рівнем забруднення. Індикаторами сильнозабрудненої ізотоксичної бріоіндикаційної зони проявили себе дуже толерантні до токсичної дії полютантів, крайні

урбанофіли, бокоплідні мохи *Leskea polycarpa* Hedw. та *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Schimp. Середньозабруднену ізотоксичну бріоіндикаційну зону презентують дуже толерантні до токсичної дії поллютантів, помірні урбанофіли *Orthotrichum pumilum* Sw., *Brachythecium salebrosum* (Hoffm. ex F. Weber & Mohr) Schimp. та крайні урбанофіли – *Amblystegium serpens* (Hedw.) Schimp. та *Platygyrium repens* (Brid.) Schimp. Слабкозабруднену ізотоксичну бріоіндикаційну зону презентують високочутливі до забруднення атмосферного повітря, урбанонейтралі *Orthotrichum diaphanum* Schrad. ex Brid. та *Brachytheciastrum velutinum* (Hedw.) Ignatov & Huttunen, а також дуже толерантний до токсичної дії поллютантів, помірний урбанофіл *Orthotrichum speciosum* Nees. та помірні урбанофоби – *Plagiothecium cavifolium* (Brid.) Iwats. та *P. nemorale* (Mitt.) Jaeg.

Мохами-індикаторами незабрудненої ізотоксичної бріоіндикаційної зони є антропофобні види – *Homalia trichomanoides* (Hedw.) Brid. та *Anomodon attenuatus* (Hedw.) Huebener. Високорезистентними до забруднення атмосферного повітря, дуже толерантними до токсичної дії поллютантів, антропофільними, урбанофільними видами є *Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv., *Bryum argenteum* Hedw., *B. capillare* Hedw., *Syntrichia ruralis* (Hedw.).

До індикаторів пилового забруднення належать листуваті лишайники – представники родів феофісія (*Pheophyscia orbicularis*), фісція (*Physcia stellaris*, *Ph. adscendens*, *Ph. tenella*), ксанторія, або золотянка (*Xanthoria parietina*), масюкієлла (*Massjukiella polycarpa*), 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) куцистих 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 із 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 куцистих та листуватих, накипні види стійкі до кислот. забруднення атмосфери. Прикладом таких видів є *Lecanora conizaeoides* та *Scoliciosporum chlorococcum*. Виникнення *Lecanora conizaeoides* пов'язують із 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 біоіндикаторів

Вперше зникнення лишайників задокументував А. Нюляндер 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 застосований під час ліхеноіндикаційного картування в Луцьку, Львові, Івано-Франківську, Рівному, Тернополі, Чернігові, Кременчуці (Полтавська обл.) та ін.

Визначення класу полеотолерантності потребує наявності відомостей щодо екології лишайників у природних та антропогенно змінених екосистемах певного регіону. У зв'язку з цим індекс використано лише в Естонії та деяких інших регіонах. Загалом, 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, Кременчузі та ін., а також на територіях, що прилягають до промислових об'єктів Івано-Франківська та Львівської області.

У наш час склалася ситуація, за якою для здійснення біоіндикаційних робіт повсюдно в якості біоіндикаторів застосовують лишайники, водорості, квіткові й голонасінні рослини й рідко – мохоподібні. Бріологія розвинулася в 19 столітті в результаті робіт Й. Гедвіга, В. Гофмейстера, К. Гебеля та інших. Якщо з 1896 р опубліковано понад 800 робіт із проблеми «Атмосферний забруднення й лишайники», то про використання мохів – не більше 200. Не дивлячись на це, представники відділу Моховидних (бріофіти) можуть успішно використовуватися в якості індикаторних рослин. Вони відповідають усім вимогам, мають досить тривалий життєвий цикл; види приурочені до строго визначених місцезнаходження; зустрічаються в багатьох географічних зонах земної кулі; пошкодження деяких особин або агрегацій мохів зберігаються аж до їх загибелі.

#### **?** *Питання для самоконтролю*

1. Як лишайники та мохи використовують у якості індикаторів забруднення навколишнього середовища?

2. Які види забруднень можна визначити за допомогою мохів та лишайників?

3. Внесок українських вчених у бріо- та лишеноіндикацію.

4. 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 лишайника, 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?

## ТЕМА 9. БІОІНДИКАЦІЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

**Мета:** систематизувати знання щодо методів біоіндикації забруднення атмосферного повітря.

### План

1. Біоіндикація 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 біоіндикації атмосферного повітря.

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

### 1. Біоіндикація забруднення атмосфери за допомогою рослин

Оскільки рослини загалом мають порівняно високу чутливість до дії деяких забруднюючих речовин, їх можна використовувати в якості індикаторів для виявлення забруднення і визначення його рівня, а також під час здійснення моніторингу стану забруднення атмосфери. Якщо рослини здатні накопичувати забруднюючі речовини без зміни їх хімічного складу завдяки метаболічним процесам і якщо акумульовані речовини можуть бути легко ідентифіковані в зразках рослини, то такі види рослин можна використовувати як накопичувачі забруднення. Якщо акумуляція речовин рослинами може розглядатися як прояв впливу забруднення, то використання рослин є надзвичайно зручним для визначення рівня та складу забруднення та моніторингу ефектів впливу забруднюючих речовин.

Для такого моніторингу надзвичайно важливо дотримуватися таких умов:

1. Вплив має призводити до помітної реакції рослини на забруднення повітря.
2. Ефекти впливу мають добре відтворюватися під час використання рослин генетично подібних популяцій, що гарантує репрезентативність результатів.
3. Ефекти впливу мають характеризуватися специфічними симптомами, властивими впливу індивідуальних забруднюючих речовин.
4. Рослини мають бути дуже чутливими навіть до надзвичайно низьких концентрацій забруднюючих повітря речовин.
5. Рослини мають добре рости й бути стійкими до захворювань, впливу комах.

У теперішній час відомо декілька видів (типів) ефектів впливу забруднення повітря на рослини, котрі можна умовно розділити на ефекти гострої дії високих концентрацій за короткий проміжок часу і хронічної дії низьких концентрацій цих речовин за тривалий період.

Прикладами ефектів гострого впливу є чітко помітний хлороз або некроз тканин листя, опадання листя, плодів, пелюсток квіток, скручування листків, викривлення їх стебел.

До ефектів хронічної дії належить уповільнення або зупинка нормального росту й розвитку рослин (що зумовлюють, зокрема, зменшення об'єму біомаси, зниження врожаю сільськогосподарських культур); хлороз і некроз верхівок листя; повільне в'янення рослини або її органів.

Іноді прояви хронічної або гострої дії можуть бути специфічними для певних забруднюючих речовин або їх поєднання. Доволі багато різних видів рослин можна використовувати в якості індикаторів або накопичувачів забруднення повітря через їх здатність до прояву ефектів впливу. Наприклад, для цих цілей можуть бути використані епіфітні види лишайників, мохи, папороті, вищі форми рослин, що мають судинну систему.

Для біологічного моніторингу ефектів забруднення повітря придатні як дикорослі, так і культурні види рослин. Проте різниця в складі ґрунтів, ґрунтових вод та інші фактори (включно з кліматичними) 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 близькі.

До теперішнього часу з цією метою використовувалися вищі рослини. Наприклад, у Нідерландах та Великобританії – культура тютюну *Bel W3*, у Німеччині – пересаджуванні види лишайників. Деякі види та культури дикорослих та культивованих рослин, чутливі до дії одного або декількох забруднюючих речовин, можуть ефективно використовуватися на мережі станцій моніторингу.

Рослинний покрив як важлива складова біосфери відображає її загальний стан і перебіг майже всіх процесів, що відбуваються на планеті. Життя на Землі було б неможливе без безперервного процесу фотосинтезу, що відбувається в зелених частинах рослин, які є основним стабілізатором вуглекисло-кисневого балансу повітряного басейну. Рослини як важливий компонент біогеоценозу помітно впливають на інші його елементи, сприяють формуванню ґрунтового покриву, впливають на хімізм ґрунту і його родючість, а також на життя всіх тварин і живих організмів, одночасно реагуючи на всі зовнішні фактори.

Рослини чутливо реагують на зовнішні умови. За достатньо високих концентрацій забруднювачів у багатьох із них ушкоджується листя, а зі зростанням кількості забруднюючого фактору протягом короткого проміжку часу можливе значне ураження рослини. Унаслідок некрозу (загибелі тканини) її колір змінюється від металево-сірого до коричневого, а в процесі старіння вона може втратити колір або вигоріти.

Хронічне ушкодження рослин виникає і внаслідок дії невеликих концентрацій певних речовин упродовж тривалого часу. До ознак хронічного ушкодження належать бронзове зафарбування листя, хлороз (знебарвлення), їхнє передчасне старіння. Відомо, що живі організми й рослини здатні поглинати певні забруднюючі речовини в особливо великих кількостях, тобто в них

процеси накопичення або концентрування відбуваються інтенсивніше, ніж у навколишньому середовищі.

Таблиця 6 – Біомоніторинг забруднення атмосфери за допомогою рослин

Компоненти забруднень	Біоіндикатори	Прояв реакції біоіндикаторів
Фторид водню (HF)	Шпажник ( <i>Gladiolus gandavensis</i> cv., Snow Princess, Flowersong), Тюльпан ( <i>Tulipa gesneriana</i> cv. Blue Parrot, Preludium), Ірис ( <i>Iris germanica</i> ).	Некрози верхівок і країв листків.
	Петрушка курчава ( <i>Petroselinum crispum</i> var. vulgare).	Накопичення фтору в сухій речовині.
Озон (O <sub>3</sub> )	Тютюн ( <i>Nicotiana tabacum</i> cv. Bel W3), Шпинат ( <i>Spinacia oleracea</i> cv. Subito, Dynamo).	Некротичні плями сріблястого кольору на верхньому боці листка.
	Соя ( <i>Glycine max</i> ).	Некроз верхньої частини листя.
Пероксіяцетил-нітрат (ПАН)	Кропива пекуча ( <i>Urtica urens</i> ).	Смугасті некрози на нижній стороні листя.
	Мятлик однорічний ( <i>Poa annua</i> ).	Смугасті некрози листя.
Діоксид сірки (SO <sub>2</sub> )	Люцерна посівна ( <i>Medicago sativa</i> cv. Du Purts), Гречка ( <i>Fagopyrum esculentum</i> ), Горох посівний ( <i>Pisum sativum</i> ), Конюшина інкарнатна ( <i>Trifolium incarnatum</i> ).	Некрози і хлорози між жилками листків.
Діоксид азоту (NO <sub>2</sub> )	Шпинат посівний ( <i>Spinacia oleracea</i> cv. Subito, Dynamo), Махорка ( <i>Nicotiana rustica</i> ), Сельдерей посівний ( <i>Apium graveolens</i> ).	Некрози між жилками листків.
Хлор (Cl <sub>2</sub> )	Шпинат посівний ( <i>Spinacia oleracea</i> ), Квасоля звичайна ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ).	Збліднення листя.
	Салат посівний ( <i>Lactuca sativa</i> ).	Деформація хлоропластів.
Етилен (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	Петунія цільнолистова ( <i>Petunia nictaginiflora</i> cv. White Joy),	Відмирання квіткових бруньок, дрібні квітки

	Салат посівний ( <i>Lactuca sativa</i> ), Томат ( <i>Lycopersicon esculentum</i> ).	Закручування країв листя, підвищення піроксидазної активності.
Радіонукліди стронцій-90, цезій-137	Оленячий мох ( <i>Cladonia rangiferina</i> ), Ісландський мох ( <i>Cetrari islandica</i> ).	Накопичення в сухій речовині.
Фторид-іон, іони важких металів (Pb, Zn, Cd, Mn, Cu)	Райграс багатоквітковий ( <i>Lolium multiflorum</i> cv. Optima), Гірчиця біла ( <i>Sinapis alba</i> ) Листова капуста ( <i>Brassica oleracea</i> var. acephala), Кінський каштан ( <i>Aesculus hippocastanum</i> ), Мохи ( <i>Sphagnum</i> sp., <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Pohlia nutans</i> , <i>Pleurozium schreberi</i> ).	Накопичення в сухій речовині. Зміна в співвідношенні Т- і В лімфоцитів, зменшення В- лімфоцитарної реакції Накопичення в сухій речовині.
Суміш шкідливих речовин у повітрі (оксиди сірки, азоту...)	Листові і кущові лишайники ( <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria glauca</i> ), Піхта біла ( <i>Abies alba</i> ), Ялина звичайна ( <i>Picea abies</i> ), Сосна звичайна ( <i>Pinus sylvestris</i> ).	Зменшення приросту клітин. Зниження вмісту хлорофілів а і b, зменшення вмісту живих клітин водоростей. Зниження вмісту хлорофілів а і b, зменшення віку хвоїнок і затримка росту.

## 2. Газостійкість і газочутливість рослин

**Газостійкість** – здатність зберігати властиві організму процеси життєдіяльності й насінневого відтворення в умовах забруднення газами і парами атмосферного повітря. Рівень газостійкості виду або особини оцінюється в розмірі граничної концентрації токсичної речовини, які не спричиняють функціональних і структурних порушень в організмі в період найвищої фізіологічної активності й чутливості до діючих 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 газостойкості.

Як біоіндикаційні ознаки можна використовувати різні специфічні й неспецифічні ознаки. Неспецифічна індикація аеротехногенного забруднення може проводитися за різними біохімічним і фізіологічним реакцій.

Основними **індикаторними ознаками, що відображають стресове навантаження**, є:

- зміна активності ферментів;
- руйнування пігментів у листках рослин під дією аеротехногенного забруднення: добре вивчено зниження кількості хлорофілу, насамперед, хлорофілу «а». Як індикатор використовується зміна співвідношення хлорофіл «а» / хлорофіл «b»;
- зміна кількості і співвідношення каротиноїдів: під впливом SO<sub>2</sub> збільшується вміст лютеїну і зменшується кількість р-каротину;
- передчасне поява гормонів старіння – етилену й абсцизової кислоти;
- зміна мінерального обміну.

Індикаторними ознаками є зміна вмісту жирних кислот, збільшення вмісту сахарози і глюкози. До числа найбільш показових ознак специфічної індикації належить зміна хімічного складу біомаси й накопичення поллютантів.

### 3. Оцінка реакції рослин на забруднення атмосфери

У польових умовах необхідний ретельний добір рослин для встановлення залежності «доза – реакція». Якщо рослина реагує на вплив ушкодженням листів, зміною темпів росту, врожайності, варто експериментально з'ясувати, як вона реагує на різні дози того самого речовини або суміші.

Ушкодження листів можна аналізувати за допомогою серії фотознімків методом прямих порівнянь знімків уражених листів із контрольними знімками листя рослин, що зазнали впливу від відомих забруднюючих речовин у лабораторних умовах. Розподіл ділянки, що досліджується, з великою кількістю рослин на квадрати дає можливість виразити кількісно дані про ушкодження листя, з'ясувавши кількість їх ушкоджень; ступінь ушкодження; чисельність ушкоджень на одиницю поверхні.

Використовуючи лінійні графіки 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 і встановити вид забруднюючої речовини або склад суміші. Визначений метод кількісної оцінки вибирають залежно від рослинного матеріалу, що забруднює речовини й вимірюваних параметрів.

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

Результати спостережень можна об'єднати у дві групи: площа пошкодженої 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, спричинених поллютантом. Рослинколектори можна успішно використовувати для моніторингу важких металів. Метали не тільки накопичуються в листі лишайників, а й поглинаються їх тілом

і акумулюються в тканинах. Висушивши, зваживши і здійснивши хімічний аналіз тканини зібраних рослин, можна визначити кількість металу, що був поглинутий.

Змінюючи проміжки часу між зборами рослин, можна зіставити вміст металу в їх тканинах із концентрацією металу в повітрі. Лишайники можна використовувати для контролю вмісту  $\text{SO}_2$  у навколишньому середовищі. Здатність до акумуляції  $\text{SO}_2$  залежить від виду цих рослин. Об'єднання методів інструментального моніторингу зі спостереженнями за лишайниками дає можливість установити залежність між їх ростом і концентрацією  $\text{SO}_2$  у навколишньому середовищі. Швидкість росту й колір лишайнику вказують на присутність або відсутність  $\text{SO}_2$  і його приблизну концентрацію в повітряних масах. Цей метод використовують для моніторингу  $\text{SO}_2$  в Англії, Ірландії, Канаді, Франції, Швеції і США.

#### **4.Добір і підготовка біологічних об'єктів для біоіндикації атмосферного повітря**

Отримання достовірних, повних і точних даних за допомогою біоіндикації можливе лише в разі точного дотримання низки вимог. Так, при доборі рослин для використання їх в ролі біомонітора необхідно дотримуватися таких умов:

- наявність у рослини вираженої реакції на вплив забруднюючої речовини, тобто помітних ознак ушкодження, змін швидкості росту, морфологічних змін, порушень цвітіння, змін продуктивності або врожайності;
- добір рослин, невибагливих до умов вирощування і догляду;
- добір рослин, які мало піддаються впливу шкідників та хвороб.

Отримання усереднених зразків матеріалів рослинного походження (сформованих із 5-6 разових проб) є складним завданням, що потребує правильного обрання місця, способу й часу. Рослинні зразки треба 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) у необхідній кількості. Паралельно з добором 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 в суху погоду. На ранніх стадіях розвитку (2-3 листа) у ній може бути не менше 10 рослин з одного гектара; для гречки, гороху, зернових – 25; у високорослих рослин беруть нижні, добре розвинуті листки (не менше 50 рослин). Проба має бути репрезентативною, тобто забезпечувати відповідність її хімічного складу хімічному складу матеріалу, що аналізується (наприклад, кількість рослинного матеріалу квітів – 300 м, подрібненого листя і трави – 200 м, трави – 400-600 м, кори й коренів – 600-650 г).

Паралельно з добором проб проводять біологічний облік відібраних рослин (висота рослин, кількість паростків на одній рослині, фази розвитку). Аналізи рослинних зразків проводять відразу, або зберігають них у холодильнику. Призначений для аналізу рослинний матеріал очищають 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 вигляді), пробу гомогенізують (подрібнюють). Сирі рослинні матеріали подрібнюють у міксері або іншому гомогенізаторі, використовуючи чистий скляний посуд і зроблене з нержавіючої сталі дробильне оснащення.

Інтенсивної вентиляції зразка під час гомогенізації треба уникати, тому що це може призвести до втрат деяких компонентів, особливо тих, котрі легко окисляються. Сухі і висушені продукти (зерно, насіння) подрібнюють спеціальними млинками, іноді просівають ситом із визначеними розмірами отворів, щоб одержати потрібну зернистість.

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 (озолювання органічної речовини розчинами кислот, унаслідок чого виходить розчин із мінеральними речовинами) методами. Щоб при сухій мінералізації (озоленні) не втратити літаючі компоненти, рослинний зразок нагрівають до температури не вище 450°C. Оскільки, 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 з використанням таких речовин, як азотна кислота, азотна кислота й соляна кислота з добавкою перекису водню, сірчана кислота і соляна кислота.

У досліджувану пробу доливають суміші кислот, залишають на визначений період до обуглення 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. Умови здійснення моніторингу атмосфери з використанням рослин.
2. Ефекти хронічної та гострої дії поллютантів на рослини.
3. Використання вищих рослин у біоіндикації атмосфери.
4. Поняття газостійкості рослин, його оцінка.
5. Газочутливість рослин, як реакція на забруднення.
6. Як проводиться добір об'єктів для біоіндикації атмосфери?

*Практичні завдання*

1. Розрахувати 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 сьогодні, 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.

## ТЕМА 10. БІОІНДИКАЦІЯ СТАНУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ

**Мета:** систематизувати знання щодо використання біоіндикаторів для оцінки стану ґрунтового покриву.

### План

1. Основні наслідки дії пилу й 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 ступеню 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.

### 1. Основні наслідки дії пилу й золи на природно-територіальні комплекси

Ґрунт – це єдиний компонент ландшафту, що виникає в результаті взаємодії всіх інших його компонентів: гірських порід, клімату, природних вод, рослинності, мікроорганізмів і тварин. Будучи основним середовищем, що депонує, ґрунти самі можуть розглядатися як інтегральний індикатор забруднення природно-територіального комплексу (ПТК), що дає представлення про якість зв'язаних із ґрунтами життєзабезпечуючих середовищ – атмосферного повітря, природних вод і літогенної основи.

Однак забруднені ґрунти є джерелами вторинного забруднення приземного шару повітря, поверхневих і ґрунтових вод; із ґрунтів рослини поглинають мінеральні речовини, залучаючи їх у біологічний круговорот. Отже, ґрунтовий покрив визначає міграцію хімічних елементів ланцюгом харчування, тому вивчення його стану являє собою істотну частину робіт з оцінки впливу антропогенних факторів на природне середовище.

З викидами промислових підприємств і транспорту в повітря попадають тверді частки, що осаджуються надалі на поверхні землі. Дія пилу й золи на ПТК різноманітна й у результаті відбувається:

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.ін.);
  - нагромадження токсичних речовин.
3. Водна міграція полютантів і забруднення природних вод.

4. Кореневе поглинання рослинами, надходження в біологічний круговорот, міграція ланцюгом харчування.

Серед найбільш розповсюджених забруднюючих речовин варто вказати:

- біогенні компоненти (N, P, K, Ca й ін.);
- макрокомпоненти (Fe, Al, Si, Na, Mg і ін.);
- мікрокомпоненти, у тому числі важкі метали (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr, Hg, As, Sb, Co, Mn, Ba Sr, Mo, V і ін.).

Геохімічна оцінка стану навколишнього середовища складає невід'ємну частину екологічних досліджень, на базі якої здійснюється верифікація реакцій біоти на стресові впливи й будується система методів біоіндикації. Як еталони порівняння використовується кларк вмісту хімічних елементів у ґрунтах і рослинах континентів.

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

Це, насамперед, показники біологічної активності ґрунту, у числі яких можуть бути використані характеристики чисельності і біомаси мікроорганізмів, їхня продуктивність, інтенсивність нагромадження продуктів метаболізму, газообміну й активність ферментів.

Вивчення вмісту хімічних елементів у незабруднених ґрунтах має велике практичне значення. Воно необхідно для контролю за станом навколишнього середовища, охорони її від забруднення. Фонова кількість хімічних елементів служить крапкою відліку при дослідженні забруднення ґрунтів, дає можливість визначити характер і ступінь їхньої зміни.

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 залежно від систематичної приналежності видів. Тому одним із 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 невід'ємну частину екологічних досліджень, на базі якої здійснюється верифікація реакцій біоти на стресові впливи й будується система методів біоіндикації.

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

Однієї з важливих характеристик ґрунтів є кислотність. Вона визначається змістом іонів  $H^+$  і  $Al^{3+}$  у ґрунтових розчинах. Кислотність ґрунтів виражають через величину рН – негативний логарифм концентрації іонів  $H^+$  у ґрунтовому розчині. Показник рН може змінюватися від 0 до 14, у природі діапазон його варіювання – від 2,5 до 12,5. У природних умовах найбільш кислими субстратами є оліготрофні сфагнові торфовища й сильнооподзолені ґрунти. Сильнокислою реакцією володіють також латеритні кори вивітрювання – жовтоземи й червоноземи.

Лужна реакція ґрунтових розчинів характерна для солодій, що містять у ґрунтовогопоглинаючому комплексі Na. Нейтральна і близька до неї реакція середовища, найбільш оптимальна для розвитку більшості живих організмів, відзначається в чорноземах і дерено-карбонатних ґрунтах. Зміна величини рН ґрунтових розчинів відбувається під час різних антропогенних впливів: сільськогосподарському використанні земель, заболочуванні територій, випаданні кислотних дощів, аеротехногенних випаданнях і т.ін.

У процесі розвитку живі організми пристосувалися до існування в певних кислотно-лужних умовах. Для визначення кислотності ґрунтів і зміни її під впливом природних і антропогенних факторів зручніше за все використовувати індикаторні види рослин і особливості складу фітоценозів.

В екології рослин є така **класифікація видів щодо рН навколишнього середовища**:

- ацидофіли – рослини, що виростають на кислих ґрунтах;
- базифіли – рослини, що виростають на лужних ґрунтах;
- нейтрофіли – рослини ґрунтів із нейтральною реакцією.

Приуроченість рослин до ґрунтів із визначеним значенням рН дає можливість використовувати рослинність як індикатор кислотно-лужних умов ґрунтових розчинів (табл. 7).

Таблиця 7 – Рослини-індикатори кислотності ґрунту

Ступені багатства ґрунтів	рН	Характеристика й поширення ґрунтів	Рослини-індикатори
1-3	4,0-4,5	Особливо бідні ґрунти (сильно вилужені піщані і супіщані); оліготрофний торф верхівкових боліт.	Вереск звичайний ( <i>Calluna vulgaris</i> ), осока двоколірна ( <i>Carex bicolor</i> ), мирт болотний ( <i>Chamaedaphne calyculata</i> ), вероніка лікарська ( <i>Veronica officinalis</i> ).
4-6	5,0-5,5	Бідні ґрунти (вилужені піщані і супіщані); бідні суходільні луки лісової зони, соснові бори; торф	Осока двоколірна ( <i>Carex bicolor</i> ), костриця овеча ( <i>Festuca ovina</i> ), папороть-орляк ( <i>Pteridium aquilinum</i> ).

		верхівкових і перехідних боліт.	
7-9	5,5-6,5	Небагаті ґрунти (підзолисті, торф'яні). Суходольні луки лісової зони, ялинові і змішані ліси, бідні низинні луки, болота.	Трясунка середня ( <i>Briza media</i> ), осока трясучковидна ( <i>Carex brizoides</i> Juslen), хвощ болотний ( <i>Equisetum palustre</i> ), земляника лісова ( <i>Fragaria vesca</i> ), гірчак зміїний ( <i>Polygonum bistorta</i> ).
10-13	6,0-7,5	Досить багаті ґрунти (лучні, суглинки, ви-лужені чорноземи). Заплавні, низові луки й болота, степи, діброви.	Деревій звичайний ( <i>Achillea millefolium</i> ), вільха чорна ( <i>Alnus glutinosa</i> ), осока пихирчата ( <i>Carex vesicaria</i> ), волошка лугова ( <i>Centaurea jacea</i> ), грястиця збірна ( <i>Dactylis glomerata</i> ), чина лугова ( <i>Lathyrus pratensis</i> ).
14-16	7,0-7,5	Багаті ґрунти (чорноземи, каштанові). Степи, пустелі, полупустелі.	Китник очертяний ( <i>Alopecurus ventricosus</i> ), осока волохата ( <i>Carex hirta</i> ), цикорій дикий ( <i>Cichorium intybus</i> L.), лядвенець рогатий ( <i>Lotus corniculatus</i> ), люцерна хмелевидна ( <i>Medicago lupulina</i> ).

Індикаторна значимість видів дана при умові їх масового виростання. 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

У природних екосистемах антропогенна зміна фізичних параметрів необроблюваних ґрунтів, як правило, невелика. 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. Однак під впливом агровиробництва й рекреаційних навантажень воно може мати широкі масштаби. Як правило, усі антропогенно змінені ґрунти сильно піддані фізичним навантаженням.

Фізичні навантаження на ґрунтові системи виявляються, насамперед, у зміні їх агрегатності. Це призводить до зміни співвідношення основних структурних елементів ґрунту. Як відомо, механічний склад ґрунтів визначається

співвідношенням фізичного піску (частки  $> 0,01$  мм) і фізичної глини (частки  $< 0,01$  мм).

Механічний склад ґрунтів багато в чому визначають тепловий, повітряний, водний режими, особливості мінерального харчування рослин. Піщані ґрунти є, у порівнянні із суглинними і глинистими, більш холодними, менш водозабезпеченими, відрізняються бідним мінеральним складом. У природі є природна диференціація видів, що пристосовані до мешкання на різних за механічним складом субстратах.

Біоіндикацію механічного складу ґрунтів і літологічних особливостей гірських порід найпростіше проводити використовуючи рослини. Виділяють такі групи рослин, присвячених до різних за механічним складом ґрунтів.

**Псамофіти** – рослини, що виростають на піщаних субстратах. До них належать осока роздута (*Carex physodes*), волоснец піщаний (*Leymus arenarius*) і ін.

**Петрофіти (літофіти)** – рослини, що ростуть на кам'янистих субстратах. Представниками цієї групи є волошка Маршалла (*Centaurea marschalliana*), іванчай широколистий (*Chamaenerion latifolium*) і ін.

У природі існує природна динаміка лугових співтовариств у часі, що зумовлена ущільненням ґрунтів під час становлення фітоценозів. Згідно Р. Вільямсу, виділяються **три стадії заростання пустища**.

На **першому етапі** формування лугу поклад заселяється довгокореневищними рослинами, що вимагають добре аерированих субстратів – пирієм повзучим (*Elytrigia repens*), стоколосом безостим (*Bromopsis inermis*) і ін. Розростаючись, вони сприяють ущільненню ґрунтів і зниженню вмісту в них повітря, погіршуючи, умови життєдіяльності. Роль довгокореневищних видів у групуванні поступово знижується, і вони поступаються місцем рихлодернинним рослинам, менш вимогливим до аерації ґрунтів.

Настає **друга стадія** формування лугу – стадія рихлодерновинних рослин – тимофіївки лугової (*Phleum pratense*), грядиці збірної (*Dactylis glomerata*), конюшини лугової (*Trifolium pratense*) і ін. Однак згодом формування суцільної дернини призводить до пригнічення росту цих видів у зв'язку з подальшим ущільненням ґрунтів і зниженням забезпеченості корневих систем киснем.

Поступово рихлодерновинні види змінюються щільнодерновинними; настає **третьа стадія** формування лучного фітоценозу – стадія щільнодерновинних видів, що супроводжується на зволжених субстратах вторинним заболочуванням території. Основними ценозоутворювачами у вологих місцеперебуваннях є щучка дерниста (*Deschampsia caespitosa*), а в сухих – костриця овеча (*Festuca ovina*) і біловус стиснутий (*Nardus stricta*).

Зміна щільності ґрунтів під впливом антропогенного навантаження впливає на всі групи ґрунтової флори і фауни. Це позначається в утрудненні проростання насіння і проникнення коренів рослин у ґрунт із наступним уповільненням їх росту. Варто розрізняти впливи, що виявляються первинно тільки в ґрунті, і ті, що торкаються одночасно понадґрунтового ярусу або пов'язані в основному з ним (навантаження на рослинність у результаті витоупування). У ґрунтових

ценозах відбувається зниження активності й достатку організмів (мікроартропод і мікробів), що розкладають органічні речовини. Існує видоспецифічність рослин щодо ущільнення ґрунту (витоптуванню). Це добре демонструє зміна запасів фітомаси трьох видів подорожників *Plantago major*, *P. lanceolata* і *P. media*, що виростають на ґрунтах із різним ступенем ущільнення.

Таким чином, ці популяційно-екологічні параметри видів можуть бути використані для біоіндикації інтенсивності ущільнення ґрунтів.

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

У районах природного збагачення важкими металами виникають такі локальні флори, як мідна, кобальтова, галмейна (за надлишком цинку). На ультраосновних гірських породах різного ступеня серпентинизації, збагачених Mg, з різко зниженим співвідношенням Ca/Mg і збагаченням Ni, С 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 й мають високу стійкість до важких металів.

#### 4. Показники та індикатори ґрунтової родючості

Важливим показником екологічного стану ПТК є зміна природної родючості ґрунтів. За визначенням Н. Ф. Реймерса (1990), ґрунтова родючість – здатність ґрунту задовольняти потреби рослин у живильних речовинах, повітрі, біотичному і фізико-хімічному середовищі, включно з тепловим режимом, і на цій основі забезпечувати врожай сільськогосподарських культур, а також біологічну продуктивність диких форм рослинності.

Ґрунтова родючість являє собою інтегральний показник, що визначається:

- багатством ґрунтів органічною речовиною (гумусом, гуматами);
- кислотно-лужними умовами;
- механічним складом;
- водним режимом;
- ступенем аерованості;
- запасами й доступними формами макро- і мікроелементів.

Особливе значення має необхідність обліку факторів біотичного ґрунтового середовища – мікорізоутворювачів, нітріфікаторів, денітріфікаторів і ін. Біоіндикація ґрунтової родючості може здійснюватися за певними ознаками (прямими або непрямими) і окремими типами ґрунтів (маркування границь зон і подзон). В оцінці якості ґрунтів широко використовуються рослини й



мікробіологічна активність. Показовим є не тільки участь виду в угрупованні, але і його чисельність або проективне покриття.

Групи рослин, що пристосовані до різних за родючістю ґрунтів, називають оліготрофи, мезотрофи, мегатрофи; ґрунти, за родючістю, поділяють на край бідні – А, відносно бідні – В, відносно багаті – С, багаті – D.

**До рослин оліготрофів** належать: осока бідноцвіта (*Carex pauciflora*), вереск звичайний (*Calluna vulgaris*). **До мезотрофів** – родовик лікарський (*Sanquisorba officinalis*), вероніка дібровна (*Veronica chamaedris*), бор крислатий (*Millium effusum*), грястиця збірна (*Dactylis glomerata*), борщівник сибірський (*Heracleum sibiricum*). **Мегатрофи**: осока лисяча (*Carex vulpina*), хміль (*Humulus lupulus*).

Поряд із судинними рослинами мохи й лишайники також є надійними індикаторами ґрунтової родючості. На край **бідних ґрунтах (А)** виростають лишайники *Cladonia rangifer*, *C. alpestris*, *C. sylvatica*, *Peltigera aptosa* і мохи *Polytrichum juniperinum*, *P. Pilife*, *Sphagnum compactum*, *S. Dusenii*.

**Порівняно бідні ґрунти (В)** індицуються в умовах середнього зволоження субстрату розвитком зелених мохів *Pleurozium schreberii*, *Dicranum undula*. Зі збільшенням вологості субстрату вони змінюються політриховими мохами *Polltrichum commune* і *P. strictum*.

**На порівняно багатих субстратах (С)** при достатньому зволоженні домінують зелені мохи *Hylocomium proliferum*, *Rhythidiadelphus triquetrus*, *umcristacastrensis*. Індикатором цих ґрунтів при заболочуванні є сфагнум *Sphagnum russowii*.

**Багаті ґрунти (D)** індикуються зеленими мохами *Mnium cuspidatum*, *Rhodobrium roseum*.

Біоіндикаторними ознаками зменшення ґрунтової родючості може служити зниження мікробіологічної активності ґрунтів, запасів біомаси й біопродуктивності біоценозів. Як показники можуть бути використані індикатори тропності й порівняльний аналіз зміни їхнього складу в часі.

При індикації засоленості ґрунтів використовують постійні, перемінні, негативні індикатори засоленості. Майже четверта частина ґрунтів земної кулі засолені в тому чи іншому ступені. Незасоленими вважаються ґрунти, що містять < 0,25 % солей, засолені – ті, що утримують > 0,25 % солей; слабосолончакуваті містять більш 0,25 % солей у нижніх горизонтах (80-150 см), солончакуваті – на глибині 30-80 см, солончакові – на глибині 5-30 см.

За складом солей розрізняють сульфатно-содове, хлоридно-сульфатне, сульфатно-хлоридне, хлоридне засолення. Засолені ґрунти характеризуються особливими фізико-хімічними властивостями і є токсичними для більшості живих організмів. У процесі розвитку відокремилися групи організмів, здатні переносити надлишковий зміст легкорозчинних солей у субстраті, що підстилає. На засоленіх землях формуються характерні 140 екосистеми з розвитком солестійких видів.

У біоіндикації широко розвинутий розділ галоіндикації, що вивчає можливості оцінки інтенсивності, якісного сольового складу, характеру й інших

особливостей засолених ґрунтів. Пріоритетними видами-галоіндикаторів є рослини.

П.А. Генкель (1954) виділив такі екологічні групи рослин щодо засолення **Галофіти (галофіли)** – рослини засолених місцеперебувань, що легко пристосовуються в процесі свого індивідуального розвитку до високого вмісту солей у ґрунті завдяки наявності низки анатомо-морфологічних особливостей. Серед них виділяються еугалофіти і кріногалофіти.

**Еугалофіти** – типові солянки, рослини, що накопичують сіль. До них належать види родів *Salicornia*, *Suaeda*, *Petrossimonia*, *Salsola*. Вони можуть містити до 10% і більш солей, що спричиняє збільшення осмотичного тиску клітинного соку. **Кріногалофіти** – рослини, що виділяють сіль: види родів *Tamarix*, *Prankenia*, *Limonium*. Серед них виділяють рослини кумуляційного типу – можливе нагромадження солей при порушенні солевиділення, і регуляторного типу – збільшення концентрації солей у тканинах істотно не зростає навіть за браком їхнього виділення (зв'язування солей відбувається органічними речовинами протопласта).

**Глікогалофіти (глікофіти)** – рослини, що не проникають солями і виростають на засолених ґрунтах, але не нагромаджують легкорозчинні солі в тканинах. До них належать види родів *Artemisia*, *Elaeagnus*.

**Галофоби (глікофіти)** – види рослин, що уникають засолених ґрунтів. Група галофітів неоднорідна за стійкістю до складу й концентрації легкорозчинних солей у ґрунтах. За ступенем солестійкості виділяються:

- **олігогалофіти**, що ростуть при малих вмістах солей у ґрунті;
- **мезогалофіти** задовольняються середнім вмістом солей;
- **еугалофіти** – дійсні галофіти.

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.

Анатомо-морфологічні і фізіологічні пристосування, вироблені для зниження токсичного впливу легкорозчинних солей, призвели до утворення особливого вигляду цих рослин. Він одержав назву «галоморфна будова», яка включає:

- 1) сукулентність, відмінну від ксерофітів;
- 2) збільшення розміру клітин;
- 3) високий осмотичний тиск клітинного соку;
- 4) зв'язування солей у складі органічних сполук, нешкідливих організмів;
- 5) швидкий ріст, що сприяє збільшенню солеємності.

У біоіндикаційних дослідженнях використовуються різні види еугалофітов, кріногалофітов і глікогалофітов.

За ступенем зв'язку індикатора з об'єктом індикації виділяють: постійні, перемінні й негативні індикатори. У таблиці 6 наведена біоіндикаційна схема **постійних індикаторів** рівня залягання й мінералізації ґрунтових вод.

**Перемінні індикатори** – види, переважно, що ростуть на засолених ґрунтах. Вони можуть зустрічатися на ґрунтах із досить широким діапазоном засолення як на сильно-, так і на слабомінералізованих субстратах. До них належать саксаул чорний (*Haloxylon aphyllum*), деревоподібні солянки (*Salsola arbuscula*, *S. Richteri*) і ін.

**Негативні індикатори** – види, що зустрічаються тільки на незасолених ґрунтах. До них належать типові глікофіти (глікогалофіти) Осока пузирчаста (*Carex physodes*) і ін. У природних умовах існує приуроченість видів до ґрунтів із визначеним якісним складом засолення.

Таблиця 8 – Постійні індикатори ґрунтових вод

Рослини-індикатори	Глибина, м	Максимальна величина засолення, %
Солонець трав'янистий ( <i>Salicornia europaea</i> )	2,4-4,8	35
Прибережниця солончакова ( <i>Aeluropus littoralis</i> )	0,9-5,3	35
Соляноколосник каспійський ( <i>Halostachys caspica</i> )	0,3-3,7	35
Поташник каспійський ( <i>Kalidium caspica</i> )	1,9-4,1	7
Кермек напівчагарниковий ( <i>Limonium suffruticosum</i> )	0,8-1,9	3,2
Тамарикс Кашгар ( <i>Tamarix hispida</i> )	0,6-3,2	23

Хлоридне засолення – співвідношення іонів  $Cl^{-1}$ :  $SO_4^{-2} = 2$ . Постійні індикатори – солонець трав'янистий (*Salicornia europaea*) і сарсазан шишкуватий (*Halocnemum strobilaceum*).

Сульфатно-хлоридне – співвідношення іонів  $Cl^{-1}$ :  $SO_4^{-2} = 1-2$ . Індикаторами є прибережниця солончакова (*Aeluropus littoralis*), соляноколосник каспійський (*Halostachys caspica*).

Хлоридно-сульфатне – співвідношення іонів  $Cl^{-1}$ :  $SO_4^{-2} = 0,2-1$ . Індикатор – полинь чорна (*Artemisia pauciflora*).

Сульфатне – співвідношення іонів  $Cl^{-1}$ :  $SO_4^{-2} = 0,2-2$ . Індикаторні види – грудниця татарська (*Galatella tatarica*), грудниця волохата (*G. villosa*).

Антропогенне забруднення легкокорозчинними солями досить поширено. Проблема впливу засолення добре відома у великих містах, де в зимовий період вулиці посипають сіллю. Джерелами надходження легкокорозчинних солей у навколишнє середовище є також підприємство з виробництва мінеральних (калійних) добрив і т.ін.

Біоіндикація антропогенного забруднення і зміни сольового режиму ґрунтів здійснюється зі зміною хімічного складу живих організмів і видовому складу угруповань. При вторинному засоленні ґрунтів основними індикаторами негативних змін у екосистемах є галофіти, видова розмаїтність яких вказує на інтенсивність і якісний склад засолення. Нагромадження легкокорозчинних солей

у зелених насадженнях є показовим показником стресових впливів в урбоєкосистемах.

Високі концентрації токсикантів в організмі призводять до появи хлорозу й некрозу листя рослин. Широко використовуються шкали хлорозів і некрозів для оцінки інтенсивності впливу хоча завжди варто враховувати, що передчасне пожовтіння або відмирання листя рослин не є специфічною ознакою впливу визначеної забруднюючої речовини. Реакція організму зумовлена в цьому випадку впливом усього комплексу негативних факторів урбоєкосистеми: забрудненням повітря вихлопними газами, важкими металами, легкорозчинними солями, ущільненням ґрунту й інших факторів, що призводять до зміни повітряного, водного і мінерального харчування живих організмів.

### 6. Загальне оцінювання ступеню забруднення ґрунтового покриву

На основі екологічної характеристики організмів, тобто їх реакцій на вплив факторів середовища, виокремлюють *еврибіонти* – види із широкою адаптаційною здатністю, які можуть жити при різних значеннях фактору, і *стенобіонти* – види з низькою адаптаційною здатністю, життєдіяльність яких обмежена вузьким діапазоном змін певного фактору. Саме стенобіонти (організми або їх угруповання), життєві функції яких тісно корелюють із певними чинниками середовища використовують для біоіндикації ґрунту.

На основі дослідження рослинного покриву можна визначити основні складові ґрунтів (рухомі сполуки основних елементів живлення рослин Ca, N, P, S, K, Mg), оскільки певні види рослин домінують у місцевостях із відповідним складом ґрунту. Наприклад, нітрофіти (азотолюби) можна вважати надійними індикаторами ґрунту, збагаченого азотом, до них відносять берест, черемшу, бузину, бруслину європейську. Найбільше їх росте на землях із підвищеним вмістом нітратів, дуже рідко вони зустрічаються на бідних азотом землях. Домінування різних рослин-галофітів (солестійких) пов'язано з засоленістю ґрунтів різними іонами. Певні види рослин відображають якісний склад катіонів у поглинаючому комплексі ґрунту.

Фітоіндикацію широко застосовують при визначенні кислотності ґрунтів. Так, на дуже кислих ґрунтах (pH = 3- 4,5) ростуть жорсткі ацидофіли (надають перевагу кислим ґрунтам), до яких належать сфагнум (*Sphagnum*), плавун булавоподібний (*Lycopodium clavatum*); на кислих ґрунтах (pH 4,5-6,0) – помірні ацидофіли (калюжниця болотна (*Caltha palustris*), їдкий і повзучий жовтець (*Ranunculus repens*, *R. acris*)); на слабо кислих ґрунтах (pH 5,0-6,7) – слабкі ацидофіли (медунка лікарська (*Pulmonaria officinalis*), купина багатоквіткова (*Polygonatum multiflorum*), анемона жовтецева (*Anemone ranunculoides*)).

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.

Різноманіття ґрунтових тварин дуже велике, тому вибір об'єктів серед них має бути обмеженим. Якщо це стосується видів, то до них висувається цілий ряд вимог. Перевага віддається великим ґрунтовим безхребетним, багато з яких мешкає в досить широкому діапазоні екологічних умов. Зв'язок зі змінами ґрунтових умов, хімізмом ґрунтових розчинів, гумусом у великих ґрунтових тварин набагато тісніший, ніж у дрібних. Ареали багатьох видів добре відомі, і їх популяції протягом усього ареалу мають досить високу чисельність. Важливе й те, що серед великих безхребетних багато видів-поліфагів, слабо пов'язаних із певною групою рослин чи тварин у своєму живленні. Серед них для моніторингу найбільш зручні представники таких груп, як дощові черв'яки, ковалики та їх личинки, великі хижі туруни, деякі види мокриць і диплоподів.

Високий ступінь осілости цих груп, широка харчова база, достатня вивченість особливостей екології, розподілу, розміри ареалів, висока чисельність у різних місцях уможливають використання видів із цих груп як основних об'єктів екологічного моніторингу.

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, насамперед 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, головно ґрунтоутворювачів, таких як дощові черв'яки, мокриці. Такі зміни в комплексах помітні на ділянках, що на них людина безпосередньо здійснює господарську діяльність.

Родючість ґрунту, також, можна визначити за рослинами-індикаторами. Так наприклад, **про високу родючість** свідчать такі рослини: малина, кропива дводомна (*Urtica dioica*), зніт вузьколистий (*Chamaenerion angustifolium*), Лабазник в'язолистий, (*Filipendula ulmaria*), чистотіл звичайний (*Chelidonium majus*), копитняк європейський (*Asarum europaeum*), кислиця трикутна (*Oxalis triangularis*), валеріана лікарська (*Valeriana officinalis*).

**Індикатори помірної (середньої) родючості:** медунка лікарська (*Pulmonaria officinalis*), дудник китайський (*Angelica sinensis*), грушанка (*Pyrola*), гравілат річковий (*Geum rivale*), костриця лучна (*Festuca pratensis*), купальниця (*Trollius*), вероніка довголиста (*Veronica longifolia*). Про низьку родючість свідчать сфагнові (торф'яні) мохи, наземні лишайники, котяча лапка (*Antennaria*), брусниця (*Vaccinium vitis-idaea*), журавлина (*Vaccinium subg. Oxycoccus*), ситник ниткоподібний (*Spiralis Juncus filiformis*), пахуча трава *Anthoxanthum*. **Байдужі до ґрунтової родючості** – жовтець їдкий (*Ranunculus acris*), грицики звичайні (*Capsella bursa-pastoris* L.). Маловимоглива до ґрунтової родючості сосна звичайна (*Pinus sylvestris*).

**Рослини-індикатори забезпеченості ґрунту певними елементами.** Про високий вміст азоту свідчать рослини-нітрофіли – зніт вузьколистий (*Chamaenerion angustifolium*), малина звичайна (*Rubus idaeus*), кропива дводомна

(*Urtica dioica*); на луках і ріллі – розростання пирію повзучого (*Elymus repens*), гірчака звичайного (*Polygonum aviculare*). При доброму забезпеченні азотом рослини мають інтенсивно-зелене забарвлення.

Навпаки, нестача азоту проявляється блідо-зеленим забарвленням рослин, зменшенням гіллястості й числа листя. Високу забезпеченість кальцієм показують кальцієфіли: багато бобових (наприклад, люцерна жовта (*Medicago falcata*)), модрина сибірська (*Larix sibirica*). За нестачею кальцію панують кальцієфоби – рослини кислих ґрунтів: щучник дернистий (*Deschampsia cespitosa*), сфагнум та ін. Ці рослини стійкі до шкідливої дії іонів заліза, марганцю, алюмінію.

Індикаторами водного режиму ґрунтів є рослини-гігрофіти, мезофіти та ксерофіти.

**Вологолюбиві рослини (гігрофіти)** – мешканці вологих, іноді заболочених ґрунтів: лохина (*Cyanococcus*), морошка (*Rubus chamaemorus*), калюжниця болотяна (*Caltha palustris*), журавець лучний (*Geranium pratense*), очерет звичайний (*Phragmites australis*), вовче тіло болотяне (*Comarum palustre*), гірчак зміїний (*Persicaria bistorta*), м'ята польова (*Mentha arvensis*), чистець болотяний (*Stachys palustris*).

Рослини досить забезпечених вологою місць, але не сирих і не заболочених – **мезофіти**. Це велика частина лугових трав: тимофіївка степова (*Phleum phleoides*), китник лучний (*Alopecurus pratensis*), пирій повзучий (*Elymus repens*), конюшина лучна (*Trifolium pratense*), вика горошок мишачий (*Vicia cracca*), волошка фрігійська (*Centaurea phrygia*). У лісі це брусниця (*Vaccinium vitis-idaea*), костяниця (*Rubus saxatilis*), копитняк європейський (*Asarum europaeum*), плауни.

**Рослини сухих середовищ (ксерофіти)**: котяча лапка (*Antennaria*), нечуйвітер волохатенький (*Hieracium pilosella*), ковила пірчаста (*Stipa pennata*), мітлиця біла (*Agrostis alba*), наземні лишайники.

Встановлення показників глибини залягання ґрунтових вод має значення для уточнення властивостей ґрунтів і для вироблення рекомендацій щодо їх меліорації. Для індикації глибини залягання ґрунтових вод можна використовувати групи видів трав'янистих рослин (індикаторні групи).

Крім названих груп рослин, є перехідні види, які можуть виконувати індикаторні функції, наприклад, китник лучний (*Alopecurus pratensis*) може бути включений як у першу, так і в другу групи. Він вказує залягання води на глибині від 100 до понад 150 см. Хвощ болотяний (*Equisetum palustre*) – від 10 до 100 см і калюжниця болотна – від 0 до 50 см.

**Глибина залягання ґрунтових вод** може бути визначена за допомогою таких рослин:

Конюшина лучна (*Trifolium pratense*), подорожник великий (*Plantago major*), пирій повзучий (*Elymus repens*) – більше 150 см.

Мітлиця біла (*Agrostis alba* L.), костриця лучна (*Festuca pratensis*), вика горошок мишачий (*Vicia cracca*) – 100-150 см.



Таволга в'язолисна (*Filipendula ulmaria*), очертянка канаркова (*Phalaris canariensis*) – 50-100 см.

Осока лисяча (*Carex vulpina*), осока гостра (*Carex acuta*), куничник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin). – 10-50 см;

Осока дерниста (*Carex cespitosa*), осока пухирчаста (*Carex vesicaria*) – 0-10 см.

**Рослини-індикатори кислотності ґрунтів.** Кислотність – одна з характерних властивостей ґрунту лісової зони. Підвищена кислотність негативно позначається на рості й розвитку ряду видів рослин. Це відбувається через появу в кислих ґрунтах шкідливих для рослин речовин, наприклад розчинного алюмінію або надлишку марганцю. Вони порушують вуглеводний і білковий обмін у рослинах, затримують утворення генеративних органів і призводять до порушення насінневого розмноження, а іноді спричиняють загибель рослин. Підвищена кислотність ґрунтів пригнічує життєдіяльність ґрунтових бактерій, що беруть участь у розкладанні органіки і вивільнення поживних речовин, необхідних рослинам.

У лабораторних умовах кислотність ґрунтів можна визначити універсальним індикаторним папером, набором Алямовського, рН-метром, а в польових умовах – за допомогою рослин-індикаторів. У процесі еволюції сформувалися три групи рослин: **ацидофіли** – рослини кислих ґрунтів, **нейтрофіли** – мешканці нейтральних ґрунтів, **базіфіли** – рослини лужних ґрунтів. Знаючи рослини кожної групи, у польових умовах можна приблизно визначити кислотність ґрунту.

Група біоіндикаторів рН ґрунту:

– **виражені ацидофіли:** сфагнум (*Sphagnum*), зелені мохи – гілокомій блискучий (*Hylocomium*), дікран (*Dicranum*), плавун булавоподібний (*Lycopodium clavatum*), плавун річний (*Lycopodium annotinum* L), плавун двогострий (*Lycopodium complanatum* L.), пухівка піхвова (*Eriophorum vaginatum*), котяча лапка (*Antennaria*), ісландський лишайник (*Cetraria*), щучка дерниста (*Deschampsia cespitosa*), хвощ польовий (*Equisetum arvense*) – рН 3,0-4,5;

– **помірні ацидофіли:** чорниця звичайна (*Vaccinium myrtillus*), брусниця (*Vaccinium vitis-idaea*), калюжниця болотяна (*Caltha palustris*), жовтець отруйний (*Ranunculus sceleratus*), фіалка собача (*Viola canina*) – рН 4,5-6,0;

– **слабкі ацидофіли:** щитник чоловічий (*Dryopteris filix-mas*), медунка темна (*Pulmonaria obscura*), осока волосиста (*Carex pilosa*), осока рання (*Carex praecox*), малина звичайна (*Rubus idaeus*), смородина чорна (*Ribes nigrum*), вероніка довголиста (*Veronica longifolia*), гірчак зміїний (*Persicaria bistorta*), орляк звичайний (*Pteridium aquilinum*), квасениця звичайна (*Oxalis acetosella*) – рН 5,0-6, 7;

– **ацидофільно-нейтральні:** зелені мохи – гілокомій бискучий (*Hylocomium*), плевроций Шребера (*Pleurozium schreberi*), верба козяча (*Salix caprea*) – рН 4,5-7,0;

– **нейтрофільні**: ялиця європейська (*Picea abies*), суниця зелена (*Fragaria viridis*), китник лучний (*Alopecurus pratensis*), конюшина гірська (*Trifolium montanum*), конюшина лучна (*Trifolium pratense*), мильнянка лікарська (*Saponaria officinalis*), борщівник сибірський (*Heracleum sibiricum*), цикорій дикий (*Cichorium intybus*) – рН 6,0-7,3. Нейтрально-базифільні: підбіл звичайний (*Tussilago farfara*), люцерна жовта (*Medicago falcata*), келерія сиза (*Koeleria glauca*), осока волохата (*Carex hirta* L), лядвенець рогатий (*Lotus corniculatus*), перстач гусячий (*Argentina anserina* Rydb.) – рН 6,7-7,8;

– **базифільні**: бузина червона сибірська (*Sambucus racemosa* subsp. *sibirica* (Nakai) H.Nara), в'яз шорсткий (*Ulmus glabra*) – рН 7,8-9,0.

Є класифікація певних груп рослин-індикаторів стосовно ґрунтового зволоження:

– **фреатофіти** – рослини, пов'язані з водоносними горизонтами, у яких добре розвинена коренева система (до 5-30 м). Наприклад, середньоазіатські тамариски мають кореневу систему до 7 м, а чорний саксаул (*Haloxylon aphyllum*) – 25 м.

– **омброфіти** – рослини, що існують лише завдяки атмосферним опадам. Вони мають сильно розгалужену систему поверхневих коренів, які здатні швидко всмоктувати вологу під час опадів.

– **трихогідрофіти** – життя цих рослин, насамперед, пов'язане з капілярною вологою ґрунтових вод. Вони часто поєднують риси фреатофітів і омброфітів і мають кореневі системи універсального типу.

Стосовно механічного складу ґрунтів і материнських порід рослини поділяють на:

- **псамофіти** – ростуть на пісках;
- **пелитофіти** – на глині;
- **алевритофіти** – на суглинистих або супісчаних ґрунтах;
- **хасмофіти** – на кам'янистих ґрунтах;
- **петрофіти** або **літофіти** – на скалах.

Стосовно засолення ґрунту, досить умовно, виділяють дві великі групи рослин-індикаторів:

– **галофіти** – мешканці засолених ґрунтів (за перевагою аніонів розрізняють галофіти хлоридного типу, або власно галофіти та сульфатно-кальцієвого типу, або гіпсофіти);

– **глікофіти** – рослини, що мешкають на ґрунтах, які не містять зайвої кількості солей.

За пристосуванням до надлишкового вмісту солей рослини поділяють на:

– **еугалофіти**, або власно галофіти, які накопичують солі у великих кількостях у тканинах рослини й мають соковиті і м'ясисті стебла;

– **кріногалофіти** – рослини які здатні виділяти надлишок солей у вигляді краплин розсолу крізь особливі залози (їх іноді називають фільтруючими галофітами) і мають характерний сольовий наліт;



– **глікогалофіти** – рослини, що мають кореневий бар'єр, тобто систему анатомічних і фізіологічних пристосувань, які захищають рослину від зайвого надходження солей до тканин рослини.

Стосовно умов зволоження ґрунтів виділяють рослини:

– **ксерофіти** – види посушливих місцезростань, для них характерні вузколистість, опушення листків, жорсткі стебла та видозміни листків (колючки);

– **мезофіти** – рослини помірно зволених районів;

– **гігрофіти** – рослини-індикатори надлишкового зволоження;

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

За однією з основних характеристик ґрунтів, їх кислотністю, рослини поділяють на дві великі групи: **ацидофіли** – рослини кислих ґрунтів: вереск звичайний (*Callunavulgaris* (L.) Hill.), пухівка (*Eriophorum*), біловус (*Nardus*) та ін. та **базифіли**, або **ацидофоби** – рослини лужних ґрунтів: бузина чорна (*Sambucus nigra*), крушина ламка (*Frangula alnus*), бруслина європейська (*Euonymus europaeus*) 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 й золи на природно-територіальні комплекси.
2. Які рослини використовують як індикатори 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. Охарактеризуйте 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  $\text{CO}_2$ , міняється 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 і розрахуйте рН ґрунту, враховуючи, що утворюється розчин із вмістом  $\text{HCl}$   $1,15 \cdot 10^{-6}\%$  (густина розчину  $1005 \text{ кг/м}^3$ ).

5. 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.

## ТЕМА 11. БІОІНДИКАЦІЯ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

**Мета:** опанувати знання щодо методів оцінки водного середовища за допомогою біоіндикаторів.

### 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. Біоіндикація 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.

### 1. Чинники забруднення водного середовища

Усі сторони сучасної діяльності людини є потенційним джерелом забруднення водних екосистем. Вирубка лісів, осушення і зрошення земель, зміна мережі гідрографії, урбанізація території, промислові й побутові стоки, добрива, детергенти, пестициди спричиняють за собою зміни режиму екосистем. Розвиток атомної промисловості (радіоактивні осідання, поховання ядерних відходів, скидання ядерних електростанцій) веде до радіоактивного зараження водойм, з подальшою акумуляцією радіоактивних речовин в організмі риби як безпосередньо з води, так і з об'єктів їх живлення.

Скидні води енергетичних підприємств сприяють тепловому забрудненню і є згубними для життя гідробіонтів.

Вживані в сільському господарстві пестициди й добрива потрапляють у водойми і створюють у ряді випадків надлишок мінеральних речовин. Особливо небезпечними для тварин є аміак і солі амонію, які навіть у невеликих концентраціях спричиняють їх загибель.

З промисловими стоками у водойми поступають важкі метали, хлорорганічні сполуки, пестициди, нафтопродукти й багато інших речовин.

Особливу небезпеку представляють сполуки оксидів азоту й сірки, ТЕЦ, що містяться у викидах автотранспорту й хімічних підприємств, які випадають у вигляді кислотних дощів.

У водоймах падає показник рН, що спричиняє за собою 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 й щуки звичайної. Подальше зниження рН до 4,5 і нижче призводить до знищення всякого життя.

Найбільш характерний тип забруднення природних водойм – скидання в них великих мас органічних речовин, що розкладаються, і біогенних елементів, які також сприяють зростанню маси органіки у водоймі. Таке забруднення призводить, насамперед, до замулювання дна, збільшення кормової бази детритою тварин і мікроорганізмів, зниження кількості розчиненого у воді кисню. Саме ці чинники безпосередньо змінюють склад угруповань. Для кількісної оцінки органічного забруднення введена шкала сапробності (ксено-, оліго-, β-мезо-, α-мезо- і полісапробні водойми). Паралельно зі звичайною органікою, але в менших дозах, люду забруднює водойми отрутохімікатами, нафтопродуктами, солями металів, теплом, шумом, радіацією й електромагнітним випромінюванням. Загальна картина забруднення водойм досить складна, але доведено, що види, стійкі до органічного забруднення, зазвичай, більш стійкі й 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)**

Як уже зазначалося раніше, індикатори – це види рослин і тварин, у тому числі й риби, за допомогою яких можна оцінити ступінь забруднення навколишнього середовища, здійснювати постійний контроль її якості і змін. Наприклад, дзеркальний короп і золота рибка стають неспокійними за наявності у воді стоків нафтової й хімічної промисловості. Висока чутливість щуки звичайної до забруднення робить її надійним індикатором стану питної води. Індикаторами чистоти водойми можуть служити головач сибірський і форель.

У своєму природному стані різні природні водойми можуть сильно відрізнятися один від одного. На водну флору і фауну діють такі показники як глибина водойми, швидкість течії, кислотно-лужні властивості води, каламутність, кисневий і температурний режим, кількість розчиненої органіки, сполук азоту і фосфору й багато інших. На всі ці параметри впливає як антропогенне навантаження, так і природні процеси, що відбуваються у водоймах. Для водойм різних типів у нормі буде характерний різний видовий склад і велика кількість водних організмів (гідробіонтів).

Далі охарактеризуємо основні умови проживання водних організмів у водоймах із різними характеристиками.

А) Температурний режим. Температура води й динаміка її змін – найважливіший екологічний чинник для всіх мешканців водойм. Адже температура не тільки безпосередньо впливає на гідробіонтів, регулює

швидкість життєвих процесів, але і визначає найважливіші фізико-хімічні властивості води.

Водні організми пристосувалися до різних температурних умов проживання: одні з них живуть у гарячих джерелах за температурою 45-50°C і вище, інші активні за температурою води -2°C і можуть витримувати промерзання -12°C. Важливе інше: через свою високу теплоємність вода є набагато більш термостабільним середовищем, ніж повітря, тобто її температура змінюється поволі, а це сприятливо для існування живих організмів. У водоймах суші температура зазвичай коливається значно істотніше, ніж у морях і океанах. Особливо це характерно для водойм помірного поясу, де сезони сильно відрізняються один від одного, і температура води протягом року може змінюватися на 10-20°C. Організми, що здатні жити у воді різної температури й переносити значні її коливання, називаються *евритермними*. У них виробляються різні пристосування, які дають змогу компенсувати дії змінної температури: змінюється активність ферментів, загальна інтенсивність процесів обміну речовин. Самі організми проводять міграції в місця зі стабільнішою або сприятливішою температурою. Так багато прісноводних риб взимку скупчуються в найбільш глибоких ділянках водойми. Іноді зниження швидкості обміну речовин при низькій температурі може бути вигідно для організму: наприклад, риб це оберігає від виснаження організму взимку, у період із несприятливими кормовими умовами.

Організми, здатні існувати тільки у вузькому діапазоні температур, називаються *стенотермними*. Для них зміну температурну режиму водойми може виявитися згубним. Існують стенотермні види пристосовані до життя тільки в холодній воді (струмкова форель) – це *оліготермні* види. Навпаки, є види, що живуть тільки в теплій воді, що гарно прогрівається. До таких *політермних* видів зі звичних нам організмів належить багато акваріумних рибок. Людина може відчутно впливати на температурний режим водойм. Скидання води із системи охолодження теплових і атомних електростанцій підвищує температуру значних ділянок річки або озера на 5-10 градусів, що призводить до корінних змін в угрупованні організмів, що населяють цю зону.

Б) Газовий склад. У воді природних водойм розчинені різні гази. Концентрації цих газів залежать від їх природи, вмісту в атмосфері, а також від температури й солоності води (з підвищенням цих двох показників розчинність газів падає). Та кількість газу, яка може розчинитися у воді за даних умов, називається «нормальною». Величезне значення для водних організмів має концентрація розчиненого у воді кисню. Цей газ потрапляє у водойми з атмосфери, а також виділяється водними рослинами в процесі фотосинтезу. Відносне значення кожного з цих шляхів може мінятися залежно від характеристик водойми: у швидкій, порожистій річці зі слабо розвиненою рослинністю більш значуща дифузія кисню з атмосфери. А в озері що має могутні зарослі водної рослинності, велика частина кисню може поступати у воду в результаті їх фотосинтетичної активності. При 0°C і нормальному

атмосферному тиску в одному літрі прісної води може розчинитися 10,3 мл кисню. Чим тепліша вода, тим менше кисню може бути в ній розчинено.

Насичення води атмосферним киснем йде через поверхню. Фотосинтез максимально інтенсивний теж у верхньому, найбільш освітленому шарі води. Тому кисневі умови в поверхні зазвичай краще, ніж на глибині. Особливо сильно це може бути виражено в тих водоймах, де перемішування води майже не відбувається, а на дні є значна кількість органічних залишків: адже при гнитті органіка поглинає кисень із води. Через такі процеси вміст кисню у воді може падати нижче необхідного для нормального життя водних організмів рівня. Вміст кисню у водоймі змінюється також залежно від сезону й часу доби. Мінімальні його концентрації у воді виявляються зазвичай рано вранці: адже вночі рослини не фотосинтезують, а тільки поглинають кисень у процесі свого дихання. Із сезонів найменш сприятлива з погляду кисневого режиму зима: лід не дає змогу проникати у воду кисню атмосфери, умови для фотосинтезу під шаром льоду теж несприятливі. Тому саме взимку найчастіше відбуваються замори – масова загибель гідробіонтів через брак кисню. Деякі водні мешканці порівняно легко переносять низькі концентрації кисню у воді (карась, молюск живородка, малоцетинковий черв'як трубочник), оскільки вони пристосувалися до життя у водоймах, де дефіцит кисню – звичайне явище. Інші організми навпаки, надзвичайно вимогливі до вмісту кисню: форель, поденки з родини гептагеніди (*Heptageniidae*), бродячі ручейники (*Rhyacophilidae*).

З інших газів, що мають важливе значення для гідробіонтів, треба зазначити вуглекислий газ: у невеликих концентраціях він необхідний для ходу фотосинтезу, регулює швидкість деяких процесів метаболізму. Наявність у воді вуглекислого газу дає змогу також стабілізувати її кислотно-основні властивості.

В) Кисотно-основні властивості води. Кисотно-основні характеристики води природних водойм зазвичай не відчувають сильних змін. Вони залежать від характеру живлення водойми, від того, якими породами складено його ложе, а також від хімічних і біологічних процесів, що в ній відбуваються. Вода з рН нижче 6,95 є кислою. За нейтральну вважається вода з рН від 6,96 до 7,3.

Природні води з вищими значеннями рН називаються лужними. Сильний вплив на реакцію води в наших широтах надають сфагнові мохи, що містять велику кількість органічних кислот. У невеликих водоймах на сфагнових болотах рН води може складати до 3,4. Навпаки, під час активного фотосинтезу у водоймі реакція його води може ставати більш лужною (до рН = 10) із-за вичерпання запасів вуглекислоти. Протягом ночі, коли фотосинтез не відбувається, а всі гідробіонти продовжують дихати й насичати воду вуглекислою, рН знову знижується. Розбіг таких добових коливань кислотності зазвичай не перевищує двох одиниць рН. Найбільш чутливі до закислення водойми молюски та інші істоти з вапняними раковинами: їх раковини в кислій воді просто починають розчинятися.

Г) Солоність, мінеральний склад. Солоність – сума концентрацій усіх розчинених у воді мінеральних речовин. За прісну вважається вода, що має солоність нижче 0,5 грам/кг (ця одиниця називається промілле). Вода океану

зазвичай має солоність від 30 до 35 промілле. Окрім прісних водойм і солоного моря існують водні об'єкти з проміжним рівнем солоності. Сума концентрацій у воді іонів магнію й кальцію називається жорсткістю. Особливо важливий цей показник для організмів, що мають вапняні скелети й раковини. Якщо для регіону поклади вапняків і інших легкорозчинних гірських порід нехарактерні, вода більшості водойм буде «м'якою» – тобто містити мало іонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ . Прісна і солоня вода по-різному впливають на організм водних тварин. Особливо сильно розрізняються в морських і прісноводних мешканців системи осморегуляції. Тому солоні водойми мають свою характерну фауну, а прісні водойми – свою. Найменш сприятливі для життя водойми з проміжним рівнем солоності. Як правило, вони мають дуже бідну фауну водних безхребетних.

Д) Прозорість, світловий режим. На поверхню водойм нашого регіону в рік припадає в середньому біля  $320 \text{ кДж/см}^2$  сонячної енергії. Якщо сонце стоїть у зеніті, а поверхня води ідеально гладка, то від неї відбивається біля 5 % падаючої енергії. Навіть при слабкому хвилюванні частка відбитої енергії зростає до 15 %. Збільшується вона і при косому падінні променів: якщо сонце знаходиться під кутом  $30^\circ$  до лінії горизонту, то навіть від гладкої водної поверхні буде відбиватися 25% енергії. Але вода набагато менш прозора, чим повітря, вона сильно поглинає й розсіює світлові промені. Проте, хоч би мінімальний рівень освітленості необхідний для більшості водних організмів: рослинам він потрібний для ведення фотосинтезу органічних речовин, тваринам – для розпізнавання навколишнього середовища, орієнтації, синхронізації життєвих циклів. Водні тварини мають поганий зір. Риби бачать достатньо чітко тільки на відстані 5-10 см. Зате вони можуть задовольнятися в мільйони раз слабкішим рівнем освітлення, ніж мешканці суші.

Прозорість води – характеристика, що показує, наскільки зменшилася інтенсивність світла під час його проходження через шар води певної товщини. Океани й моря зазвичай прозоріші, ніж континентальні водойми: у них слабке світло проникає до глибини 150 і більше метрів (глибше за всіх проникають сині й зелені промені). І на таких глибинах ростуть види червоних водоростей, що здатні вести фотосинтез цьому мізерному освітленні. У континентальних водоймах прозорість і умови освітленості міняються дуже сильно. У гірських річках і озерах світло може проникати до дна: дно цих водойм складене малорозчинними породами, у них мало планктону. У рівнинних водоймах прозорість залежить від сезону. У паводок вона мінімальна. На значні глибини світло проникає тільки в озерах із низькими концентраціями органічних речовин – у них прозорість може досягати 40 м. У більшості ж річок і озер прозорість не перевищує 2-3 м. Особливо низьку прозорість мають дистрофні озера із сильно гуміфікованою коричневою водою й евтрофні озера, у яких багато планктону. Кількість зважених частинок, річок, що сильно впливають на прозорість максимально, якщо швидкість течії велика, а підстилаючі породи – м'які.

Е) Ґрунти. Розрізняють дрібнозернисті (м'які) і грубозернисті (жорсткі) Ґрунти. До м'яких Ґрунтів належать глина (діаметр частинок менше 0,01 мм) мул

(від 0,01 до 0,1 мм) і пісок (0,1-1 мм). До жорстких – гравій (діаметр частинок 0,1-1 см), галька (1-10 см), валуни (10-100 см) і глиби (більше 100 см). Зазвичай реальні ґрунти складаються із суміші різних фракцій. Більшість водних організмів вважають за краще мешкати на визначених типах ґрунту. Організми, що мешкають на піщаних ґрунтах, називаються *псаммофілами*. На кам'янистих – *літофілами*, на мулах – *пелофілами* й так далі. На незвичних ґрунтах водні організми не можуть нормально харчуватися, будувати притулки, що веде до їх ослаблення й загибелі. Є цікава закономірність: при порівнянні мешканців кам'янистого ґрунту з *псаммофілами* й далі – з *пелофілами*, середні розміри й маси деяких особин зменшуються, зате їх кількість зростає. Водні організми й самі роблять вплив на донний ґрунт. Рослини скріпляють його своїм корінням, тварини збагачують органікою й активно «переорюють».

Ж) Гідродинаміка (течії, хвилювання). Для водойм суші найбільш характерні постійні течії, що спричинені нахилом русла (у річках), а також періодичні або тимчасові течії, що відбуваються через тертя повітряних мас об водну поверхню або через різниці в температурі й щільності води в різних частинах водойми. На порожистих ділянках річок швидкість течії може досягати декількох метрів у секунду. Умови проживання на таких ділянках дуже своєрідні: через інтенсивне перемішування вода насичена киснем, є постійна небезпека бути відірваним від ґрунту і знесеним течією. Харчові частинки з великою швидкістю проносяться мимо. Організми, пристосовані до проживання в таких умовах, називаються *реакофілами*. Втім, більшість рівнинних річок мають спокійнішу течію, її швидкість зазвичай не перевищує декількох десятків сантиметрів у секунду. В озерах і ставках течії мають ще менші швидкості, але їх значення для життя водних організмів дуже велике. Двічі в рік, навесні і восени, во всіх водоймах помірного поясу, що мають достатню глибину, відбувається масштабне перемішування водних мас. Вода в поверхні нагрівається (навесні) або охолоджується (восени) до температури +4°C. Відомо, що за такою температурою вода має максимальну щільність, тому верхні шари води опускаються вниз, а придонні витісняються вгору, до поверхні. При цьому перемішуванні глибини водойми збагачуються киснем, а до поверхні піднімаються з глибини біогени й мінеральні солі.

### **3.3. Зміни водних екосистем при антропогенному забрудненні. Сапробність і таксобність**

Поняття «Якість води» має на увазі комплексну оцінку, яка включає гідрохімічні й гідробіологічні характеристики. У наш час і далі використовується традиційний підхід до оцінки якості води, що ґрунтується на визначенні тільки низки хімічних показників. Це не дає змогу 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 біоіндикації.



У водоймах із найбільш «чистою» водою, де містяться низькі концентрації біогенних і органічних речовин, кількість видів гідробіонтів, зазвичай, нижча, ніж у тих водоймах, де органічні речовини, сполуки азоту і фосфору присутні в помірних концентраціях. Для багатьох водних організмів, що мешкають у мезо- і евтрофних водах, помірний рівень забруднення є нормальним станом місця існування. Частина таких видів цілком може служити індикаторами забруднення води органічними й біогенними речовинами.

Інша частина видів, що мешкають у вузьких межах умов навколишнього середовища не витримують навіть невеликого забруднення і зникають – такі види є якісними індикаторами низьких рівнів забруднення.

У міру надходження органічних і біогенних речовин відбувається поступова зміна хімічного складу води, видового складу гідробіонтів, відбувається перебудова структури і функцій екосистеми загалом. На початку процесу забруднення зміни в екосистемі незначні і зворотні. Надалі екосистема збільшує свою здатність до перетворення речовин, що поступають, але до певної межі. Їх перевищення призводить до деградації й повного руйнування екосистеми.

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

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

#### **4. Біоіндикація з використанням зообентосу, зоопланктону, фітопланктону, перифітону**

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

Склад і стан рослинності може вказати на наявність забруднювачів води в межах різноманітних промислових комплексів.

Наявність і розподіл водоростей – це надійний показник забруднення й санітарного стану вод у морях, ріках та озерах. Деякі види водоростей зникають під час наближення до джерел забруднення, а інші (наприклад, морський салат (*Ulva lactuca*)) поширюються за підвищеного забруднення вод. У місцях витоку стічних вод залишається лише бідна флора полісапробіонтних водоростей, що витримують велику концентрацію органічних речовин у воді й тому є індикаторами дуже забруднених вод.

Водорості бентосу є ще точніші індикатори санітарного стану морських вод. У бухтах Чорного моря в чистих водах живуть десятки видів діатомей, що

зникають у міру забруднення води. У разі слабого забруднення з'являються полісапробіонтні діатомеї (мелозіри та ін.) На максимальне забруднення води вказує масовий розвиток *Melosira monilifoonnis*.

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

Встановлено, що найбільша чутливість до дефіциту кисню збігається з чутливістю до органічного забруднення. Щодо стійкості до органічних забруднень і дефіциту кисню розрізняють індикаторні групи організмів:

- **полісапроби** – організми, що витримують сильний ступінь дефіциту кисню (личинки комара *Chaoborus*, мухи-бджоловидки (*Fristalis tenax*));
- **мезосапроби** – витримують лише середній ступінь забруднення (інфузорія парамеція, карась, коропа, лин);
- **олігосапроби** – здатні витримати лише слабкий ступінь забруднення, вимогливі до кисню (форель, багато личинок мошок).

Потреба в кисні в різних видів риб неоднакова: у форелі – висока, яка становить 7-11 см<sup>3</sup>/л; у піскаря, коблика – середня (5-7 см<sup>3</sup>/л); у плотви, йоржа – низька (4 см<sup>3</sup>/л); у коропа, лина – наднизька (0,5 см<sup>3</sup>/л).

**Гідробіологічні показники 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. Індикатори гідробіонти – це зообентос, перифітон, зоопланктон і фітопланктон.

**Зообентос** – сукупність донних тварин, що живуть на дні або в ґрунті морських і прісних водоймищ. Стан зообентосу характеризує зміни водного середовища протягом тривалого часу. Вивчення зообентосу, відібраного в різних місцях водоймища, дає змогу одержати інтегральні оцінки якості води та ступеня забруднення донних відкладів.

**Перифітон** – поселення водних рослин і тварин на підводних скелях, камінні, річкових суднах, палях та інших об'єктах. Дослідження перифітону застосовують для оцінювання усередненої якості води водного об'єкта протягом довготривалого періоду часу, а також встановлення фактів забруднення водного об'єкта (за рахунок накопичення токсикантів) у тому разі, якщо в момент спостереження вода вже повністю самоочистилася.

**Зоопланктон** – сукупність тварин, що населяють водну товщу та пасивно переносяться течіями. Зоопланктон – досить надійний індикатор якості води в малопроточних річках, озерах, водосховищах та ставках. Його досліджують для отримання характеристик якості води в пунктах спостереження за порівняно короткий період часу.

**Фітопланктон** – сукупність рослинних організмів, які населяють товщу води морських та прісних водоймищ і пасивно переносяться течіями. Фітопланктон характеризує якість водних мас, де проходив його розвиток, тому на водотоках забирають проби фітопланктону, які використовують для одержання інформації про рівень забруднення на ділянках, розміщених за течією вище від пунктів спостережень.

Оцінка якості води водойм і водотоків може бути проведена з використанням фізико-хімічних та біологічних методів. Біологічні методи оцінки – це характеристика стану водної екосистеми за рослинним і тваринним населенням водойми.

Будь-яка водна екосистема, перебуваючи в рівновазі з факторами зовнішнього середовища, має складну систему рухомих біологічних зв'язків, які порушуються під впливом антропогенних факторів. Насамперед, вплив антропогенних факторів, і зокрема, забруднення відбивається на видовий склад водних спільнот і співвідношення чисельності складають їх видів. Біологічний метод оцінки стану водойми дає змогу вирішити завдання, вирішення яких за допомогою гідрофізичних і гідрохімічних методів неможливо. Оцінка ступеня забруднення водойми за складом гідробіонтів дає можливість швидко встановити його санітарний стан, визначити ступінь і характер забруднення та шляхи його розповсюдження у водоймі, а також дати кількісну характеристику протікання процесів природного самоочищення.

Найбільш повно методи біотестування розроблені для гідробіонтів і дає змогу 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.

Під час скидання у водоймище токсичних речовин, що містяться в промислових стічних водах, відбувається пригнічення і збіднення фітопланктону. При збагаченні водойм біогенними речовинами, що містяться, наприклад, у побутових стоках, значно підвищується продуктивність фітопланктону. У разі перевантаження водойм біогенними виникає бурхливий розвиток планктонних водоростей, що, фарбують воду в зелений, синьо-зелений, золотистий, буре або червоний кольори («цвітіння» води). «Цвітіння» води настає за наявності сприятливих зовнішніх умов для розвитку одного, рідко двох-трьох видів. При розкладанні надлишкової біомаси, виділяється сірководень або інші токсичні речовини. Це може призводити до загибелі зооценозів водойми й робить воду непридатною для пиття. Багато планктонні водорості в процесі життєдіяльності нерідко виділяють токсичні речовини. Збільшення у водоймах вмісту біогенних речовин у результаті господарської діяльності людини, що супроводжуються надмірним розвитком фітопланктону, називають антропогенним евтрофікуванням водойм.

Якісним біоіндикатором є водорості Ностак сливоподібна. Наявність цього виду говорить про чисту воду. Перша ознака тривоги – подрібнення й порушення правильної округлої форми смарагдових «куль» цієї водорості.

Бурхливий розвиток інших синьо-зелених водоростей, наприклад, осцилятор – хороший індикатор небезпечного забруднення води органічними сполуками. Кращий індикатор небезпечних забруднень – прибережне обростання, що розташовуються на поверхневих предметах у кромки води. У чистих водоймах ці обростання яскраво-зеленого кольору або мають бурий відтінок. За надлишком у воді органічних речовин і підвищення загальної

мінералізації обростання набувають синьо-зелений колір, тому що складаються в основному із синьо-зелених водоростей.

Хороші результати дає аналіз бентосних (придонних) безхребетних. Оцінка чистоти водойм робиться за переважанням, або відсутності тих чи інших таксонів. Фітопланктон найбільш поширений і добре вивчений з усіх екологічних груп водоростей. Склад фітопланктону має велику видову насиченість. Аналіз видового складу, достатку й кількісного поширення видів фітопланктону входить у всі програми екологічного моніторингу водойм.

Вивчення фітопланктону водойм проводиться через збір 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.

**Синьо-зелені водорості** – прокаріоти, зустрічаються повсюдно й можуть мешкати в таких екстремальних біотопах, як гарячі джерела й кам'яністі пустелі.

**Діатомові водорості** – мікроскопічні організми, зустрічаються у всіх видах вод. Утворюють основну масу складу продуцентів у водоймі, вони є початком харчового ланцюга. Їх поїдають безхребетні тварини, деякі риби. Масове розвиток деяких діатомових водоростей може мати й негативні наслідки (впливають на якість води, спричиняють загибель личинок риб, забиваючи їм зябра). Багато діатомеї можна використовувати як індикатори якості води водойми.

**Зелені водорості** – один із самих великих відділів водоростей. Евгленові водорості – поширені виключно в прісних водоймах, багаті органічними речовинами, у клітинах містять численні криваво-червоні гранули. При масовому розвитку ці види утворюють на поверхні води червоний наліт, деякі види викликають «цвітіння» води, фарбуючи її в коричневий колір.

**Золотисті водорості** – переважно прісноводні водорості, найчастіше зустрічаються в чистих водоймах. Зазвичай вони розвиваються в холодну пору року.

**Дінофітові водорості** – існують у прісних водах і в морях. Серед них є паразити, які знищують личинок устриць, види які виробляють отруту, смертельну для риб. Крім, того розкладаючись після свого масового розвитку, так званих «червоних припливів», вони можуть отруювати воду на багато кілометрів шкідливими продуктами розпаду, впливаючи на риб та інших водних тварин.

Підкреслюючи всю важливість методів біоіндикації як дослідження, необхідно зазначити, що біоіндикація передбачає виявлення забруднення навколишнього середовища, що вже відбулося або відбувається, за функціональними характеристиками особин і екологічних характеристиках угруповання організмів. Поступові ж зміни видового складу формуються в результаті тривалого отруєння водойми, і явними вони стають у випадку кардинальних змін. Для річок і струмків найбільш точні результати дає вивчення донних організмів (бентоса) і мешканців укорінених на дні водних рослин

(перифітона), які, не переміщаючись разом із потоком, краще відображають загальну якість води, що протікає над ними. У стоячих водоймах разом із бентосом перспективне використання організмів – мешканців товщі води (планктону).

Для біоіндикації можуть використовуватися показники біосистем усіх рангів. Зазвичай, чим нижчий ранг біосистеми, використаної як біоіндикатор, тим більше точними можуть бути висновки щодо впливу чинників середовища й навпаки. Для біоіндикації найбільш показові такі характеристики:

- хімічний склад клітин;
- склад, структура і ступінь функціональної активності феноменів;
- структурно-функціональні характеристики клітинних органоїдів;
- розміри клітин, їх морфологічні характеристики, рівень активності;
- гістологічні показники;
- концентрації поллютантів у тканинах і органах;
- частота й характер мутацій, канцерогенезу, потворності.

Найбільш зручним об'єктом біоіндикації є, макрозообентос – макроскопічні (завдовжки більш ніж 2 мм) безхребетні тварини, що мешкають на дні водойм і в заростях водних рослин. Це, головню, водні личинки й імаго комах, молюски, п'явки, малощетинкові черв'яки і вищі ракоподібні. Для їх збору в природі потрібний простий бентосний сачок із вічком 0,5-1 мм (можна застосовувати господарське сито з капроною сіткою) і пінцетом; визначення у ряді випадків ведеться неозброєним оком, у решті випадків застосовується застосування бінокюляра.

## 6.Методи біологічної оцінки якості води

**Індекс сапробності.** Метод включає визначення відносної частоти трапляння гідробіонтів (h) та їх індикаторної значимості (S). Визначення (h) проводять за оковимірювальною шкалою:

- 9,0 – у полі зору багато організмів;
- 7,0 – часто трапляються в кожному полі зору;
- 5,0 – нерідко;
- 3,0 – дуже рідко;
- 1,0 – поодинокі.

Індикаторну значимість (S) і зону сапробності визначають за списками сапробних організмів.

Індекс сапробності за фітопланктоном у модифікації Пантле й Букка розраховують за формулою:

$$f = \frac{\sum(sh)}{\sum h}.$$

Для статичної достовірності потрібно, щоб у пробі було не менше 12 індикаторних видів із загальною сумою трапляння  $h = 30$ .

У тому випадку, коли в пробах, відібраних на одному місці, не вивчаються декілька різних груп біоценозу, то розрахунок ведуть за формулою:

$$F_m = \frac{S_1 \sum h_1 + S_2 \sum h_2 + S_3 \sum h_3 + \dots + S_n \sum h_n}{\sum h_1 + \sum h_2 + \sum h_3 + \dots + \sum h_n}$$

де:  $f_m$  – середній індекс;  $S_1, S_2, S_3$  – індекс сапробності певних співтовариств (макрофлора, макрофауна обростання) або декілька проб одного співтовариства;  $h_1, h_2, h_3$  – суми значень частоти зустрічання деяких співтовариств або декількох проб одного співтовариства.

Величину індикаторної значимості (S) визначають за даними (табл.9).

Таблиця 9 – Величини індикаторної значимості

Індикаторні організми	S (індикаторна значимість)	Умовні позначення сапробної зони
Організми ксеносапробної зони	0	X
Організми олігосапробної зони	1	O
Організми бета-мезосапробної зони	2	$\alpha$
Організми альфа-мезосапробної зони	3	$\beta$
Організми полісапробної зони	4	P

Встановлення зони сапробності та класу якості води за індексом сапробності, наведено в таблиці 10.

Таблиця 10 – Зона сапробності та класу якості води залежно від значення індексу сапробності

Індекс сапробності	Зона сапробності	Клас якості води
0,0-0,5	ксеносапробна	I – дуже чиста
0,51-1,5	олігосапробна	II – чиста
1,51-2,5	$\beta$ -мезосапробна	III – помірно забруднена
2,51-3,5	$\alpha$ -мезосапробна	IV – забруднена
3,51-4,0	полісапробна	V – брудна

Найбруднішою зоною вважається полісапробна. Також вона ідентифікується низьким вмістом розчиненого кисню, що повністю витрачається внаслідок процесів деструкції органічних речовин.

Мезосапробна зона характеризується меншим рівнем забруднення, відповідно до якого використовують поділ на  $\alpha$  – і  $\beta$  -мезосапробну ділянки,  $\alpha$  – мезосапробна зона ідентифікується за перебігом процесу розпаду органічних сполук за умови наявності кисню. У результаті проходження даного процесу відбувається виділення метану. Причиною виникнення даної зони є дія неочищених скидів підприємств різних галузей народного господарства. Також  $\alpha$  -мезосапробні ділянки характерні для заболочених водних об'єктів. Меншими концентраціями недоокислених сполук азоту, сірководню та вищим вмістом

розчиненого у воді кисню характеризується  $\beta$ -мезосапробна зона. Для даної ділянки водного об'єкта характерним є процес евтрофікації через посилений розвиток фітопланктону в умовах високого насичення води киснем.

Невисокий вміст органічного забруднення характерний для олігосапробної зони водойми. Вода в таких ділянках насичена киснем, переважають сполуки нітратного азоту. Найпоширенішими видами водоростей олігосапробної зони є діатомові, також наявні ракоподібні, молюски та риби. Процес евтрофікації не характерний для даної зони водойм. Олігосапробна зона ідентифікується у великих озерах.

Найчистіша вода міститься в ксеносапробних зонах водойм. Вона характеризується невисоким вмістом мінеральних речовин та наявністю невеликої кількості водних організмів. Ксеносапробна зона ідентифікується в майже незмінених господарською діяльністю водах мінеральних джерел, високогірних струмків та озер.

**Визначення індексу Вудівісса** для біотестування мілководних та не широких річок із добре розвинутою водною рослинністю. Система сапробності дає змогу прослідкувати черговість зникнення й повторної появи організмів, водоростей, найпростіших мікробезхребетних і риб (залежно від впливу забруднювальних речовин).

За базу досліджень Вудівіссом прийнято частоту виявлення в пробах води мікробезхребетних організмів бентосу: веснянки, одноденки, ручейники, тубіфіциди.

Значення біотичного індексу Вудівісса змінюється від 1, 2, 3, 4 (забруднені води) до 10,0 (чисті води).

В екологічній класифікації якості річкових вод це значення становить: забруднені води – < 4,5; чисті – > 4,5 до 10,0.

Значення індексів таксономічних груп наведено в таблиці 11.

Таблиця 11 – Відповідність індексів Гуднайта-Уітлея індексам та зонам сапробності

Зона сапробності	Індекс сапробності Пантле й Букка	Індекс Гуднайта-Уітлея (% олігохет)
Олігосапробна	0,5-1,5	до 30,0
$\beta$ -мезосапробна	1,5-2,5	30,0-60,0
$\beta$ , $\alpha$ - мезосапробна	2,5-3,5	70,0–80,0
Полісапробна	3,5-4,0	80,0

Індекс Вудівісса розраховується за формулою:

$$I_{\text{Вудівісса}} = \sum x_i / n$$

де  $x_i$  – значення індексів індикаторних організмів;  $n$  – кількість виявлених індикаторних організмів.

**Визначення індексу Гуднайта-Уітлея** (за великими таксонами). Гуднайт та Уітлей провели індикацію стану водного об'єкта з виявлення організмів

бентосу, що визначають ступінь забруднення – олігохет (за частотою виявлення) у відсотках до всіх виявлених видів донних організмів. Шкала вимірювань – від 0 до 100 %.

Забрудненим водам відповідають значення від 66 до 100 %, чистим – до 60 % (табл. 12).

Таблиця 12 – Відповідність індексів Гуднайта-Уітлея екологічним індексам якості води

Екологічний клас	Індекс сапробності Пантле й Букка	Ie (екологічний індекс)	Індекс Гуднайта-Уітлея (% олігохет)
I	0,7	1,0	15,0
II	1,4	3,0	30,0
III	2,2	8,0	45,0
IV	3,3	21,0	66,0
V	> 3,3	> 21,0	> 66 0

**Метод Ніколаєва.** Для малих і середніх річок відома шкала й метод оцінки якості вод Ніколаєва (1992). Він є, спрощеним варіантом оцінки сапробності за Пантле Букком. Цей метод припускає збір якісних даних зі всіх донних субстратів річки, і визначення безхребетних до родів або сімейств. За Ніколаєвим, річкові води діляться на 6 класів за якістю (приблизно відповідні градаціям сапробності):

- 1 – дуже чисті (ксеносапробні);
- 2 – чисті (олігосапробні);
- 3 – помірно забруднені ( $\beta$ -мезосапробні);
- 4 – забруднені ( $\alpha$ -мезосапробні);
- 5 – брудні ( $\beta$ -полісапробні);
- 6 – дуже брудні ( $\alpha$ -полісапробні).

Оцінюючи за методом Ніколаєва потрібно для кожного класу якості вод у підрахувати число знайдених таксонів; помножити його на значущість таксона, вибрати класи якості вод, що набрав найбільше число балів. Осібно стоїть 6-й клас якості вод, у якому макробентос не має зустрічатися взагалі (що і є критерієм приналежності до цього класу).

Метод Ніколаєва задовільно працює для річок завширшки 7-10 і більше метрів (тобто крім найменших), для середніх і сильних забруднень. До слабких забруднень він малочутливий. Не рекомендується застосовувати його і для стоячих водойм, у яких більшість використаних таксонів-індикаторів не зустрічаються взагалі.

**Метод оцінки забруднення по літореофілам.** Спеціально для оцінки низьких рівнів забруднення струмків і малих річок (завширшки від 1 до 10 метрів) пропонується наступний метод і індекс. Він також припускає збір якісних даних за макробентосом, причому зі щільних субстратів (переважно каменів, у гіршому разі корчів і листового опаду). Ці субстрати населяють *літореофіли* – види,



найбільш вимогливі до вмісту кисню у воді й чутливі до замулювання. Визначення потрібно вести до родин або родів. Як індикаторні таксони використовуються личинки комах (веснянок, поденок і ручейників) і деякі п'явки. Індикаторні таксони розбиті на дві групи: А (чутливі до забруднення й нестачі кисню) і В (стійкі до нестачі кисню й ті, що збільшують кількість при органічному забрудненні й замулюванні).

Для визначення індексу потрібно підрахувати в пробі число чутливих до забруднення таксонів (А) і стійких (В).

Якщо  $A+B = 5$  або більше, оцінюємо  $A/B$ .

$A/B$  дорівнює 5 і більше: водойма дуже бідна органічною речовиною сама по собі, і без слідів забруднення людиною. У середній смузі такі зустрічаються у край рідко.

3-5: водойма незабруднена, така, що несе природний «фон» органічної речовини. Такі більшість швидких річок і струмків середньої смуги в лісових масивах без населених пунктів.

2-3: водойма несе слабе, зазвичай непряме антропогенне забруднення, або природний «фон» органіки підвищений (вирубки в оточуючому лісі, часткове заболочування долини, боброві запруди й тому подібне).

1-2: у наявності помітне, але не сильне антропогенне забруднення.

0,5-1: забруднення середньої сили.

0-0,5: сильне забруднення, з великою вірогідністю промислового характеру; починаючи з цього рівня рекомендується використовувати інші методи.

Оскільки всі приведені вище індекси й методи покликані вимірювати одне й те ж, їх величини мають відповідати один одній. На практиці, через складність природи й 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. Охарактеризуйте основні умови проживання водних організмів.

3. Як поділяються водні організми щодо температурного режиму?

4. Як реагують водні організми на газовий склад водоймища?

5. Охарактеризуйте вплив прозорості, солоності та світлового режиму на існування живих організмів.

6. Як розподіляються водні організми залежно від ґрунтів водоймища?

7. Охарактеризуйте індекс сапробності. Як він розраховується?

8. Дайте визначення поняттям «сапробність» та «таксобність».

9. Як розрізняють водні організми за стійкістю до органічних забруднень?

10. Як визначається індекс Вудівісса?

11. Як розраховується індекс Гуднайта-Уітлея?

12. Для яких водних об'єктів можна використовувати метод Ніколаєва?

*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 кг/м<sup>3</sup>?

**ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ**

**1.Наукова основа кількісного оцінювання якості об'єкту, 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. постановка завдання і 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 білку 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) акумулятивний;
- 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) непряма 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.

## ГЛОСАРІЙ

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

**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 зростають на лужних ґрунтах

**Біоіндикація** (грец. *bios* – життя, лат. *indico* – вказую) – це визначення біологічно значимих 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 всі форми взаємодії між організмами в популяції.

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

**Газостійкість** – здатність зберігати властиві організму процеси життєдіяльності й насінневого відтворення в умовах забруднення газами й 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 засолених ґрунтів.

**Галофіти (галофіли)** – рослини засолених місцеперебувань, що легко пристосовуються в процесі свого індивідуального розвитку до високого вмісту солей у ґрунті завдяки наявності низки анатоמו-морфологічних особливостей.

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

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

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

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

**Екологічна валентність певного виду** – це діапазон інтенсивності дії екологічного фактору, 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 у тканинах і мають соковиті і м'ясисті стебла.

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

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

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

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

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

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

**Індекс забруднення** – показник, якісно й 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 фільтруючими галофітами) і мають характерний сольовий наліт.

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

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

**Мезосапربي** – витримують лише середній ступінь забруднення.

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

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

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

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

**Нейтрофіли** – рослини ґрунтів із нейтральною реакцією.

**Некрози** – відмирання обмежених ділянок тканини.

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

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

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

**Омброфіти** – рослини, що існують лише за рахунок атмосферних опадів.

**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.

**Полісапربي** – 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 в довкіллі.

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

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

**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 за температурою 260С з незначними добовими й річними коливаннями.

**Термофоби** – організми, які не витримують високих температур, нормально розвиваються при порівняно низьких температурах (верхня межа становить 100С).

**Токсична концентрація** – концентрація шкідливої речовини, яка здатна при різній тривалості впливу спричинити загибель живих організмів, або концентрація шкідливого агенту, що веде до загибелі живих організмів протягом 30 діб у 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. *φυτόν* – росина та лат. *indicatio* – вказую, визначаю) застосування у якості 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 у результаті дальнього або транскордонного переносу.

**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) у нього хімічних речовин, не притаманних йому або в концентраціях, котрі перевищують норму.

**ВИКОРИСТАНА 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. Вінниця : ВНТУ, 2010. 232 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.

## Додаткова

1. Клименко М.О. Прищепя А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля : підручник. Київ : Академія, 2006. 360 с.

2. Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій : методичні рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Рівне : Дока-центр, 2018. 94 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. URL: <http://www.menr.gov.ua> – Офіційний сайт Міністерства екології і природних ресурсів України

2. URL: <http://catalog.uin-tei.kiev.ua/index.php>. Каталог Українських Web-ресурсів з екології

3. URL: <http://www.nbuv.gov.ua> – Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського

4. URL: <http://library.znu.edu.ua/>. Сайт Наукової бібліотеки ЗНУ.

5. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=6732> – адреса дисципліни «Біоіндикація» СЕЗН ЗНУ

Навчальне видання  
(українською мовою)

Притула Наталія Михайлівна

## БІОІНДИКАЦІЯ

Навчальний посібник

для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Екологія»  
освітньо-професійної програми «Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування»

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