

Біоіндикація екосистем

**Біоіндикація стану
повітряного
середовища**

Оскільки рослини в цілому володіють відносно високою чутливістю до дії деяких забруднюючих речовин, їх можна використовувати в якості індикаторів для виявлення забруднення і визначення його рівня, а також при здійсненні моніторингу стану забруднення атмосфери.

Для такого моніторингу надзвичайно важливо дотримуватися наступних умов:

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

В 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 відноситься сповільнення або зупинка нормального росту і розвитку рослин (що обумовлюють, 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 окремих 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 (включаючи кліматичні) можуть вплинути на ефекти впливу забруднення повітря, що спостерігаються в різних районах. Через це доцільно **вибирати такі індикаторні або акумулюючі види рослин**, умови зростання яких найбільш близькі (до них відносяться стан ґрунту, ґрунтових вод та інші).

До теперішнього часу з цією метою звичайно використовувались вищі рослини. Наприклад, в Нідерландах та Великобританії - культура тютюну Bel W3, в Німеччині - пересаджувані 45 види лишайників. Деякі види та культури дикорослих та культивованих рослин, чутливі до дії одного або кількох забруднюючих речовин, можуть ефективно використовуватися на мережі станцій моніторингу

Основні забруднюючі речовини, на які реагують рослини. До них належать озони (O₃), оксиди азоту, діоксид сірки, фториди

Озон (O₃) - газоподібна забруднююча речовина, яка утворюється внаслідок складної реакції між окислами азоту за участю сонячного світла. Озон потрапляє в рослину через листя внаслідок звичайного газообміну між рослиною і навколишнім середовищем. Найбільш чутливе до дії озону листя, яке формується, але найпомітніше він уражає старі листки рослини. Загальною ознакою ураження рослин озоном є плямистість, яка вказує на його гостру дію. Ознаки ушкоджень рослин озоном різні й залежать від виду та сорту рослини, концентрації озону, часу експозиції (дії світла), а також від багатьох інших факторів. Специфічна ознака гострої дії озону на рослину - поява цяточок, які з часом зливаються й утворюють плями на поверхні листка. Цяточки можуть бути білими, чорними, червоними або червонувато-пурпуровими. За низьких концентрацій O₃ листя набуває червоно-бурого або бронзового кольору що, як правило, призводить до хлорозу, старіння та опадання листя. Хлороз може бути єдиною ознакою хронічного впливу озону протягом тривалого часу.

Оксиди азоту (NO_x) – газоподібні забруднюючі токсичні сполуки NO, NO₂, N₂O. У забрудненому повітрі вміст оксидів азоту зумовлює утворення озону. Однак у багатьох випадках концентрація оксидів азоту надто мала, щоб помітно ушкодити рослину. Низькі концентрації NO₂ стимулюють ріст рослин, листя набуває темного кольору. Проте у деяких випадках виникає неспецифічний хлороз із наступним ушкодженням та опаданням листя. Англійські вчені виявили, що оксиди азоту є основною речовиною, яка забруднює повітря в теплицях, які обігрівають вуглеводневим паливом. Гостра дія NO₂ може бути схожа з гострою дією на рослини SO₂.

Діоксид сірки (SO₂) – забруднююча речовина, яку викидають у повітря теплові електростанції (особливо ті, що працюють на вугіллі) і деякі промислові підприємства. Її концентрація в повітрі висока поблизу джерел викидів і поступово знижується із збільшенням відстані від нього. За природних умов можливе поєднання гострої та 46 хронічної дії SO₂. SO₂ потрапляючи на листя, окислюється до високотоксичної сполуки SO₃, а потім повільно перетворюється на сульфат SO₄, менш токсичний. При низьких концентраціях SO₂ у повітрі практично повністю окислюється до сульфату, і рослини не страждають. За високої концентрації SO₃ відбувається гостре ушкодження листя широколистяних рослин, між жилками (з'являється бурий або білий колір) або на краях деяких листків спостерігається ефект «ялинки». Ознакою хронічної дії SO₂ є хлороз, або знебарвлення листя із зміною їх кольору до червоно-бурого; у хвойних рослин -- почервоніння голок зверху вниз. Рослини страждають за наявності концентрації SO₂ в повітрі 0,05-0,50 % при дії протягом 8 годин

Фториди перебувають у атмосфері у вигляді газу, твердої домішки або газоподібного фториду, адсорбованого іншою твердою речовиною. Фтористий водень (HF) у вигляді газу токсичний, ніж у твердому стані. Він присутній у викидах стаціонарних джерел забруднення - плавильних заводів і заводів, які використовують алюміній. Рослинність поблизу джерел викидів страждає найбільше. Хронічна дія HF викликає у рослин хлороз уздовж прожилок листя, гостра дія HF – некроз країв листя, який починається з верхньої частини листка і поширюється до його основи, внаслідок чого листя може деформуватися або скручуватися. Однодольною рослиною, яку використовують як індикатор є гладіолус. У них колір листя змінюється від білого до бурого, починаючи з верхівки листка до основи. Чітка темно-бура смуга відокремлює мертву тканину рослини від живої. У хвойних рослин з'являються голки з «обпаленими» краями або «обпалені» повністю. Особливістю фториду є його здатність накопичуватись в листі, особливо на краях і верхівках. Для оцінки ступеня ушкодження рослин HF застосовують аналіз тканини листка.

Другорядними забруднюючими речовинами, які діють на рослини є аміак, бор, хлор, етилен, пропилен, хлористий водень, соляна кислота.

Аміак (NH₃) надходить в атмосферу в результаті аварій на виробництві. Він особливо вражає рослини поблизу місця аварії. Як і у разі дії NO_x рослини ушкоджуються тільки за високої концентрації амоніаку. Найчутливішим до дії NH₃ є листя середнього віку, яке може змінити колір із тьмяно-зеленого до бурого або чорного. Дія низьких концентрацій NH₃ зумовлює появу на нижній стороні листка глянцеватості або сріблястості.

Бор (В) - речовина сірувато-чорного кольору. Її дія на рослини, які ростуть поблизу джерел викидів, зумовлює некроз на краях листя та між жилками, а також плямистість. Листя набуває чашоподібної форми, деформується, особливо старе. Гострі ушкодження можливі на відстані до 200 м від джерела. Найбільш чутливими до дії бору є горіх сірий, клен, шовковиця, дикий виноград, а стійкі - в'яз, бузок, груша і більшість трав'янистої рослинності.

Хлор (Cl) застосовують як окиснювач. У зоні розливу хлору, внаслідок аварій при транспортуванні, рослини особливо ушкоджуються. На краях листка з'являються плями від темно-зеленого до чорного кольору, які потім знебарвлюються до білого або стають бурими. Ознаки ушкодження листя між жилками подібні до ознак спричинених дією SO₂. Можлива також поява цяточок, що нагадує результат впливу озону. У хвойних, як і при дії озону, може виникати некроз кінчиків голок і плямистість. Чутливі до дії хлору гірчиця і соняшник.

Етилен (C₂H₄) – природний рослинний гормон, який утворюється при ушкодженні рослин різними забруднювачами повітря. Він позначається на процесах цвітіння, дозрівання плодів, старіння та опадання. Етилен також присутній у вихлопних газах автотранспорту і є забруднюючою речовиною. До ознак ушкоджень рослин етиленом належать погіршення їх росту, передчасне старіння та опадання листя, погіршення цвітіння, передчасне розкриття бруньок, повільне розпускання листків, їх скручування.

Пропилен (C₃H₆) – ненасичений ациклічний вуглеводень, безбарвний газ. Вплив пропилену на рослину подібний до дії етилену, але його спричиняють вищі концентрації. Пропилен пригнічує цвітіння у хризантем, уповільнює вертикальний ріст, але стимулює появу листя. Рослини, уражені пропиленом, мають менше за розміром, але товстіше листя.

Хлористий водень (HCl, безколірний димучий в повітрі газ з різким запахом) та соляна кислота (розчин хлористого водню у воді, безбарвна "паруюча" в повітрі рідина) надходять в атмосферу з локальних джерел. Типовою реакцією на дію хлористого водню є міжжилковий та краєвий хлороз, після чого настає некроз, який проявляється в зміні кольору від жовтого, бурого, червоного до чорного. Межі некротичних ділянок можуть бути від білого до кремового кольору. Ознаками ушкодження рослин аерозолем соляної кислоти вважають появу цяточок від червоно-коричневого до чорного кольору, а соляною кислотою - листову плямистість, причому плями облямовуються смугою білого або кремового кольору.

Тверді частинки (пил) та важкі метали. Вони проникають крізь листя або пошкоджені клітини епідермісу. Дрібні частинки можуть осідати на листках, знижуючи світлопоглинання і відповідно фотосинтез, негативно впливати на запилення квітки, розміри і стан листя. Важкі метали з атмосфери, осідаючи на рослину або земну поверхню, мають тенденцію накопичуватися, особливо у верхніх шарах ґрунту, звідки можуть потрапити у рослину. Концентрація важких металів у ґрунті залежить від вмісту в ньому глини та органічної речовини. Найпоширенішим металом, що може потрапляти у рослину і ґрунт, є свинець. Він накопичується в ґрунті, але чітких доказів відносно того, що він уражає рослину немає. Вміст його в рослинах незначний, приблизно 0,001-0,002% від ваги золи. Цинк, кадмій, мідь, у середині літа спричиняють міжжилковий хлороз із наступним почервонінням листя дерев, які ростуть поблизу джерела

Компоненти забруднень	Біоіндикатори	Ознаки
Фторид водню (HF)	1. Гладіолус (<i>Gladiolus gandavensis</i> cv., Snow Princess, Flowersong), Тюльпан (<i>Tulipa gesneriana</i> cv. Blue Parrot, Preludium), Касатик (<i>Iris</i>	1. Некрози верхівок і країв листків 2. Накопичення фтору в сухій речовині 3. Захворювання і загибель

	<i>germanica</i>) 2. Петрушка курчава (<i>Petroselinum crispum</i> var <i>vulgare</i>) 3. Бджола медоносна (<i>Apis mellifera</i>)	
Озон (O ₃)	1. Тютюн (<i>Nicotiana tabacum</i> cv. Bel W 3) Шпинат (<i>Spinacia oleracea</i> cv. Subito, Dynamo) 2. Соя (<i>Glycine max</i>)	1. Некротичні плями сріблястого кольору на верхньому боці листка 2. Некроз верхньої частини листя

Пероксиацетилнітрат (ПАН)	1. Кропива пекуча (<i>Urtica urens</i>) 2. Мятлик однорічний (<i>Poa annua</i>)	1. Смугасті некрози на нижній стороні листя 2. Смугасті некрози листя
Діоксид сірки (SO ₂)	1. Люцерна (<i>Medicago sativa</i> cv. Du Purts) Гречка (<i>Fagopyrum esculentum</i>) Подорожник великий (<i>Plantago major</i>), Горох (<i>Pisum sativum</i>), Конюшина інкарнатна (<i>Trifolium incarnatum</i>) 2. Попелиця (<i>Aphis sambuci</i>) 3. Личинки синьої мухи червоноголової (<i>Calliphora erythrocephala</i>)	1. Некрози і хлорози між жилками листків 2. Порушення енергетичного балансу, зменшення АТФ, збільшення АМФ Зниження активності ферменту малатдегідрогенази 3. Збільшення смертності личинок
Діоксид азоту (NO ₂)	1. Шпинат (<i>Spinacia oleracea</i> cv. Subito, Dynamo) Махорка (<i>Nicotiana rustica</i>) Сельдерей (<i>Apium graveolens</i>) 2. Щури (<i>Rattus rattus</i>)	1. Некрози між жилками листків 2. Пероксидація ліпідів легеневої тканини
Хлор (Cl ₂)	1. Личинки синьої мухи червоноголової (<i>Calliphora erythrocephala</i>) 2. Шпинат (<i>Spinacia oleracea</i>) Красоля (<i>Phaseolus</i>)	1. Підвищена смертність личинок 2. Збліднення листя 3. Деформація хлоропластів

Етилен (C ₂ H ₄)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Петунія (<i>Petunia nictaginiflora</i> cv. White Joy) 2. Салат (<i>Lactuca sativa</i>), Томат (<i>Lycopersicon esculentum</i>) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відмирання квіткових бруньок, дрібні квітки 2. Закручування країв листя, підвищення піроксидазної активності
Радіонукліди стронцій-90, цезій-137	<p>Оленьчий мох (<i>Cladonia rangiferina</i>)</p> <p>Ісландський мох (<i>Cetraria islandica</i>)</p>	Накопичення в сухій речовині
Фторид-іон, іони важких металів (Pb, Zn, Cd, Mn, Cu)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Райграс багатоквітковий (<i>Lolium multiflorum</i> cv. Optima) Полевиця повзуча и полевиця тонка (<i>Agrostis stolonifera</i>, <i>A. tenuis</i>) 2. Миша (<i>Mus musculus</i>) 3. Бджола медоносна (<i>Apis mellifera</i>) 4. Гірчиця біла (<i>Sinapis alba</i>) Листова капуста (<i>Brassica oleracea</i> var. acerphala) Кінський каштан (<i>Aesculus hippocastanum</i>) Мохи (<i>Sphagnum sp.</i>, <i>Hypnum cupressiforme</i>, <i>Pohlia nutans</i>, <i>Pleurozium schreberi</i>) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Накопичення в сухій речовині 2. Зміна в співвідношенні Т- і В-лімфоцитів, зменшення В-лімфоцитарної реакції 3. Накопичення в меді 4. Накопичення в сухій речовині
Суміш шкідливих речовин в повітрі (оксиди сірки, азоту ...)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Виводкові бруньки <i>Marchantia polymorpha</i> 2. Листові и куццові лишайники (<i>Hypogymnia physodes</i>, <i>Pseudevernia furfuracea</i>, <i>Cetraria glauca</i>) 3. Піхта (<i>Abies alba</i>), Ялина (<i>Picea abies</i>), ... 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зменшення приросту клітин 2. Зниження вмісту хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i>, зменшення вмісту живих клітин водоростей 3. Зниження вмісту хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i>,

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

Рослина-індикатор – рослина, у якої ознаки ушкодження виявляються при впливі фітотоксичної концентрації забруднюючих речовин або їх суміші. Рослина-індикатор є хімічним сенсором, який може виявити в повітрі присутність забруднюючої речовини, але спостереження за нею не дають змоги отримати дані про її кількість.

Лишайники і мохи відомі як накопичувачі забруднюючих речовин, переважно важких металів, які ці рослини можуть акумулювати й кількостях, що значно перевищують їх концентрацію в навколишньому середовищі. Отже, поява у рослин типової ознаки ушкодження вказує на наявність у повітрі забруднюючої речовини або її суміші. Зважаючи на важливість кількісної оцінки, особливо інформативними є організми, які у певний спосіб реагують саме на кількість забруднювача у довкіллі, тобто рослини-монітори

Рослина-монітор – рослина, за ознаками ушкодження на якій можна отримати інформацію про кількість забруднюючих речовин або їх суміші у довкіллі. Лишайники можна використовувати для контролю вмісту SO₂ в навколишньому середовищі. Здатність до акумуляції SO₂ залежить від виду цих рослин. Поєднання методів інструментального моніторингу із спостереженнями за лишайниками дасть змогу встановити залежність між їх ростом і концентрацією SO₂ в довкіллі. Швидкість росту і колір лишайника вказують на присутність або відсутність SO₂ і його приблизну концентрацію в повітряних масах. Цей метод використовують при моніторингу SO₂ в Англії, Ірландії, Канаді, Франції, Швеції та США.

Відбір і підготовка біологічних матеріалів для біомоніторингу

Отримання достовірних, повних і точних даних за допомогою біоіндикації можливе лише у разі точного дотримання низки вимог. Так, при виборі рослини для використання її 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; ·
- відбір рослин, невибагливих до умов вирощування і догляду; ·
- відбір рослин, які мало піддаються впливу шкідників та хвороб.

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

Оцінка санітарного стану повітря за допомогою лишайників

Одним з специфічних методів моніторингу є біоіндикація, визначення ступеня забруднення геофізичних середовищ за допомогою живих організмів, біоіндикаторів. При визначенні біоіндикаторів, до них висувають певні вимоги. Рослини-індикатори повинні бути чутливими і не досить стійкими до забруднення. Необхідно, щоб у них був достатньо довгий життєвий цикл. Важливо, щоб такі рослини були широко розповсюджені по земній кулі, причому кожен вид повинен бути пристосований до певного місцезростання.

Цим вимогам повністю відповідають лишайники. На думку багатьох дослідників лишайники – ідеальний об'єкт для контролю забруднення навколишнього середовища і цю властивість необхідно широко використовувати при плануванні екологічного моніторингу. Відомо, що вимірювання фізичних і хімічних параметрів забруднення природного середовища більш трудомістке в порівнянні з методами біоіндикації.

Лишайники - це своєрідна група нижчих спорових рослин, слань яких має дуалістичну (двоїсту) природу. До складу вегетативного тіла (слані) лишайників входять автотрофний водоростевий (фікобіонт = ліхенізовані водорості) і гетеротрофний грибний (мікобіонт = ліхенізовані гриби) компоненти. Самостійність лишайників підтверджується ознаками, не притаманними ані для грибів, ані для водоростей у вільноіснуючому стані: особливі морфологічні форми, внутрішня будова слані, особливий тип метаболізму, специфіка біохімічного складу, способи розмноження, особливості екології та інші

В природних умовах лишайники характеризуються вибірково по відношенню до субстрату і утворюють наступні основні екологічні групи:

- ✓ епіліти - на поверхні гірських порід,
- ✓ епігеї - на ґрунті,
- ✓ епіфіти - на корі дерев і чагарників;
- ✓ крім того, виділяють групи:
- ✓ епідіксилів - на гниючій деревині,
- ✓ епіфілів - на хвої і листах вічнозелених рослин,
- ✓ епібріофілів - на дернинках мохів.

По відношенню до забруднення повітря лишайники поділяють на три категорії: ·

- найбільш чутливі, які зникають при перших симптомах забруднення;
- середньочутливі, які приходять на зміну загрозливим чутливим видам, з якими вони не могла конкурувати на умовах чистого повітря; ·
- найбільш витривалі, толерантні до забруднення.

Біоіндикація стану водного середовища

Індикатори - це види рослин і тварин, у тому числі і 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 і хімічної промисловості. Висока чутливість щуки 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 і багато інших. На всі ці параметри впливає як антропогенне навантаження, так і природні процеси, що відбуваються у водоймах. Для водойм різних типів в нормі буде характерний різний видовий склад і велика кількість водних організмів (гідробіонтів). Варто відмітити, що найчистіші водойми не матимуть найбагатшу фауну.

Основні умови проживання водних організмів в водоймах з різними характеристиками:

- а) Температурний режим.
- б) Газовий склад.
- в) Кисотно-основні властивості води.
- г) Солоність, мінеральний склад.
- г) Прозорість, світловий режим.
- д) Ґрунти
- е) Гідродинаміка (течії, хвилювання).

Для біологічної індикації якості вод можна використовувати майже всі групи організмів, які населяють водойми: планктонні і бентосні безхребетні, найпростіші, водорості, макрофіти, бактерії. Організми, які зазвичай використовують як 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 у ході 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 слабкого забруднення з'являються полісапробіонтні діатомеї (мелозіри та ін.) На максимальне забруднення води вказує масовий розвиток *Melosira moniliformis*. Виявити присутність небезпечної забруднюючої речовини у водоймищі 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, короп, лин);

олігосапроби - здатні витримати лише слабкий ступінь забруднення, вимогливі до кисню (форель, багато личинок мошок)

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 - 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.

Біоіндикація стану ґрунтів

Ґрунт – це особливе органо-мінеральне природне утворення, яке виникло як внаслідок пливу живих організмів на мінеральний субстрат і розкладу мертвих організмів, так і за рахунок впливу природних вод і атмосферного повітря на поверхневі горизонти гірських порід у різних умовах клімату і рельєфу в гравітаційному полі Землі.

Загальне оцінювання ступеня забруднення ґрунтового покриву можна проводити за критеріями, які виділяють слабо-, середньо- і сильно забруднені ґрунти. У слабозабруднених ґрунтах вміст забруднюючих речовин (ЗР) не перевищує ГДК або фонове значення. У середньозабруднених – перевищення ГДК (фону) незначне і не призводить до істотних змін властивостей ґрунтів. У сильно забруднених ґрунтах вміст ЗР у кілька разів перевищує ГДК (фон), що істотно позначається як на властивостях ґрунтів, так і на якості сільськогосподарської продукції.

На основі екологічної характеристики організмів, тобто їх реакцій на вплив факторів середовища, виокремлюють **еврибіонти** - види з широкою адаптаційною здатністю, які можуть жити при різних значеннях фактору, і **стенобіонти** - види з низькою адаптаційною здатністю, життєдіяльність яких обмежена вузьким діапазоном змін певного фактора.

Саме стенобіонти (організми або їх угруповання), життєві функції яких тісно корелюють з 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 з відповідним складом ґрунту.

Наприклад, нітрофіти (азотолюби) можна вважати надійними індикаторами ґрунту, збагаченого азотом, до них відносять берест, черемху, бузину, бруслину європейську. Найбільше їх росте на землях з підвищеним вмістом нітратів, дуже рідко вони трапляються на бідних азотом землях.

Домінування різних рослин-галофітів (солестійких) пов'язано з засоленістю ґрунтів різними йонами. Певні види рослин відображають якісний склад катіонів у поглинаючому комплексі ґрунту. Фітоіндикацію широко застосовують при визначенні кислотності ґрунтів. Так, на дуже кислих ґрунтах (рН = 3- 4,5) ростуть крайні ацидофіли (надають перевагу кислим ґрунтам), до яких належать сфагнум, плавун булавовидний; на кислих ґрунтах (рН 4,5-6,0) - помірні ацидофіли (калюжниця болотна, їдкий і повзучий жовтець); на слабо кислих ґрунтах (рН 5,0-6,7) - слабкі ацидофіли (медунка, купина багатоквіткава, анемона жовтецева). Теоретичною передумовою застосування ґрунтов-зоологічного методу з метою діагностики ґрунтів сформульоване М.С. Гиляровим у 1949 р.

Таблиця 3.7. - Біоіндикатори родючості ґрунтів

рівень родючості	Біоіндикатори	
	на луках	в лісах
Дуже високий	Чина лучна, стоколос безостий, таволга, осока лісяча	Малина, кропива, іван-чай, таволга, чистотіл, копитняк, кислиця, валеріана
Помірний (середній)	Костриця лучна, лисохвіст луговий, щучка дерниста, купальниця, вероніка довголиста	Майник дволистий, медунка, дудник, грушанка, купальниця, гравілат річковий
Низький	Білоус, ситник нитковидний, запашний колосок, котяча лапка	Сфагнові мохи, наземні лишайники, чорниця, брусниця, журавлина

Таблиця 3.2. - Зовнішні ознаки хвороб рослин при нестачі або надлишку поживних речовин

Речовин	Недостача	Надлишок
Азот (N)	Уповільнення росту. Пожовтіння, побуріння й засихання листя. Одеревіння стебел. Зменшення розміру квіток.	Побуріння листя (обпалені краї) і їх загибель Скорочення періоду вегетації
Калій (K)	Поява «крайового опіку» нижнього листя. Ослаблення рослин. Блакитно-зелене листя плодових і ягідних культур	Утворення на плодах гіркокого слизу
Фосфор (P)	Бурі плями між жилками листя Засихання листя. Ослаблення росту. Фіолетово-червоне забарвлення стебла, гілок і нижньої сторони листя Загинання листя вгору Квітки дрібні, опадаючі	Зменшення вегетаційного періоду Зниження врожаю
Кальцій (Ca)	Припинення росту й розвитку коріння. Верхнє листя білясте, нижнє - зелене. Відмирання вегетаційних точок росту	Стимуляція розвитку не тільки корисних, але й шкідливих мікроорганізмів
Магній (Mg)		Листя злегка темніє і трохи зменшується; іноді спостерігається згортання й зморщування молодих листочків, на пізніх стадіях росту кінці їх втягуються і відмирають, особливо при ясній погоді
Хлор (Cl ₂)		Загальне огрубіння рослин, листя маленьке, тьмяно-зелене, стебла тверді, у деяких рослин на більш старому листі з'являються пурпурно-коричневі плями, що викликає його опадання
Сірка(S)		Загальне огрубіння рослин, листя маленьке, тьмяно-зелене, стебла тверді, пізніше листя може скручуватися всередину й покривається наростами, краї його стають коричневими, потім блідо-жовтими

Таблиця 3.1. - Зовнішні ознаки хвороб рослин при надлишку мікроелементів

М/елемент	Зовнішні ознаки хвороб рослин
Залізо (Fe)	Тканина без некрозів; хлороз розвивається між жилками молодих листочків, жилки залишаються зеленими, пізніше весь листок стає жовтим або білуватим, що подібно з голодуванням
Марганець (Mn)	Перші ознаки з'являються на молодих рослинах, ураження місцеве. Тканина некротична, хлороз розвивається між жилками молодих листочків, перетворюючи їх у жовті або білуваті з темно-коричневими або майже білими некротичними плямами, листя викривляється й зморщується (у цьому основна відмінність від голодування)
Кобальт (Co)	У деяких рослин уздовж основних жилок листя з'являються прозорі, наповнені водою ділянки; між жилками розвивається некроз; пізніше листя стає коричневим й обпадає
Цинк (Zn)	Тканина некротична, хлороз листя, молоді листочки жовтіють; верхівкові бруньки відмирають, більш старе листя може обпадати без зів'янення, жилки знебарвлюються в червоний або чорний кольори (на ранніх стадіях ушкодження подібно з дефіцитом заліза). Перші ознаки з'являються на молодих рослинах, при цьому уражується вся рослина
Мідь (Cu)	Слабкий розвиток коріння, хлороз молодого листя, жилки залишаються зеленими
Бор (B)	Хлороз кінців і країв листя, що поширюється всередину, особливо між жилками, поки все листя не стає блідо-жовтим або білуватим; опіки країв листя і некроз із закручуванням країв, опадання листя