

**Теоретичні
основи
біоіндикації**

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 чуттєві до змін у навколишньому середовищі, які виникли під дією природних і антропогенних факторів, і добір видів-індикаторів із високим порогом чутливості до антропогенних змін.



Біоіндикація базується на спостереженні за складом та чисельністю видів-індикаторів.

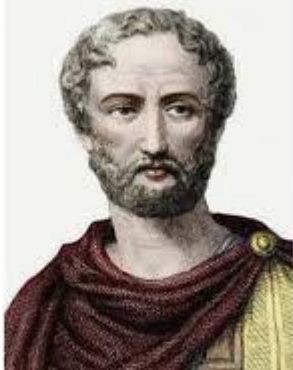


Перші біоіндикаційні спостереження були зроблені античними вченими, які звернули увагу на зв'язок морфології рослин з умовами їх зростання.

Теофраст у роботі «Природа рослин», описував, як за характером рослинності можна судити про властивості земель.



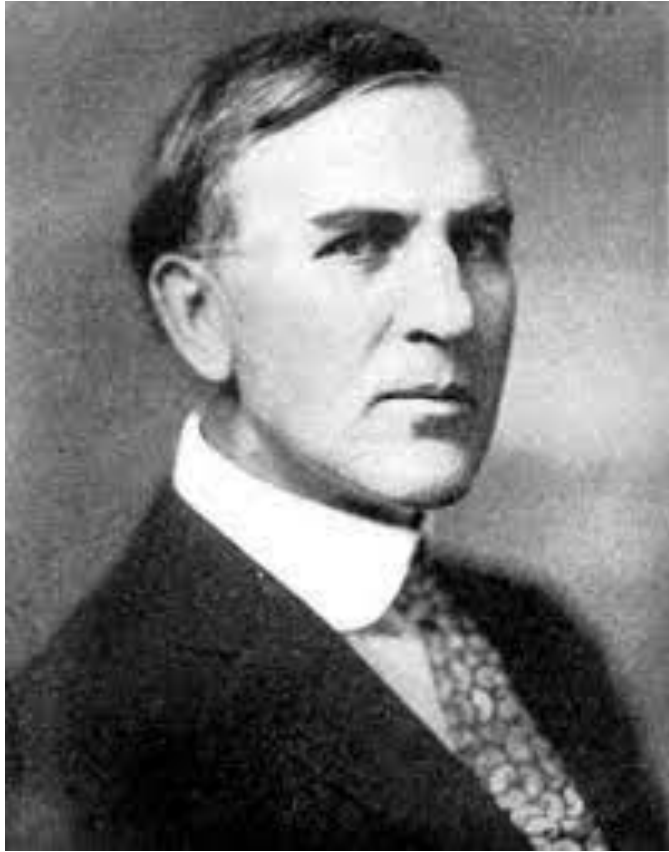
У працях Катона Старшого є думка про те, що густота травостою до переорювання може допомогти вибрати ділянки, придатні для посіву культур бобових



У висловлюваннях римського вченого й письменника Плінія Старшого 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.

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.

Перші схеми рослин-індикаторів гірських порід були складені **А.П. Карпинським** в кінці ХІХ ст., виділено новий напрямок вчення про комплексні індикатори – природні рослинні угруповання.



На початку ХХ ст. біоіндикатори широко використовувалися при вивченні клімату, сільськогосподарських угідь, гірських порід, ареалів ґрунтових вод, пошуку корисних копалин (роботи Ф. Клементса, Л.Г. Раменського, В.Н. Сукачова, Б.В.Виноградова та ін.).



Значну цікавість представляють роботи з використання рослинності як показника клімату; типів лісу; рівня залягання ґрунтових вод. Ідеї **В.І. Вернадського, А.П. Віноградова** обґрунтували можливості використання рослин і рослинних угруповань для індикації корисних копалин.



Розвиток природоохоронної індикації почався з другої половини ХХ ст. На початку **60-х рр.** сформувалося поняття **рекреаційної дигресії** – зміни природного середовища в місцях масового відпочинку, почалося використання лишайників при оцінці забруднення атмосферного повітря; **в 70-і рр.** досліджувався вплив випасу на травостої.

У кінці **ХХ в.** істотно зріс інтерес до вирішення екологічних проблем, були встановлені і широко використовуються в наш час групи видів-індикаторів різних антропогенних впливів – евтрофікації водних об'єктів, хімічного забруднення ґрунтів, впливу на біоту рекреаційного навантаження, впливу на живі організми пріоритетних полютантів, у тому числі ксенобіотиків.

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



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.



Існують принаймні три випадки, коли біоіндикація стає незамінною:

Фактор не може бути вимірний. Це особливо характерно для спроб реконструкції клімату минулих епох. Так, аналіз пилку рослин в Північній Америці за тривалий період показав зміну теплого вологого клімату на сухий прохолодний і далі заміну лісових угруповань на трав'яні. В іншому випадку залишки діатомових водоростей (співвідношення ацидофільних і базофільних видів) дозволили стверджувати, що в минулому вода в озерах Швеції мала кислу реакцію з цілком природних причин.



Існують принаймні три випадки, коли біоіндикація стає незамінною:

Фактор важко виміряти. Деякі пестициди так швидко розкладаються, що не дозволяють виявити їх вихідну концентрацію в ґрунті. Наприклад, інсектицид дельтаметрин активний лише кілька годин після його розпилення, в той час як його дію на фауну (жуків і павуків) простежується протягом декількох тижнів.



Існують принаймні три випадки, коли біоіндикація стає незамінною:

Фактор легко виміряти, але важко інтерпретувати. Дані про концентрацію в навколишньому середовищі різних поллютантів (якщо їх концентрація не надзвичайно висока) не містять відповіді на питання, наскільки ситуація небезпечна для живої природи. Показники гранично допустимої концентрації (ГДК) різних речовин розроблені лише для людини. Однак, очевидно, ці показники не можуть бути поширені на інші живі істоти. Є більш чутливі види, і вони можуть виявитися ключовими для підтримки екосистем. З точки зору охорони природи важливіше отримати відповідь на питання, до яких наслідків призведе та чи інша концентрація забруднювача в середовищі.

Відомо, що усі живі організми висувають до умов існування певні вимоги. Вони були вироблені в процесі розвитку виду і визначають його існування в умовах відповідної екологічної ніші. На живий організм завжди діє сукупність екологічних чинників. Широко розповсюджений поділ чинників на **абіотичні** (фізикогеографічні чинники екотопа – кліматичні, едафічні, орографічні, хімічні і т. д.) і **біотичні** (фітогенні, зоогенні, антропогенні і т.д.).



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. Угрупування 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.

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).





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. indicō – вказую, визначаю) – це оцінювання стану довкілля з використанням лишайників.



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



Фітоіндикація – (від грец. φύτον – 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.



Біоіндикація – метод виявлення й оцінки дії абіотичних і біотичних факторів за допомогою біологічних систем.

Є два основних методи біоіндикації:

- ❖ пасивний
- ❖ 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.



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.

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.

Відносні стандарти порівняння:

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

Біоіндикатори – це група особин одного виду або угруповання, наявність, кількість або інтенсивність розвитку яких у тому чи іншому середовищі є показником певних природних процесів або умов зовнішнього середовища



Рослини - індикатори мають такі переваги:

- ✓ підсумовують біологічно важливі дані щодо навколишнього середовища;
- ✓ здатні реагувати на короткочасні й залпові викиди токсикантів;
- ✓ реагують на швидкість змін, що відбуваються в довкіллі;
- ✓ вказують на місця накопичення забруднювачів та шляхи їх міграції;
- ✓ дають змогу розробляти оцінки шкідливого впливу токсикантів на людину й живу природу на ранніх стадіях та нормувати допустиме навантаження на екосистеми.

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.

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 швидко, 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

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.

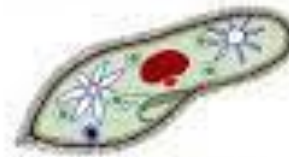


3.Зоологія. Вивчення певних видів, а також цілих угруповань може стати джерелом інформації, що стосується нагромадження хімічних речовин у тілі тварин.



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.

Клітини одноклітинних організмів виконують всі життєві функції



Інфузорія
туфелька



Хламідомонада



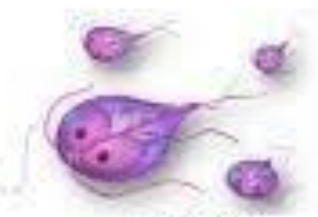
Трипаносома



Мукор



Евглена зелена



Лямблії

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 рефлексним 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.



Біоіндикатори можуть бути **прямими й непрямими**. Якщо реакція живого організму спричинена безпосередньо впливом зовнішнього фактору, то мова йде про **прямую індикацію**.

У **непрямих індикаторів** реакція виникає через систему опосередкованих взаємозалежних реакцій і прямо не зв'язана зі стресовим впливом.



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 полютантів 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.



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 %.

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.

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.

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.