

Лекція 2

Методи дослідження стану навколишнього середовища

План

Основні фізико-хімічні методи аналізу.

Методи оцінки забруднення водного середовища, ґрунтів і рослинності.

Методи оцінки забруднення ґрунтів.

Деякі недоліки контактних методів (фізичні, фізико-хімічні та хімічні) і переваги біологічних.

Основні фізико-хімічні методи аналізу

У сучасній екології широко застосовують дуже багато різних фізико-хімічних методів аналізу: діаліз, центрифугування, оптичні методи, різні види хроматографії, рН-метрію, гравіметрію, рефрактометрію, мас-спектрометрію, радіо імунні методи досліджень та ін. В даному розділі коротко розглянуто лише декілька основних і найбільш поширених в лабораторній практиці методів.

За метою їх використання, методи можна умовно поділити на: методи виділення речовин, їх концентрування, очищення, розділення компонентів, ідентифікації, якісного та кількісного визначення.

Хроматографічний аналіз – це метод розділення складних сумішей на окремі компоненти, які зберігаються без зміни їх попередніх властивостей. Хроматографічний метод аналізу був запропонований у 1903 році російським вченим ботаніком Михайлом Цветом. Він уперше застосував його для розділення пігментів рослин; стовпчик адсорбенту із забарвленими в різні кольори зонами назвав хроматограмою, а сам метод – хроматографічним аналізом. У найпростішому випадку при проходженні розчину який містить певні компоненти через колонку з шаром сорбенту внаслідок різних сорбційних властивостей компонентів суміші відбувається їх розділення по довжині колонки за рахунок багаторазового повторення сорбції, десорбції та інших процесів. Після вбирання речовин сорбентом останній промивають відповідним розчинником. Внаслідок промивання окремі компоненти суміші поступово вимиваються з колонки.

Розділення можна поєднати з одночасним кількісним визначенням певного показника фізичної властивості розчину, що витікає з колонки. Такою фізичною властивістю може бути теплопровідність, оптична густина, показник заломлення світла (рефракція), електропровідність, рН тощо. Одним з найкращих детекторів для хроматографії, на сьогодні, вважають мас-спектрометричний (прилади, відповідно, носять назву хромато-мас-спектрометри), він дозволяє ідентифікувати і визначити вміст практично будь-якої речовини у будь-якому субстраті, навіть якщо вона знаходиться у дуже малих (слідових) кількостях.

Із хроматографічних методів в екологічних дослідженнях використовують гель-хроматографію, іонообмінну, афінну, тонкошарову, газову, газорідинну та високоефективну рідинну хроматографію. Хроматографічний метод є універсальним, його можна застосовувати для виділення речовин, їх концентрування, очищення, розділення компонентів, ідентифікації, якісного та кількісного визначення.

Хроматографічні методи класифікують за наступними ознаками:

а) за агрегатним станом суміші, в якому відбувається її розділення на компоненти – газова, рідинна, газорідинна хроматографія;

б) за механізмом розділення – адсорбційна, розподільча, іонообмінна, осадова, окислювально-відновлювальна, адсорбційно-комплексоутворююча хроматографія;

в) за формою проведення хроматографічного процесу – колоночна, капілярна, площинна (паперова, тонкошарова, мембранна).

Для ідентифікації речовин, їх якісного та кількісного визначення в лабораторній практиці часто використовують **оптичні методи**: фотоелектроколориметричні, спектрофотометричні, флуоресцентні, поляриметричні та ін. Ці методи прості у використанні, експресні і доступні, вартість аналітичного обладнання порівняно не висока.

В цілому, серед оптичних методи методів екологічних досліджень провідна роль належить спектральному аналізу. Він є одним із фізико-хімічних методів якісного і кількісного визначення атомного та молекулярного складу речовин, заснованих на дослідженні спектрів, що поглинаються або випромінюються речовинами що аналізуються. В основу цієї групи методів покладено принцип вимірювання зміни інтенсивності світлового потоку. Залежно від довжини хвилі змінюється характер випромінювання, тому електромагнітний спектр поділено на зони: γ -, рентгенівські та космічні промені з довжиною хвилі 0,1 – 9 нм, ультрафіолетова зона – від 10 до 380 нм, видима зона – від 380 до 760 нм, інфрачервона зона – від 760 до 1100 нм і далі до 10^5 нм.

Спектральні методи дослідження поділяють на 2 групи: абсорбційні та емісійні. Кожну з груп ділять ще на дві підгрупи (рис. 2.1).

В основу абсорбційної спектроскопії покладено принцип вимірювання поглинання світла, яке проходить крізь досліджуваний розчин унаслідок абсорбції його досліджуваною речовиною. Вимірювання спектрів здійснюють на спеціальних спектральних апаратах, у яких пробу речовини вміщують між джерелом світла і фотоелементом, що реєструє світло. Кожна речовина поглинає світло з певною довжиною хвилі, отже, абсорбція світла є вибірковою.

Фотоелектроколориметрія — це вимірювання поглинання видимої частини спектра забарвленими розчинами.

Власне **спектрофотометрія** — це вимірювання поглинання (або пропускання) прозорих розчинів в частині ультрафіолетової (УФ), видимій та частині інфрачервоної (ІЧ) зон спектра (210-1100 нм). Метод зручний для вимірювання концентрацій речовин.

Іноколи використовують такий оптичний метод, як **нефелометрія**. Це метод вимірювання інтенсивності розсіяного (або поглинутого) суспензією світла.



Рисунок - Методи спектрального аналізу.

Нефелометричний і **турбідиметричний** методи аналізу базуються на утворенні в результаті реакції малорозчинних сполук, які залишаються в розчині, досить стабільних суспензій, дисперсних, колоїдних або каламутних розчинів. Розсіювання світла залежить від довжини хвилі значно менше, ніж поглинання, і змінюється з концентрацією розчину нелінійно. Під час турбідиметричного вимірювання визначення концентрації речовини проводять не за величиною розсіювання світла, а за поглинанням прямолінійного світлового потоку частинками дисперсного розчину. Метод власне нефелометрії використовують у випадках, коли кількість

речовини визначають за інтенсивністю світлового потоку, розсіяного завислими частинками дисперсного розчину. Розсіяне світло вимірюють у напрямку, перпендикулярному до основного світлового потоку.

Нефелометричні методи поступаються перед фотометричними тим, що розсіювання або поглинання дисперсної фази залежить не тільки від кількості частинок, а й від їхніх форм, розміру, характеру. Необхідною умовою для отримання коректних (правильних) результатів дослідження є стабільність суспензій. З моменту підготовки досліджуваного зразка до завершення вимірювань частинки речовини не повинні осідати або коагулювати, ще впливає на точність вимірювань.

Прилади, що ґрунтуються на вимірюванні світлопоглинання (абсорбції) речовин, називаються **абсорбціометрами**. До них належать фотоелектроколометри (далі ФЕК) і спектрофотометри (далі СФ). ФЕК дають змогу проводити вимірювання у видимій частині спектра. СФ дають змогу проводити вимірювання в широкому діапазоні хвиль від ультрафіолетового до інфрачервоного (210-1100 нм) і досліджувати забарвлені та безбарвні розчини у вузькій зоні спектра, у ділянці максимального поглинання монохроматичного потоку світла.

В основі абсорбційної спектроскопії лежать загальні принципи здатності речовин поглинати світлову енергію за законом Бугера-Ламберта-Бера.

$$I = I_0 \times e^{-\varepsilon c l},$$

де I – інтенсивність світла, що пройшло через кювету із розчином зразка; I_0 – інтенсивність монохроматичного променя світла, що падає на зразок речовини товщиною l , см; c – концентрація речовини; ε - молярний коефіцієнт екстинкції.

Логарифм відношення I_0/I називають **оптичною густиною речовини** (D , інколи позначається як E , або екстинкція, тобто послаблення світла):

$$D = \ln I_0/I = \varepsilon \times c \times l.$$

Пропускання речовини T виражається наступним чином:

$$T = I/I_0 \times 100\%.$$

Екстрагування – метод вилучення розчиненої речовини з розчину (досліджуваного зразка) за допомогою іншого розчинника, який не змішується з першим. Так за допомогою хлороформу можна вилучити з води переважну частину розчиненого в ній йоду, а за допомогою таких органічних розчинників як ефір, спирт, бензол, хлороформ та ін. екстрагувати ліпіди з біологічного матеріалу. Із суміші білки-вуглеводи фенолом можна екстрагувати білки, полісахариди при цьому не розчиняються, а трихлороцтовою або фосфорновольфрамною кислотою – вуглеводи, білки при цьому осаджуються.

Осадження проводять шляхом додавання до багатокомпонентного розчину відповідного реактиву, який утворює з речовиною що аналізується нерозчинну сполуку. Реактив додається по краплям і завжди з надлишком, для того, щоб бути впевненим, що осадження пройшло кількісно (повністю).

Фільтрування – це операція за допомогою якої можна механічно відділити тверде тіло від рідкого (нерозчинені сполуки або їх частинки від розчинених), або осад що знаходиться у розчині. Для цього використовують фільтри з різним розміром пор та виготовлені з різних матеріалів: паперу, пористого скла, азбесту тощо. Колоїдні частинки інколи проходять через паперові фільтри, у такому випадку застосовують ультрафільтри (мембранні фільтри), наприклад, гелі полімерів у вигляді плівок.

Седиментаційний метод ґрунтується на розділенні речовин під дією відцентрової сили. До нього відносять аналітичне і препаративне центрифугування. В екологічній лабораторній практиці широкого застосування набув метод аналітичного центрифугування. Він базується на тому, що різні молекули залежно від молекулярної маси, густини та форми осідають або

спливають з різною швидкістю, що дає змогу досить чітко їх диференціювати. Кожен клас частинок характеризується певною швидкістю їх седиментації (осідання) або спливання (флотації). Залежно від густини середовища, в якому відбувається розділення, можна досягти осадження або спливання частинок. Наприклад, для розділення білків кращим є метод седиментації, для ліпідів – флотації.

Центрифугування дуже широко застосовується під час проведення різних аналізів. Застосовують центрифуги різних типів і конструкцій – від стаціонарних (ультрацентрифуги) до настільних, портативних. Цим методом можна розділяти різні типи біологічних молекул (препаративне центрифугування), визначати їх молекулярну масу, розмір та форму, розділяти окремі субодиниці тощо (аналітичне центрифугування).

Рефрактометрія належить до фізичних методів аналізу. Сутність методу полягає у визначенні коефіцієнту рефракції (або показники заломлення) зразка, що досліджується (n), і визначенні концентрації діючої речовини (c) за калібрувальним графіком або спеціальною таблицею. Коефіцієнтом рефракції називають відношення синусу кута падіння променя світла до синусу кута його заломлення ($n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$). Метод простий у використанні, експресний і

достатньо точний, тому його часто використовують для визначення концентрацій білків, наприклад, загального вмісту білків в сироватці крові, та біологічно активних речовин у розчинах. Рефрактометри – прилади не дорогі за ціною, прості в експлуатації і наявні, практично, в будь-якій фізико-хімічній лабораторії.

Полярографія – це електрохімічний метод, що ґрунтується на отриманні та розшифруванні кривих залежності сили електричного струму (I) від напруги (U) що поступово змінюється: $I = f(U)$. Струм виникає під час окисно-відновних реакцій, що проходять на поверхні робочого електроду. Метод застосовується для аналізу речовин які здатні до електровідновлення або електро-окиснення. Під час проходження електричного струму в певному інтервалі напруги на полярограмах є ділянки, на яких сила струму пропорційна концентрації реагуючих речовин. За зміною висоти полярограм визначають концентрацію речовини. Вперше метод запропоновано у 1922 році професором Празького університету Ярославом Гайровським. В екології метод застосовують для визначення катіонів, аніонів, гормонів, амінокислот, вітамінів, вуглеводів та ін. В різних об'єктах навколишнього середовища. Полярографію використовують також при дослідженні білків-ферментів, за допомогою цього методу можна отримати дані про деякі функціональні групи білків (-SH, -NH₂, імідазольну групу), визначити каталітичну активність ферментів тощо.

Прикладом застосування різних методів може слугувати визначення концентрацій шкідливих домішок в атмосферному повітрі поблизу автомагістралей і у відпрацьованих газах двигунів. Аналізуються індивідуальні проби газу, взяті дискретно і при безперервних вимірах. Часто застосовують різні газоаналізатори. У конструкціях найбільш поширених аналізаторів газів використовуються різноманітні методи.

Таблиця 1 - Методи аналізу забруднення повітря

Метод аналізу	Речовина
Абсорбційний метод спектрального аналізу (інфрачервона та ультрафіолетова області спектра)	CO, O ₃
Полум'яно-іонізаційний	Вуглеводні, органічні речовини
Хемілюмінесцентний	NO, NO ₂ , O ₃
Флуоресцентний, полум'яно-фотометричний	SO ₂ , H ₂ S
Радіометричний, гравіметричний	Пил
Електрохімічний	CO, SO ₂ , H ₂ S

Методи оцінки забруднення водного середовища, ґрунтів і рослинності

Для оцінки рівня забруднення водного середовища використовуються традиційні прилади фізико-хімічного аналізу, а також хроматографи. Контролюється каламутність, колір, запах, твердість, питома електрична провідність, коефіцієнт світлопропускання, редокс-потенціал, активність водневих іонів (рН), рівень насичення киснем, активність і концентрація іонів різних речовин, що надходять у воду у вигляді забруднень, і 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 і обробки проб, виконання хімічного аналізу. Фізико-хімічні властивості води визначаються з використанням фотоколориметрія, атомно-абсорбційних, інфрачервоних, калориметричних спектрометрів, іонометрії, комплексних аналізаторів якості води.

Для контролю стану поверхні земель, якісного і кількісного складу ґрунтів і *ґрунтів*, оцінки рівня і складу забруднень використовуються прилади та обладнання, наведені вище (аналіз водної витяжки ґрунту), а також ряд спеціальних приладів, призначених для визначення щільності, властивостей ґрунтів (твердомір, глибинний гамма-щільномір, зсувне прилад, 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 з 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 в 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 решт листя, міжжилковий 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 по водній витяжці в лабораторних умовах методами, розглянутими вище.

Методи оцінки забруднення ґрунтів

Ґрунтовий покрив Землі являє собою найважливіший компонент біосфери. Саме ґрунтова оболонка визначає багато процесів, що відбуваються в біосфері. Найважливіше значення ґрунтів складається в акумулюванні органічної речовини, різних хімічних елементів, а також енергії. Ґрунтовий покрив виконує функції біологічного поглинача, руйнівника і нейтралізатора різних забруднень, а так само ґрунті відведена найважливіша роль в житті суспільства, тому що вона являє собою джерело продовольства, що забезпечує 95-97% продовольчих ресурсів для населення планети. Якщо ця ланка біосфери буде зруйновано, то сформоване функціонування біосфери безповоротно порушиться. Надзвичайно важливим є вивчення глобального біохімічного значення ґрунтового покриву, його сучасного стану й зміни під впливом антропогенної діяльності, так як ефективний захист навколишнього середовища від небезпечних хімічних реагентів неможлива без достовірної інформації про ступінь забруднення ґрунтів.

Оцінку здатності ґрунту виконувати функції, що забезпечують стабільність окремих біоценозів і біосфери в цілому отримують за допомогою спеціальних методів дослідження забруднених ґрунтів. Розглянемо деякі з них.

Оцінка небезпеки забруднення ґрунтів

Перш ніж розглянути методи оцінки забруднення ґрунтів необхідно познайомитися з деякими показниками і положеннями, що визначають ступінь небезпеки забруднюючих речовин, а також дають оцінку небезпеки забруднення ґрунтів.

Принцип нормування хімічних речовин у ґрунті значно відрізняється від принципів, покладених в основу нормування їх у водоймах, атмосферному повітрі, харчових продуктах. Потрапили в ґрунт хімічні речовини надходять в організм людини головним чином через контактуючі з ґрунтом середовища: воду, повітря і рослини (в останньому випадку за біологічного ланцюга ґрунт - людина). Тому при нормуванні хімічних речовин у ґрунті враховується не тільки та небезпека, яку представляє ґрунт при безпосередньому контакті з нею, але й наслідки вторинного забруднення контактуючих з ґрунтом середовищ.

Встановлення ГДК забруднюючих речовин у ґрунті знаходиться в початковій стадії, тому до теперішнього часу встановлено ГДК лише для 30 шкідливих речовин, переважно отрутохімікатів.

У зв'язку з тим, що шкідливі речовини надходять в організм людини з харчових цілей, встановлені допустимі залишкові кількості (ДОК) пестицидів у ґрунті, харчових і кормових продуктах (таблиця 2).

Таблиця 2 - ГДК і ДОК деяких речовин у ґрунті

Речовина	ГДК, мг / кг	ДОК, мг / кг
Хлорофос	0,5	1,0
Карбофос	2,0	1,0
Прометрин	0,5	0,1
Поліхлоркамфер	0,5	0,1
Гексахлорциклогексан	1,0	1,0

Результати гігієнічних досліджень забруднених ґрунтів дозволяють оцінювати ступінь небезпеки забруднення шкідливими речовинами за рівнем їх можливого впливу на системи «ґрунт - рослина», «ґрунт - мікроорганізми, біологічна активність», «ґрунт - ґрунтові води», «ґрунт - атмосферне повітря» і опосередковано - на здоров'я людини. З гігієнічної позицій небезпека забруднення ґрунту визначається рівнем можливого її негативного впливу на

контактуючі середовища, харчові продукти і безпосередньо на людину, а також на біологічну активність ґрунту і процеси її самоочищення.

І саме ГДК хімічних речовин у ґрунті є основним критерієм гігієнічної оцінки небезпеки забруднення ґрунтів шкідливими речовинами.

Для оцінки забруднення небезпеки забруднення ґрунту вибір хімічних речовин - показників забруднення - проводиться з урахуванням:

- специфіки джерел забруднення, що визначають комплекс хімічних елементів, що беруть участь у забрудненні ґрунтів досліджуваного регіону (таблиця 2);
- пріоритетності забруднювачів у відповідності зі списком ГДК хімічних речовин у ґрунті та їх класів небезпеки;
- характер землекористування.

Якщо немає можливості врахувати весь комплекс хімічних речовин, що забруднюють ґрунт, оцінку проводять за найбільш токсичних речовин, тобто відносяться до найбільш високого класу небезпеки.

При відсутності в документації класу небезпеки хімічних речовин, пріоритетних для ґрунтів досліджуваного району, їхній клас небезпеки J може бути визначений за такою формулою:

$$J = \lg \frac{AS}{\alpha M(\text{ГДК})}$$

де A - атомна вага відповідного елемента; S - розчинність в воді хімічної сполуки, мг / л; M - молекулярна маса хімічної сполуки, в яке входить даний елемент; α - середнє арифметичне з шести ГДК хімічних речовин у різних харчових продуктах (м'ясо, риба, фрукти, хліб, овочі).

При оцінці небезпеки забруднення ґрунтів хімічними речовинами слід враховувати наступне:

- небезпека забруднення тим більше, чим вище фактичні рівні вмісту контрольованих речовин у ґрунті в порівнянні з ГДК;
- небезпека забруднення тим більше, чим вище клас небезпеки контрольованих речовин;
- буферність ґрунту, що впливає на рухливість хімічних елементів, що визначає їх вплив на контактуючі середовища.

Оцінка небезпеки забруднення ґрунту населених пунктів у свою чергу визначається:

- Епідеміологічною значимістю забрудненого хімічними речовинами ґрунту;
- Роллю забрудненого ґрунту як джерела вторинного забруднення приземного шару атмосферного повітря і при її безпосередньому контакті з людиною;
- Значимістю ступеня забруднення ґрунту як індикатор забруднення атмосферного повітря.

Оцінка рівня забруднення ґрунтів як індикаторів несприятливого впливу на здоров'я населення проводиться за показниками, розроблених за сполучених геохімічних і геогігієнічних дослідженнях навколишнього середовища міст. Такими показниками є коефіцієнт концентрації хімічної речовини K_z і сумарний показник забруднення Z_c , який дорівнює сумі коефіцієнтів концентрацій хімічних елементів:

$$Z_c = \sum_i^n K_{ci} - (n - 1)$$

де n - число сумованих елементів.

Оцінка небезпеки забруднення ґрунтів комплексом металів за показником Z_z , яка відобразить диференціацію забруднення повітряного басейну міст, як металами, так і іншими найбільш поширеними інгредієнтами (пил, оксид вуглецю, оксиди азоту), проводиться за оцінною шкалою, наведених у таблиці 3. Градації оціночної шкали розроблені на основі

вивчення показників стану здоров'я населення, що проживає на території з різним рівнем забруднення ґрунтів.

Таблиця 3 - Орієнтовна оцінна шкала небезпеки забруднення ґрунтів за сумарним показником забруднення Z_c

Категорія забруднення ґрунтів	Значення Z_c	Зміни показників здоров'я населення в осередках забруднення
Допустима	Менше 16	Найбільш низький рівень захворювання дітей і мінімальна частота зустрічальності функціональних відхилень
Помірно небезпечна	16 ... 32	Збільшення рівня загальної захворюваності
Небезпечна	32 ... 128	Збільшення рівня загальної захворюваності, числа часто хворіючих дітей, дітей з хронічними захворюваннями, порушеннями функціонального стану серцево-судинної системи
Надзвичайно небезпечна	Понад 128	Збільшення рівня загальної захворюваності дитячого населення, жінок з порушенням репродуктивної функції (збільшення числа передчасних пологів та ін.)

Деякі недоліки контактних методів (фізичні, фізико-хімічні та хімічні) і переваги біологічних

Контактні методи (фізико-хімічні ...) вимагають досить складного і дорогого обладнання, спеціальних лабораторій і добре навченого персоналу. В країнах із слаборозвиненою матеріально-технічною базою ці аналізи часто доволі тривалі по часу, матеріало- і трудовитратні. Інтерпретація результатів не завжди адекватна екологічній ситуації. Крім того, користуючись інструментальними методами дослідження, можна визначити ті чи інші характеристики об'єкту дослідження (проби повітря, води, ґрунту, біоматеріалу тощо) **лише на момент відбору проб**. Однак лишайники, наприклад, здатні накопичувати радіоактивні елементи, мікроелементи, вміст радіонуклідів у них може бути у 10 разів вищий, ніж у трав'янистих рослинах. Лишайники нагромаджують газоподібні й тверді речовини з атмосфери практично постійно і необмежено. Тому, відстежуючи процеси їх накопичення або відсутність, можна оцінити рівень забруднення середовища.

Під впливом забруднень довкілля змінюються еколого-фізіологічні ознаки: пігментація, забарвлення рослин. Їх спричиняє надлишок токсичних солей у ґрунті або нестача поживних речовин. Наприклад, галофіти при помірному підвищенні засолення мають насичений зелений колір; за значної кількості солей у ґрунті – сіро-синюватий; при засоленні за умов недостатнього зволоження – оранжево-червоний.

Підсумок

Біоіндикація дозволяє визначати не лише зміни окремих фізичних або хімічних параметрів, а й цілісні системні зміни в біоценозах, прогнозувати подальший розвиток подій. Рослинність може бути використана не лише як індикатор окремих факторів середовища, а також як показник сумарних умов: типів ґрунту чи клімату, гірських порід, сільськогосподарських угідь. Біоіндикаторами можуть бути лише ті рослини, які помітно реагують на аномалії. Зовнішні подразники впливають на кислотність середовища, щільність коріння.

Аналогічно в якості біоіндикаторів можуть слугувати тварини, гриби, мікроорганізми. На біооб'єктах найкраще спостерігати безпосередню дію і віддалені наслідки впливу того чи іншого **полютанта** (забруднювача) або **ксенобіотика** (речовина чужорідна для біосфери, яка природою не синтезується, наприклад пестициди, мийні засоби, мінеральні добрива ...).

Таким чином, перевагами методів біоіндикації є те, що вони:

- підсумовують біологічно важливі дані щодо навколишнього середовища;
- здатні реагувати на короточасні 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.

До **недоліків методів біоіндикації** слід віднести те, що вони не дають інформації про об'єктивні, фізико-хімічні особливості стресового фактору, що діє; вони потребують, як правило, більшої повторності для отримання статистичне значущих результатів.

Отже, біоіндикація має певні **переваги** як метод отримання безпосередньої інформації про зміни стану біоти в конкретних умовах забруднення, але він повинен поєднуватись з хімічними й геофізичними дослідженнями для отримання не лише якісних, а й кількісних показників.