

Лекція 3

Біоіндикація як метод екологічного дослідження

План

Вступ.
Біоіндикація як метод екологічного дослідження.
Основні принципи біоіндикації.
Метод біоіндикації нанорозмірних об'єктів.
Ліхеноіндикація.
Основи ентомобіоіндикації.
Оцінювання реакції тварин на забруднення.

Вступ

В зв'язку з глибокою трансформацією природного середовища, що здійснюється під дією антропогенного впливу, який за своїми масштабами вийшов на планетарний рівень, а за силою та швидкістю випереджають вплив природних факторів, загострюються і стають актуальними проблеми збереження екосистеми та біосфери в цілому.

Визначення біологічно значимих антропогенних навантажень на основі реакцій на них живих організмів та їх угруповань пов'язано з біоіндикацією. Значимість рослинного покриву як індикатора стану екосистеми є в тому, що він дуже чутливо реагує на зміну екологічних факторів. Достатньо важливим є те, що він відображує емерджентний характер змін властивостей екосистем в залежності від рівня їх організації. **Емерджентність** - виникнення, поява нового (часто несподіване), в теорії систем - наявність у будь-якої системи особливих властивостей, не властивих її підсистемам і блокам, а також сумі елементів, не пов'язаних системоутвірними зв'язками; неможливість зведення властивостей системи до суми властивостей її компонентів. Такі ознаки визначають придатність біоіндикації для екологічних досліджень, експертиз, прогнозування поведінки, стану та розвитку екосистем.

Найбільшого впливу господарської діяльності людини зазнають екосистеми міста. Тому важливим є контроль за станом навколишнього середовища та своєчасний аналіз забрудненості території міста. В деякій мірі ці питання дозволяє вирішити біоіндикаційна оцінка.

Біоіндикація як метод екологічного дослідження

Системи моніторингу, побудовані на основі дослідження поведінки рослин і тварин, дають змогу оцінити біологічні ефекти від впливу забруднення повітря, їх просторовий розподіл, можливе нагромадження на значних територіях.

У деяких видів рослин і тварин змінюються особливості розвитку (швидкість росту, процес цвітіння, утворення плодів, інтенсивність забарвлення та ін.) у відповідь на різні подразнюючі фактори. Ці властивості людство помітило уже давно і використовувало для практичних потреб. У зв'язку з загальною екологізацією різних наукових напрямів, людського мислення загалом методи біоіндикації усе частіше використовують сучасні науковці, зокрема і в моніторингу навколишнього середовища.

Біоіндикація (грец. *bios* - життя лат. *indico* - вказую) - оперативний моніторинг навколишнього середовища на основі спостережень за станом і поведінкою біологічних об'єктів (рослин, тварин та ін.).

Цей метод дедалі поширюється, оскільки рослини - індикатори мають такі **переваги**:

- 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.

Біоіндикація використовується в екологічних дослідженнях, як метод виявлення антропогенного навантаження на біоценоз. Метод біоіндикаторів заснований на дослідженні впливу екологічних факторів, що змінюються, на різні характеристики біологічних об'єктів і систем. У якості біоіндикаторів вибирають найбільш чутливі до досліджуваних факторів біологічні системи або організми. Зміни в поведженні тест-об'єкта оцінюють у порівнянні з контрольними ситуаціями, прийнятими за еталон. Наприклад, при оцінці екологічного стану поверхневих вод у якості біоіндикаторів використовують спостереження за поведженням дафній, моллюсків, деяких риб.

Ряд рослин-індикаторів реагує на підвищені або знижені концентрації мікро- і макроелементів у ґрунті. Це явище використовується для попередньої оцінки ґрунтів, визначення можливих місць пошуку корисних копалин.

Один зі специфічних методів моніторингу забруднення навколишнього середовища - біоіндикація, визначення ступеня забруднення геофізичних середовищ за допомогою живих організмів, біоіндикаторів. Живі індикатори не повинні бути занадто чутливими і занадто стійкими до забруднення. Необхідно, щоб у них був досить тривалий життєвий цикл. Важливо, щоб такі організми були широко поширені по планеті, причому кожен вид повинний бути присвячений до визначеного місцеперебування. Лишайники цілком відповідають усім цим вимогам. Вони реагують на забруднення інакше, чим вищі рослини. Довгостроковий вплив низьких концентрацій забруднюючих речовин викликає в лишайників такі ушкодження, що не зникають аж до загибелі їхніх сланей. Це, видимо, зв'язане з тим, що лишайники відновляють свої клітини дуже повільно, у той час як у вищих рослин ушкоджені тканини замінюються новими досить швидко. Завдяки цілому ряду біологічних особливостей лишайники є добрими індикаторами зміни стану навколишнього середовища в умовах його забруднення двоокисом сірки, фторидами, лужним пилом, важкими металами.

Біоіндикація має ряд переваг перед інструментальними методами. Вона відрізняється високою ефективністю, не вимагає великих витрат і дає можливість характеризувати стан середовища за тривалий проміжок часу.

Фактори середовища досить строго визначають, які організми можуть жити в даному місці, а які не можуть. Враховуючи це, ми можемо використати обернену закономірність і судити про фізичне середовище організму, який в 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*).

Отже, **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.

Біологічну індикацію широко використовують сьогодні для оцінки забруднення навколишнього середовища, яке "усуває" з природних екологічних ніш нестійкі до факторів забруднення види нижчих і вищих рослин, а також представників фауни .

Біоіндикатори, біологічні індикатори – організми, присутність (наявність), кількість або інтенсивний розвиток яких є показником природних процесів або умов зовнішнього середовища. Так, скупчення рибоїдних птахів є показником біоіндикації місць, де водиться риба, за складом планктону можна передбачити, який буде вилов риби. За складом флори і фауни вод можна визначити придатність води для пиття та з'ясувати ефективність роботи очисних споруд. За допомогою індикаторних рослин та мікроорганізмів можна дати орієнтовну оцінку якості ґрунту. Тварин, рослини, мікроорганізми, використовують при космічних дослідженнях як біоіндикатори для з'ясування впливу факторів космічного простору на організми.

Під впливом забруднень довкілля змінюються еколого-фізіологічні ознаки: пігментація, забарвлення рослин. їх спричиняє надлишок токсичних солей у ґрунті або нестача поживних речовин.

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 відомостей.

Отже, у зв'язку з потребою проведення глобального моніторингу, використання індикаційних можливостей біологічних об'єктів набуває все більшого значення. Рослини-індикатори використовуються як для виявлення окремих забруднювачів, так і для спостереження за загальним станом навколишнього середовища.

Основні принципи біоіндикації

Всі біологічні системи - організми, популяції та біоценози в ході свого розвитку пристосувались до комплексу факторів певної території. Вони заволоділи всередині біосфери певною областю, екологічною нішею, в якій знаходять оптимальні умови існування і можуть нормально харчуватись та розмножуватись. Кожен організм володіє в відношенні кожного діючого на нього фактору генетично детермінованим, філогенетично набутим, унікальним фізіологічним діапазоном толерантності, в межах якого цей фактор є придатний для нього. Якщо фактор відрізняється надто низькою або надто високою інтенсивністю, але ще не летальний, то організм знаходиться в *фізіологічному несимумі*. В обстеженій області інтенсивності фактору, особливо сприятливої для даної особи, організм існує в умовах *фізіологічного оптимума*.

Існують різні форми біоіндикації. Якщо дві однакові реакції викликані різними антропогенними факторами, то говорять про *неспецифічну біоіндикацію*. Якщо ж ті чи інші зміни можна пов'язати тільки з одним фактором, мова йде про *специфічну біоіндикацію*.

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 нормальний рівень, частіше за все проходить на рівні екофізіологічних або біоценотичних процесів.

В природі всі види біоіндикації включені в ланцюг послідовно протікаючих реакцій і процесів. 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 безпосередньо задіяних елементів. В цьому випадку ми маємо справу з непрямою біоіндикацією і біоіндикатором. Часто бажано завчасно виявити біологічну дію антропогенного фактору, для того щоб при відомих умовах мати можливість впливати на цю дію. Присутність дуже чутливих біоіндикаторів приводить до ранньої індикації, коли реакція проявляється при мінімальних дозах за короткий проміжок часу і проходить за короткий проміжок часу і проходить у місці дії фактору на елементарні молекулярні і біохімічні процеси.

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

I тип: біоіндикатор дає через певний час, на протязі 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 і сильна, але продовжується деякий час після чого різко зникає

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

IV тип: після миттєвої сильної реакції спостерігається її припинення, спочатку швидко, потім більш повільно.

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

VI тит: реакція V-го типу багаторазово повторюється; виникає осциляція біоіндикаторних параметрів.

Біоіндикація може використовуватися на різних рівнях організації живого (макромолекула, клітина, орган, організм, популяція, біоценоз). З підвищенням рівня організації біологічних систем зростає і їх складність, так як одночасно все більше ускладнюються їх взаємозв'язки з факторами місцезнаходження. При цьому біоіндикація на нижчих рівнях діалектично включається в біоіндикацію на вищих рівнях, виступаючи на них в новій якості. В той час як на нижчих рівнях організації біологічних систем переважають прямі і частіше специфічні види біоіндикації на вищих рівнях панує непряма біоіндикація.

В зв'язку зі складністю біологічних систем нерідко буває можлива лише неспецифічна біоіндикація. Однак саме тут відкриваються шляхи до виявлення комплексних стресових дій і тим самим до оцінки допустимих навантажень на складну екосистему. Інколи біоіндикаційні методи, які легко використовуються на нижчих організаційних рівнях, так ускладнюються в більш комплексних системах, що розрізнити вплив фактору стає неможливим. З іншої сторони, біоіндикаторні ознаки, які виявляються на вищому організаційному рівні, зв'язані з відповідними змінами на попередніх рівнях. При пошуку можливостей ранньої біоіндикації слід враховувати цю закономірність. В порівнянні з окремими організмами екосистеми реагують на стресові впливи частіше всього з запізненням і в сильно зміненій формі.

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

- 1-й рівень: біохімічні і фізіологічні реакції;
- 2-й рівень: анатомічні, морфологічні, біоритмічні і поведінкові відхилення;
- 3-й рівень: флористичні і фауністичні зміни;
- 4-й рівень: ценотичні зміни;
- 5-й рівень: біогеоценотичні зміни;
- 6-й рівень: зміна ландшафтів.

Для біоіндикації властиві в основному два методи - пасивний і активний моніторинг. В першому випадку у вільно живучих організмів вивчаються видимі або невидимі пошкодження чи відхилення від норми, які є ознаками стресового впливу. При активному моніторингу виявляють ті ж самі впливи на тест-організмах, які знаходяться в стандартних умовах на досліджуваній території.

При біоіндикації слід враховувати чотири **основні вимоги:**

1. Відносна швидкість проведення.
2. Одержання достатньо точних і відтворених результатів.
3. Присутність об'єктів, які застосовується в біоіндикації, по можливості в великій кількості і з однорідними властивостями.
4. Діапазон похибки в порівнянні з іншими методами тестування не більше 20 %.

Метод біоіндикації нанорозмірних об'єктів

На сьогоднішній день існує багато методів визначення якості навколишнього середовища. Це різні методи кількісного хімічного аналізу (КХА), фізико-хімічного аналізу, космічного аналізу, ГІС-технології (геоінформаційні системи). Одним з найбільш простих, підказаних самою природою методом визначення якості навколишнього середовища є біоіндикація - порівняно новий і досить ефективний метод аналізу стану довкілля. В даний час з'явилася, велика кількість робіт з біоіндикації на клітинному, тканинному, організмовому, популяційному, біоценотичному рівнях.

Метод біоіндикації на клітинній культурі відповідає світовому рівню. Цей метод розробляється в США, Франції, Великобританії та інших країнах і використовується як експрес-метод в токсикології, фармакології, косметології.

Головна перевага культивуємих клітин, які повністю використовуються клітинними біологами, це можливість прижиттєвого спостереження клітин за допомогою мікроскопа. Важливим є те, що при роботі з культурами клітин в експерименті використовуються здорові клітини і що вони зберігають життєздатність протягом усього експерименту.

Культури клітин являють собою гомогенну генетично однорідну популяцію клітин, що ростуть в постійних умовах. Дослідник може змінювати ці умови в певних межах, що дозволяє йому оцінювати вплив на ріст клітин різних факторів - рН, температури, концентрації амінокислот, вітамінів, антропоєкологічних факторів. Зростання може бути оцінений протягом короткого періоду часу. Ці реальні переваги, порівняно з дослідженнями на тваринах.

Оскільки клітини в культурі легко доступні для різних маніпуляцій, то при роботі з ними отрути, гормони, біостимулятори, протектори, віруси і т.д. можуть бути введені в заданій концентрації і протягом заданого періоду часу. Концентрації цих агентів можуть бути на порядок менше, ніж при експерименті на тваринах.

Реалізація біомоніторингу супроводжується комплексом проблем, в тому числі і пошуком нових біоіндикаторів. Проведені дослідження повітря, на наявність нанорозмірних об'єктів актуалізували проблему пошуку біоіндикаторів рослин - природних накопичувачів нанорозмірних об'єктів. Новизна досліджень визначається слабкою розробленістю і відсутністю системних досліджень в галузі вивчення біоіндикаторів на нанорозмірні об'єкти, а практична значущість визначається відносною дешевизною і зручністю використання і переміщення рослин в порівнянні з іншою апаратурою, для накопичення нанорозмірних об'єктів з метою їх подальшого вивчення.

Головними завданнями нанотехнологій в біоіндикації є:

1. Виявити рослини - природні накопичувачі нанорозмірних об'єктів.
2. Встановити взаємозв'язок між наявністю нанорозмірних об'єктів в повітрі і їх наявністю в досліджуваних рослинах.
3. Оцінити вплив нанорозмірних об'єктів на генезис рослини (накопичення інформації про зовнішні прояви) - встановити зовнішні ознаки прояву дії нанорозмірних частинок на рослину.

При організації дослідження на першому етапі, виходять з того, що різні рослини, в силу особливостей будови первинної захисної покривної тканини здатні накопичувати різні за фізичними характеристиками нанорозмірні об'єкти. Планований другий етап досліджень пов'язаний з припущенням, про те, що різні рослини, в силу особливостей функціонування, здатні накопичувати різні за властивостями нанорозмірні об'єкти.

Підводячи підсумок сказаному можна сказати, що метод біоіндикації з використанням клітинних культур з успіхом може замінити досліди на лабораторних тварин з наступних причин:

1. Дешевизна і доступність використовуваного матеріалу (для вирощування клітинної культури досить вилучити клітини органів у 1-2 тварин і отримані клітинні лінії можуть використовуватися протягом тривалого періоду, на відміну від біомоніторингу, у якому гинуть десятки і сотні тварин).
2. Можливість швидкого отримання результатів і прижиттєвого нагляду за моделлю протягом усього експерименту.
3. Висока кореляція результатів *in vitro* і *in vivo*.
4. Отримані клітинні лінії зберігають високу видову, органо-тканинну специфічність протягом усього експерименту, що дозволяє проводити на них практично всі експерименти.

Метод біоіндикації на клітинних культурах може використовуватися:

- в екології - для інтегральної оцінки шкідливого впливу на організм людини і тварин антропоєкологічних і космофізичних несприятливих факторів, моніторингу геопатогенних зон;

- у фармакології - для вивчення фармакологічних властивостей нових препаратів та прогнозування безпеки їх застосування;
- в токсикології - для вивчення гострої і хронічної токсичності різних речовин.

Ліхеноіндикація

Один з ведучих ліхенологів, Х. Трас, розділив методи ліхеноіндикації (тобто індикації за допомогою лишайників) на три групи. На перше місце він поставив методи, що дозволяють вивчати зміни, що відбуваються в будівлі і життєвих функціях лишайників під впливом забруднення. Методи другої групи базуються на описі видів лишайників, що живуть у районах з різним ступенем забруднення атмосфери. Третя група включає методи вивчення цілих лишайникових співтовариств у забруднених районах і складання спеціальних карт. При використанні методів 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 при проведенні своїх досліджень. Так, вивчаючи поширення викидів сталеливарних заводів у Північній Фінляндії, учені зібрали зі стовбурів дерев гіпогімнію роздуту, що виростала на різних відстанях від заводів. В міру наближення до джерела викидів сильно мінялися такі показники стану рослини, як кислотність клітинного соку, електропровідність, зміст хлорофілу, сірки і 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. В міру руйнування кліток колір стає спочатку коричневим, потім жовтогарячим і потім білим.

Щоб визначити, наскільки швидко зміниться лишайник під впливом забруднення, користуються методом трансплантації, тобто пересадження 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. Вже в перші місяці перебування на новому місці лишайники сполотніли, їх апотеції утратили свій ошатний вид, ріст припинився. Через рік усі лишайники загинули. Довше інших протрималася нефрома арктична. Існує кілька способів трансплантації. Надґрунтові лишайники переносять разом із ґрунтом, вирізуючи ділянки розміром 20X20 або 50X50 див. Рунисті види можна переносити в спеціальних пластмасових горщиках або підвішувати в сіточках. Епіфітні види переносять разом з гілками або шматочками кори, на яких вони росли. Для висікання дисків з кори користуються особливими бурами діаметром 4-6 см. У забрудненому районі кору і гілки з епіфітами прибивають на дерева тих же порід, що і 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 можна розділити на три категорії:

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

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 корового шаруючи, проникність кліток, присутність деяких лишайникових речовин, що нейтралізують кислотні випадання. На основі індивідуальних особливостей лишайників були зроблені шкали, що дозволяють

установити рівень забруднення конкретного району по 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, удаліні від населених пунктів) і в слабко окультуреній місцевості (у лісових масивах поруч з 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 і переважне в даному районі напрямки вітрів, що несуть згубні гази і пил.

Ліхенологічні карти дозволяють 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 і замінити більш точні фізико-хімічні методи дослідження повітря, для яких необхідна дорога апаратура. Правда, для складання карт необхідно досить повно вивчити ліхенофлору в досліджуваному районі. Припустимо, потрібно скласти опис епіфітних лишайників у якому або парку. Для цього, рухаючись по алеї, описують ті лишайники, що ростуть по обох її сторонах на спробних площадках, на кожному п'ятому (або третім або десятому) дереві. Спробна площадка обмежується на стовбурі дерев'яною рамкою, наприклад розміром 10X10 см, що розділена усередині тонкими дротиками на квадратики по 1 см². Відзначають, які види лишайників зустрілися на ділянці, який відсоток загальної площі рамки займає кожен зростаючий там вид. Крім того, відзначають життєздатність кожного зразка: є чи в нього плодові тіла, здорова або хирлява слань. На кожному дереві описують мінімум чотири спробні площадки: дві в підставі стовбура (з різних його сторін) і дві на висоті 1-1,5 м. У цілому по алеї виходить значне число описів, а по всьому парку - і того більше. Одні карти відбивають присутність якогось одного виду лишайників на даній території, інші подають додаткову інформацію про його достаток у різних крапках, на третіх позначене кількість видів лишайників, що виростають у зоні дослідження.

Ліхеноіндикація - один з 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 установити конкретну причину тих або інших ушкоджень лишайників. Простий вплив температури або вологості може перебивати вплив забруднення, особливо якщо концентрація забруднюючих речовин невелика.

Основи ентомобіоіндикації

У сучасних умовах глобальний характер впливу людини на біосферу у поєднанні з підвищеним забрудненням окремих регіонів створює особливі умови для існування природних екосистем. У зв'язку з цим виникає необхідність принципово нових підходів до вирішення завдань оцінки стану екосистем і розробки заходів щодо їх охорони.

Актуальною проблемою стає оцінка впливу діяльності людини на окремі екосистеми. Для вирішення цієї задачі одним із перспективних напрямів є розробка критеріїв для використання організмів-біоіндикаторів (біомоніторів), які об'єктивно відбивають вплив антропогенної діяльності на організми, їх популяції та угруповання.

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. У 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).

- Аналіз фазових портретів комах із різним типом динаміки чисельності (складається шляхом графічної інтерпретації щільності популяції та коефіцієнта розмноження) дозволяє провести імітаційне моделювання багаторічної динаміки окремих 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.

- Рівень асиметрії білатеральних морфологічних ознак - різке збільшення рівня асиметрії у популяціях спостерігається у двох випадках: при порушенні генного балансу популяції за рахунок імміграції особин із популяцій, адаптованих до інших умов існування; при впливі незвичайних умов середовища (індустріального забруднення, температури, радіації тощо).

- Статева структура популяцій. На співвідношення статей у комах можуть впливати різні фактори. Установити, який фактор вирішальний тут дуже важко, але при детальному дослідженні популяцій модельного виду в екосистемах можна за індексом співвідношення статей встановити ступінь їх антропогенної трансформації.

- Просторовий розподіл комах у біоценозах. На просторовий розподіл комах у біоценозах впливають мікрокліматичні умови, структура ландшафту та антропогенні фактори, зокрема вплив пестицидів, солей важких металів, агро- та лісотехнічні заходи.

- Сезонна динаміка. Кліматичні фактори, що викликають фотоперіодичні та температурні реакції комах, обумовлюють їх річні цикли. У різних видів вони різні. Співвідношення груп, виділених за типом активності імаго у 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 убіквістних (еврібіонтних) видів, які збільшуються у 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.

- Виявлення основних груп комах за відношенням до фактора антропогенного впливу. За своїм відношенням до антропогенного фактора 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 зустрічаються як у природних, так і в антропогенних ландшафтах, але слабкопорушених. Антропофобні види зустрічаються тільки у природних ландшафтах.

Ступінь антропогенного навантаження на навколишнє середовище можна визначати і 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.

Враховуючи те, що багато пестицидів і солей важких металів і радіонукліди мають терато- та мутагенний ефект можна застосовувати цитогенетичні методи для їх виявлення (наприклад, тестування хромосомних аберацій у соматичних клітинах).

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

При виборі району дослідження обґрунтовують критерії чистоти та забрудненості середовища, рівні токсичної активності середовища, шляхи міграції токсикантів у трофічних ланцюгах екосистеми. Для комплексної оцінки стану екосистеми спостереження за ентомобіоіндикаторами повинні проводитися як мінімум за трьома градаціями антропогенного навантаження - слабкій, середній і сильній. При підборі видів-біомоніторів урахуються природно-географічні умови ландшафту та його біологічні ресурси.

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

Перед проведенням еколого-ентомологічного моніторингу проводять детальне вивчення біологічних параметрів майбутніх видів-біоіндикаторів. Потім складається інтегрована програма діагностики екосистеми з використанням методів ентомобіоіндикації. Дана програма повинна включати систему тестів для аналізу стану екосистеми, яка базується на сукупності ентомобіоіндикаторів і особливостях їх реакції відповіді на забруднення середовища.

Отже, теоретичне обґрунтування ентомобіоіндикації, що пропонується, може сприяти ширшому використанню комах у біоіндикаційних дослідженнях і швидкому виявленню за допомогою них негативних змін у екосистемах, викликаних антропогенними чинниками. Застосування ентомобіоіндикації у системі комплексного екологічного моніторингу допоможе зберегти біологічну різноманітність екосистем.

Оцінювання реакції тварин на забруднення

Вплив промислових викидів на ґрунтових тварин залежить від багатьох факторів, зокрема від складу, обсягу та темпів викидів, їх періодичності, стану та стійкості рослин, повітряного режиму.

У більшості випадків забруднення середовища промисловими викидами діє на ґрунтових тварин не безпосередньо, а опосередковано, порушуючи стації мешкання, режим трофіки, змінюючи динаміку чисельності мікроорганізмів. У забруднених ґрунтах відбуваються значні функціональні порушення та загибель тварин, які можна кількісно та якісно оцінити.