

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-
ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Г.А. ВАЛЬТЕР

**“БІОІНДИКАЦІЯ ТА БІОТЕТСТУВАННЯ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА”**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

ХАРКІВ 2015

УДК 504
ББК28.081
В16

В конспекті лекцій викладено теоретичні основи біоіндикації, основні визначення, положення та методи цієї дисципліни, закономірності впливу екологічних факторів на живі організми, особливості природних та антропогенних передумов виникнення несприятливих екологічних ситуацій в навколишньому середовищі.

При підготовці конспекту лекцій були використані роботи вітчизняних та закордонних авторів, які були створенні в останнє десятиріччя. Автор сподівається, що запропонований матеріал буде корисним та інформативним для студентів-екологів.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Лекція 1 Теоретичні основи біоіндикації..... | 5 |
| 1 Історія біоіндикації | 5 |
| 2 Теоретичні основи біоіндикації..... | 15 |
| 2.1 Закономірності впливу екологічних факторів на живі організми: правило «оптимуму»..... | 15 |
| 2.2 Антропогенні фактори, що викликають стрес..... | 22 |
| Лекція 2 Біоіндикатор і об'єкт біоіндикації..... | 24 |
| 1. Визначення і переваги біоіндикації перед хімічними методами аналізу..... | 24 |
| 2. Основні принципи застосування біоіндикації..... | 28 |
| 3. Доцільність біоіндикації, абсолютні і відносні калібровані стандарты..... | 28 |
| 4. Рівні біоіндикації і принципи добору біологічних показників для біоіндикації..... | 30 |
| 5. Поняття біоіндикатор..... | 32 |
| 6. Чутливість і вірогідність біоіндикаторів..... | 37 |
| 7. Вимоги до біоіндикаторів..... | 41 |
| Лекція 3 Біохімічні та фізіологічні реакції на антропогенні стресори..... | 45 |
| 1. Молекулярний рівень..... | 45 |
| 1.1 діагностичне значення біохімічних і фізіологічних показ- ників..... | 45 |
| 1.2 регуляція обміну речовин і біоіндикація..... | 46 |
| 1.3 показові ушкодження молекулярного рівня..... | 47 |
| 2. Клітинний рівень..... | 51 |
| 2.1 хімічний склад клітини..... | 51 |
| 2.2 стан органодів..... | 51 |
| 2.3 хромосомні порушення..... | 53 |
| Лекція 4 Біоіндикація на тканинному та організменному рівнях... | 56 |
| 1. Загальна характеристика анатомо-морфологічних відхилень у результаті стресових впливів..... | 56 |
| 2. Тканинний рівень..... | 58 |
| 2.1 макроскопічні зміни морфології рослин..... | 58 |
| 2.2 патологічні прояви у тварин..... | 60 |
| 3. Організменний рівень..... | 63 |

| | |
|---|-----|
| 3.1 зміна фарбування листів і тіла тварин, а також скульптури поверхні..... | 63 |
| 3.2 зміна розмірів і продуктивності рослин і тварин..... | 64 |
| 3.3 зміна форми росту, екобіоморфних ознак..... | 66 |
| 3.4 показники пошкодження тварин..... | 68 |
| Лекція 5 Біоіндикація на вищих ієрархічних рівнях: популяція, екосистема, біоценоз..... | 71 |
| 1. Популяційний рівень..... | 71 |
| 1.1 Добір показових видів..... | 71 |
| 1.2 Показники популяційного рівня..... | 72 |
| 1.3 Вплив антропогенних стресорів на динаміку рослинних популяцій..... | 73 |
| 1.4 Вплив антропогенних стресорів на характер поширення рослин..... | 74 |
| 2. Екосистемний рівень..... | 75 |
| 2.1 Показові ознаки екосистемного рівня..... | 75 |
| 2.2 Метод комплексної біоіндикації..... | 76 |
| Лекція 6 Методи біоіндикаційних досліджень..... | 82 |
| 1. Фітоіндикаційні методи екологічного стану природного середовища..... | 83 |
| 1.1 Дендроіндикація..... | 86 |
| 1.2 Ліхеноіндикація..... | 87 |
| 1.3 Бріоіндикація..... | 90 |
| 2. Методи біотестування..... | 91 |
| Лекція 7 Математичні методи в біоіндикаційних дослідженнях.... | 99 |
| 1. Оцінка подібності об'єктів..... | 100 |
| 2. Індекси розмаїтості..... | 103 |
| 3. Методи ординації..... | 104 |
| Лекція 8 Біоіндикація забруднення атмосферного повітря..... | 108 |
| 1. Основні речовини – забруднювачі атмосферного повітря і їхні джерела..... | 109 |
| 2. Біоіндикація забруднення атмосфери за допомогою рослин | |
| 3. Газостійкість і газочутливість рослин..... | 113 |
| 4. Неспецифічна і специфічна індикація..... | 120 |
| 5. Рослини-індикатори і рослини-монітори..... | 128 |
| 6. Оцінка реакції рослин на забруднення..... | 130 |
| 7. Добір і підготовка біологічних матеріалів для біоіндикації | |

| | |
|---|-----|
| Лекція 9 Біоіндикація стану ґрунтового покриву..... | 134 |
| 1. Основні наслідки дії пилу і золи на природно-територіальні комплекси..... | 135 |
| 2. Зміна кислотності ґрунтів, рослини-індикатори кислотності і багатства ґрунтів..... | 137 |
| 3. Механічний склад ґрунтів, літоіндикатори..... | 139 |
| 4. Показники й індикатори ґрунтової родючості..... | 142 |
| 5. Індикація засоленості ґрунтів – постійні, перемінні, негативні індикатори | |
| 6. Індикація типів ґрунтів..... | 148 |

ЛЕКЦІЯ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОІНДИКАЦІЇ

План

1. Історія біоіндикації
2. Теоретичні основи біоіндикації
3. Закономірності впливу екологічних факторів на живі організми: правило «оптимуму».
4. Антропогенні фактори, що викликають стрес

1. Історія біоіндикації

Становлення біоіндикації йшло паралельно з розвитком біологічної науки. У збережених до наших часів роботах античних філософів, письменників, агрономів містяться різні зведення про можливість використання стану рослинного покриву в практичних цілях. Так, у працях Катона Старшого (234-149 р. до н.е.) є вказівки на те, що густота травостою до переорювання допомагає вибирати ділянки, придатні для посіву культур бобових.

У I ст. до н.е. римський письменник і агроном Ю. Колумелла вважав, що по листю дерев, по травах або по вже поспілим плодам, можна судити про властивості ґрунту і знати, що може добре на ній рости. Описуючи вибір місця для посадок винограду, він пропонував вибирати ділянки по тим диким рослинам, що на ній ростуть.

Римський інженер Вітрувій (I ст. до н.е.) указував на наступні ознаки присутності води в земних породах: тонкий очерет, очерет, шельюга, вільха, витекс, прутняк, плющ і інші, що володіють тією властивістю, що не можуть зародитися без вологи.

У Вергілія в «Георгіках» (36-29 р. до н.е.) - каменистість і розчленований рельєф указують на території, придатні для оброблення маслин; зарості папоротей типові для земель, освоєваних під виноградники. Він підкреслював також, що різні рослини вимагають різних місцеперебувань: каштан ґрунт любить легкий, але не піщаний. Верби саджають у вологому місці, а очерет любить ще більш водянистий ґрунт, чим верба.

У висловленнях римського вченого і письменника Плінія Старшого (23 або 24-79 р.) утримуються застереження про занадто спрощене представлення про зв'язок ґрунтів і рослинності. Він пише, що не завжди високі дерева або пишні луки і високі трави служать ознакою родючості ґрунту. Серед декількох ознак родючості ґрунту він указує, зокрема, на збільшення товщини стебел злаків.

У XVII-XVIII ст. збільшуються дослідження про зв'язок рослинності з особливостями місцеперебувань. Велике значення мали роботи А.Гумбольдта, що обословили зонально-кліматичний розподіл рослинності. Ботаніко-географічні дані послужили А. Грізебаху основою для першої класифікації і складання на її основі карт кліматів, опублікованих у 1872 р.

У XIX ст. вивчення географії рослин стало здобувати індикаційний характер. Так, у Північному Тіролю Ф. Унгер (1838) розділив рослини на кальцефіли і сіліцифіли. По ступені приуроченості рослин до ґрунтів він виділив три групи: ґрунтобайдужні, ґрунтовизначні, ґрунтопостійні. Дві останні групи рослин він назвав «ґрунтовими показниками».

Перші схеми рослин-індикаторів гірських порід були складені А. П. Карпинським у 1841 р., виділений новий напрямок навчання про комплексні індикатори - рослинних співтовариствах.

Індикаційні основи геоботаніки найбільше повно виразили у своїх роботах О.М. Краснов (1888) і Р.І. Аболін (1910). О.М. Краснов розвивав навчання про формації як організовані групи рослин, присвячених до визначених їх властивим, ґрунтам і кліматові. Рослинні формації, згідно О.М. Краснову, характеризуються властивими їм факторами середовища: рельєфом, ґрунтами, їх водним режимом, рівнем ґрунтових вод; екологічним типом основних компонентів і т.д.

Перші десятиліття XX ст. ознаменувалися широким використанням біоіндикаторів при вивченні сільськогосподарських угідь, клімату, мікроклімату, палеоклімата, гідрогеологічних умов, гірських порід і пошуку корисних копалин. Основними роботами варто вважати праці Ф. Клементса, Л.Г. Раменського, В.Н. Сукачева, Б.В. Віноградова, Н.А. Отоцького. Особливе значення мали роботи з складання шкал для оцінки

грунтів лугів, лісів, покладів Л. Г. Раменського, Х. Елленберга, А. Крюденера, Н. Тюксена. Продуктивним виявилось застосування біоіндикації при дослідженні ареалів ґрунтових вод. Основоположниками цього методу з використанням аерознімків стали С.В. Вікторов і Е. А. Востокова.

Навчання про важкі метали (ВМ), що виникло більше ста років тому, з'явилося основою при біоіндикаційних дослідженнях забруднень. Одним із засновників його є К.А. Тімірязєв, що у 1872 р., першим з дослідників установив позитивну дію Zn на ріст і розвиток рослин.

Навчання В.І. Вернадського про біосферу, ноосферу, з'явилося основою біогеохімічного напрямку в геології. Вивчення хімічного складу живої речовини і зв'язок його з хімізмом навколишнього середовища поклали початок біогеохімічному методу пошуків корисних копалин і геохімічної екології. Їм було чітко сформульоване кілька узагальнень про роль організмів у хімічних процесах Землі, що поклало початок новому науковому напрямкові, що лежить на стику біології, геології і хімії, біогеохімії.

До останнього часу основне практичне застосування біогеохімії було зв'язано з біогеохімічним методом пошуків родовищ корисних копалин. Суть цього методу полягає у виявленні ділянок підвищених концентрацій рудоутворюючих елементів у ґрунтах і рослинах. У біогеохімії вони розглядаються як вторинні ореоли розсіювання рудної мінералізації. Ділянки підвищених концентрацій металів у рослинах і верхньому обрії ґрунту - біогеохімічні аномалії - дають підставу припускати присутність на глибині покладів руд.

Застосування біогеохімічного методу пошуків корисних копалин у складних кліматичних і геологічних умовах у важкопроходимих районах або територіях, перекритих пухкими аллохтонними відкладеннями, полегшує виявлення родовищ. Біогеохімічні дослідження зіграли важливу роль у відкритті багатьох родовищ руд кольорових і рідких металів, а також інших корисних копалин.

Відомі біогеохімічні аномалії ВМ, що виникли завдяки виходові на поверхню гірських порід з підвищеною концентрацією металів, а також підземних вод з високим змістом мікроелементів.

Новим напрямком біогеохімії в 1950-1970 р. стала геохімічна екологія, що одержала широкий розвиток у роботах В.В. Ковальського і його учнів. Ця наука вивчає особливості хімічного складу живих організмів і вплив природних і техногенних процесів на зміну їхніх вмістів.

Короткий історичний нарис розвитку біоіндикації

| Період | Автори | Напрямок досліджень |
|--------------------|----------------------------|---|
| 234-149 р. до н. е | Катон Старший | Вибір ділянок, придатних для посіву культур бобових по густоті травостою до переорювання |
| 36-29 р. до н.е. | Вергілій | Каменистість і розчленований рельєф указують на території, придатні для оброблення маслин; заросли папоротей типові для земель, освоєваних під виноградники |
| 24-79 р. до н.е. | Пліній Старший | Ознаки родючості ґрунту по характері рослинності |
| I ст. до н.е. | римський агроном Колумелла | Визначення властивостей ґрунту по листю дерев і травам; вибір ділянок для посадок винограду по диких рослинах |
| XVIII-XIX ст. | римський інженер Вітрувій | Ознаки присутності води в породах по рослинах |
| 1838 р. | А. Гумбольдт | Зонально-кліматичний розподіл рослинності |
| | Ф. Унгер | Індикаційний характер вивчення географії рослин; поділення рослин на кальцефіли і сілцефіли; три групи рослин: ґрунтобайдужні, ґрунтовизначні, ґрунтопостійні |
| 1841 р. | А.П. Карпинський | Навчання про комплексні індикатори - рослинні співтовариства; схеми рослин-індикаторів гірських порід |
| 1872 р. | А. Грізебах | Складання карт кліматів по ботанічним даним |
| 1888 р. | О.М. Краснов | Навчання про формації як організованих груп рослин, присвячених д визначених, них властивим, ґрунтам і кліматові |
| 1910 р. | Р.І. Аболін | |

| | | |
|--------|--|--|
| XX ст. | Ф.Клементс Л.Г. Раменський В.М. Сукачев Б.В. Віноградов Н.А. Отоцький С.В. Вікторов Е.А. Востокова | Використання біоіндикаторів при вивченні с/г угідь, клімату, мікроклімату, палеоклімата, гідрогеологічних умов, гірських порід і пошуку корисних копалин Застосування біоіндикації при дослідженні ареалів ґрунтових вод з використанням аерознімків |
| XX ст. | К.А. Тімірязєв В.І. Вернадський Б.В. Віноградов В.В. Ковальський | Біоіндикаційні дослідження забруднень важкими металами Вивчення хімічного складу живої речовини і зв'язок його з хімізмом НС - новий науковий напрямок – біогеохімія; біогеохімічний метод пошуку родовищ корисних копалин - виявлення ділянок підвищених концентрацій рудоутворюючих елементів у ґрунтах і рослинах Новий напрямок біогеохімії – геохімічна екологія - вивчає особливості хімічного складу живих організмів і вплив природних і техногенних процесів на зміну їхніх вмістів |
| XX ст. | <p style="text-align: center;">Розвиток природоохоронної індикації</p> Е.А.Востокова М.С. Шалита Н.Т. Нечаєва А.П. Шеннікова Работнова, Ларіна, Базілевіч, Семенюк, Нечаєва, Віноградов, Курочкіна Хірсанов, Мурах Саєт, Степанов, Черненко Віноградов, Казанська, Грибовська, Іванов Криволуцький, Покаржевський, Шабад, Слепян | карти охорони НС вплив випасу на травостої вивчення зміни морфологічних параметрів травостою і біопродуктивності пасовищ евтрофування водних об'єктів хімічне забруднення ґрунтів вплив на біоту рекреаційного навантаження вплив на живі організми радіонуклідів, пріоритетних полютантів, у т.ч. ксенобіотиків |

| | |
|--------|--|
| | Бурдін, Ільїн, фітоіндикація забруднень |
| | Парибок, Опекунова, Ярмішко, Уфімцева |
| | Байрак, Кучерявий, ліхеноіндикація |
| | Бязров |
| XX ст. | Аристовська Кожевін зміна мікробіологічної активності |
| | Умаров Звягінцев ґрунтів під впливом техногенного |
| | Марфеніна, Зенова навантаження |
| | Полянська |
| | Лук'янова, Мухачева, зміна хімічного складу органів і тканин |
| | Лук'янов, Безяліна, ссавців; порушення репродуктивних |
| | Рождественська, функцій, динаміка чисельності і зміни |
| | Шилова структури популяцій і видової |
| | розмаїтості дрібних ссавців |
| | Лебедева, використання птахів - зміна хімічного |
| | Венгеров, складу оперення й окремих органів; |
| | Вельський відхилення в репродуктивних показ- |
| | никах птахів; зміна чисельності, |
| | видової розмаїтості і структури |
| | населення птахів |

Розвиток природоохоронної індикації почався порівняно недавно. Важливим етапом у становленні природоохоронної спрямованості біоіндикації стали роботи С.В. Вікторова по дешифруванню знімків в аридних районах, складання карти охорони навколишнього середовища під керівництвом Е. А. Востокової.

На початку 60-х років сформувалося поняття рекреаційної дигресії - зміна природного середовища в місцях масового відпочинку; основна увага приділена фізичним, фізико-хімічним, а також мікробіологічним і біохімічним па-раметрам ґрунтів, зміні домінантів, зміні видової розмаїтості і морфологічних характеристик деревного, трав'яно-чагар-никового і мохово-лишайникового ярусів.

Впливові випасу на травостої присвячені численні роботи середини 70-х років XX ст. щодо вивчення зміни морфологічних параметрів травостою і біопродуктивності пасовищ.

Кінець XX ст. ознаменувався різким посиленням уваги до рішення екологічних питань і свого роду «екологізацією» усіх

наук. У даний час встановлені і широко використовуються групи видів-індикаторів різних антропогенних впливів:

евтрофування водних об'єктів,
хімічного забруднення ґрунтів,
впливу на біоту рекреаційного навантаження,
особливості посяглопожежних сукцесій,
впливові на живі організми:

- радіонуклідів,
- пріоритетних поллютантів, у тому числі ксенобіотиків - хлорорганічні з'єднання (поліхлоровані біфеніли - ПХБ, ДДТ, ГХЦГ, діоксини, фурани і т.д.),
- поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ),
- синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР),
- феноли й ін.

До дійсного часу в біоіндикаційних дослідженнях намітилися напрямки, що ґрунтуються на пріоритетному використанні різних груп живих організмів: мікроорганізмів, водоростей, рослин, тварин.

1. Фітоіндикація забруднень - застосування рослин - одне з ведучих місць займає вивчення деревних рослин – дендроіндикація, зміна морфологічних параметрів рослин в умовах природних геохімічних аномалій, особливості будівлі, структури і динаміки деревних .

2. З кінця 60-х років ХХ ст. у Скандинавських країнах почали широко використовувати мохи (бріоіндикація).

3. Застосування лишайників (ліхеноіндикація) при оцінці забруднення атмосферного повітря має тривалу історію. Так, Гріндон у своїй роботі «Флора Манчестера», опублікованої в 1859 р., відзначав значне скорочення числа лишайників через вирубку старих лісів і припливу фабричного диму. Ліхеноіндикаційна зйомка проведена на території багатьох великих міст: у Казані, Харкові, Лондоні, Львові, Парижі, Нью-Йорку, Москві, Санкт-Петербурзі.

4. Зміни хімічного складу органів і тканин рослин

5. Як індикатори стресових впливів вивчені порушення репродуктивних функцій, динаміка чисельності і зміни структури популяцій і видової розмаїтості дрібних ссавців.

6. Використання птахів - зміна хімічного складу оперення й окремих органів, встановлено зниження чисельності, зменшення видової розмаїтості і структури населення птахів при посиленні антропогенного впливу.

7. Застосування мікроорганізмів - зміна мікробіологічної активності ґрунтів під впливом техногенного навантаження. Основними індикаторними показниками визнані загальна мікробна біомаса, видова розмаїтість, співвідношення основних груп мікроорганізмів, склад і структура мікробних співтовариств, інтенсивність ґрунтово-го подиху, активність розкладання целюлози, нітронакопичення, активність ґрунтових ферментів.

Таким чином, у даний час біоіндикація забруднень, що ґрунтується на багатовіковому досвіді використання методів біоіндикації в господарській діяльності людини, знаходить усе більше застосування в області охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування.

2. Теоретичні основи біоіндикації

2.1 Закономірності впливу екологічних факторів на живі організми: правило «оптимуму».

Людина, як і всякий живий організм, нерозривно зв'язаний з біосферою. Але його вплив на біосферу принципово відрізняється від впливу інших організмів, оскільки обумовлений суспільною природою людини, відбувається в ході й у результаті, насамперед трудової, виробничої діяльності. Науково-технічний процес неминуче приводить до збільшення дії антропогенного фактора на навколишнє середовище і з особливою гостротою вимагає розумного використання природних багатств.

При обґрунтуванні вимог до параметрів біосфери необхідно знати оцінку різних факторів і стан елементів навколишнього середовища до і після шкідливого впливу. При цьому велике значення мають методи й організаційні форми проведення екологічного контролю. Біологічний контроль уможливорює пряму оцінку якості середовища.

А) Об'єктом екологічних досліджень у широкому змісті є навколишнє середовище, під якою розуміється сукупність компонентів природного середовища, природних і природно-антропогенних об'єктів, а також антропогенних об'єктів. Прийнято наступні визначення структурних одиниць навколишнього середовища.

Компонентами середовища є земля, надра, ґрунти, поверхневі і підземні води, атмосферне повітря, рослинний, тваринний світ і інші організми, а також озоновий шар атмосфери і навколоземний космічний простір, що забезпечують у сукупності сприятливі умови для існування життя на Землі.

Природні об'єкти представлені природними екологічними системами (екосистемами), природними ландшафтами і складовими їхніми елементами, що зберегли свої природні властивості.

Під природно-антропогенними об'єктами розуміються природні об'єкти, змінені в результаті господарської діяльності, а також об'єкти, створені людиною, що володіють властивостями природного об'єкта і мають рекреаційне і захисне значення.

Антропогенний об'єкт - це об'єкт, створений людиною для забезпечення його соціальних потреб і не володіє властивостями природних об'єктів.

Б) Об'єктом екологічних досліджень є екосистеми різних рівнів ієрархії. Вони можуть бути природними, антропогенно порушеними і штучними.

Екологічна оцінка - визначення параметрів природного середовища, що забезпечують існування співтовариств живих організмів, характерних для цих станів в умовах природного й антропогенного режимів їхнього розвитку. Вона нерозривно зв'язана з якістю об'єкта - сукупністю характеристик, що описують даний об'єкт (Міжнародний стандарт №8402-86(94)).

Якість навколишнього середовища визначається як стан навколишнього середовища, що характеризується фізичними, хімічними, біологічними й іншими показниками і (або) їхньою сукупністю.

Оцінюваною властивістю може бути як власне якість середовища, так і стійкість екосистеми, біологічна продуктивність

ресурсний потенціал, асиміляційна ємність і т.д.

В даний час при оцінці стану навколишнього середовища ведуча роль приділяється фізичним і хімічним методам екологічного контролю. Їхня сутність зводиться до порівняння забруднення окремих компонентів природних комплексів із ГДК або ГДР. Однак існуючі системи нормативів не забезпечують екологічну безпеку екосистем - стан захищеності природного середовища і життєво важливих інтересів людини від можливого негативного впливу господарської й іншої діяльності, надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, їхніх наслідків - і частіше носять антропоцентрический характер. Тому діюча сьогодні в практиці природокористування регламентація антропогенного впливу на природне середовище приводить до того, що екосистема навіть в ідеальних випадках контролю часто піддається надмірним навантаженням. Хоча при виявленні забруднених зон аналітична концепція може розглядатися як високоінформативна, у практиці більш широкомасштабних досліджень - оцінки екологічного стану середовища - вона має ряд недоліків. Крім зазначеного вище, а також високої вартості одержання репрезентативних даних до недоліків відносяться:

1) неможливість обліку в практичній діяльності синергичного й антагоністичного ефектів поллютантов;

2) нерозв'язність проблеми оцінки впливу на токсичність або інші лімітуючі властивості поллютантів різноманітних природних факторів;

3) неможливість одержання інформації про вторинні ефекти дії поллютантів, викликаних їхнім нагромадженням і трансформацією в різних ланках екосистем.

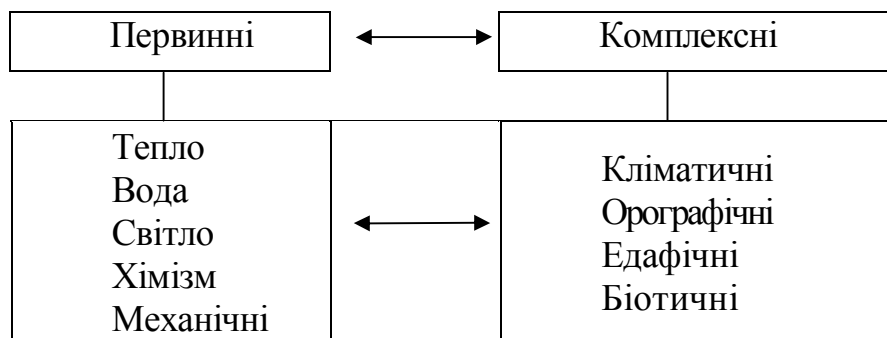
Вивчення наслідків антропогенного впливу на навколишнє середовище неможливо без застосування прийомів біологічної індикації, що подає пряму інформацію про реакції організмів на стресорні фактори.

Теоретичні основи біоіндикації екологічного стану середовища розроблені досить докладно. Відомо, що всі живі організми пред'являють до умов місцеперебування визначені вимоги. Вони були вироблені в процесі розвитку виду і визначають його існування в умовах відповідної екологічної

ніші. На живий організм завжди діє сукупність екологічних факторів. Широко поширений поділ факторів на абіотичні (фізико-географічні, фактори екотопа, кліматичні, едафічні, орографічні, хімічні і т.д.) і біотичні (фітогенні, зоогенні, антропогенні і т.д.). По способі впливу їх підрозділяють на прямодіючі і косвенодіючі. Варто враховувати, що той самий фактор може бути як прямо-, так і косвенодіючим. Запропоновано виділяти первиннодіючі і комплексні екологічні фактори.

Відповідно до цієї класифікації, антропогенний вплив на організми включається в групу біотичних факторів. Однак, на думку ряду дослідників, як по специфічних формах впливу через господарську діяльність, так і по масштабах наслідків, що особливо возросли останнім часом, вплив людини повинний бути віднесений в особливу групу - антропогенних факторів.

Класифікація екологічних факторів у біоіндикації:



Усі компоненти природи нерозривно зв'язані між собою і знаходяться в безперервній взаємодії і взаємозалежності. Однак вплив їхній один на одного нерівнозначний. На формування природних екосистем діє загальний закон зональності, що визначає перерозподіл абіотичних і біотичних компонентів у просторі відповідно до кількості сонячної енергії, що надходить на Землю. У межах однієї кліматичної зони, ведуча роль в організації і диференціації ландшафту належить літогенним факторам. Компоненти природи по силі впливу один на одного можуть бути розташовані у визначений і строго постійний ряд: земна кора → повітря → води → рослинність → тваринний світ.

Сказане в однаковій мірі відноситься до всіх одиниць диференціації земної поверхні, до різних таксонів природно-територіальних комплексів (ПТК). Визначальна роль

літогенної основи виявляється в хімічному складі компонентів навколишнього середовища при зміні гірських порід, що підстилають. Хімічний склад гірських порід визначає особливості хімізму всіх компонентів природних ландшафтів, якісні і кількісні параметри біологічного кругообігу в межах однорідних територій. Таким чином, у природі існує природна диференціація земної поверхні, одним із проявів якої є зміна хімічного складу всіх компонентів ландшафтів.

Всі екологічні фактори тісно зв'язані між собою. Звичайна зміна одного з них спричиняє і зміну інших. Тому, вивчаючи реакцію організмів на той або інший фактор, завжди треба мати на увазі їхню взаємодію. Кожен екологічний фактор або комплекс взаємодіючих факторів по-різному діють на живі організми в різні фази його онтогенезу. Екологічні особливості особин міняються з віком і в залежності від життєвого стану. При старінні організму змінюються швидкість метаболізму, фізіологічний стан тканин, органів, потреба в елементах харчування й ін. Необхідно також враховувати генетичну неоднорідність популяції.

Поряд з цим велике значення в біоіндикаційних дослідженнях має облік «ефекту заміщення» або «ефекту компенсації», коли надлишок або недолік одного фактора компенсується іншими факторами. При вивченні комплексного впливу факторів зовнішнього середовища на живі організми потрібно мати на увазі можливість їхнього антагонізму або синергізму, явище післядії.

Усі біологічні системи - будь те організми, популяції або біоценози - у ході свого розвитку пристосувалися до комплексу факторів місцеперебування. Вони заволоділи визначеною екологічною нішею, у якій знаходять підходящі умови існування і можуть нормально харчуватися і розмножуватися. Кожен організм має генетично закріплений фізіологічний поріг толерантності (витривалості), у межах якого цей фактор є для нього стерпним.

Реакція організму, його гноблення або процвітання залежить від дозування фактора, тобто кожен вид пристосований до визначеної інтенсивності кожного екологічного фактора і до визначеного діапазону його мінливості.

Біологічний процес може здійснюватися не при будь-яких змінах фактора, а тільки в межах двох його значень - максимального і мінімального, котрі являють собою границі толерантності даного процесу щодо визначеного екологічного фактора.

Згідно «законові мінімуму» Ю. Лібіха (1840) і «законові толерантності» Шелфорда (1913), існування виду визначається факторами, що лімітують, в області песімуму в максимальних і мінімальних значеннях. Поблизу кардинальних крапок максимуму і мінімуму лежать сублетальні величини екологічного фактора, а за межами зони толерантності - летальні.

На рис. 1.1 схематично показаний вплив на вид екологічного фактора. Діапазон дії (або зона толерантності) обмежена крайніми граничними значеннями (крапки мінімуму (1) і максимуму(3)). Крапка (2), що відповідає найкращим показникам життєдіяльності, - це крапка оптимуму. Звичайно точно визначити оптимальне значення фактора важко, тому прийнято говорити про зону оптимуму, при якому спостерігається найвища продуктивність виду.

Умови середовища, що виходять за межі оптимальної зони, називаються екстремальними і складають зону гноблення.

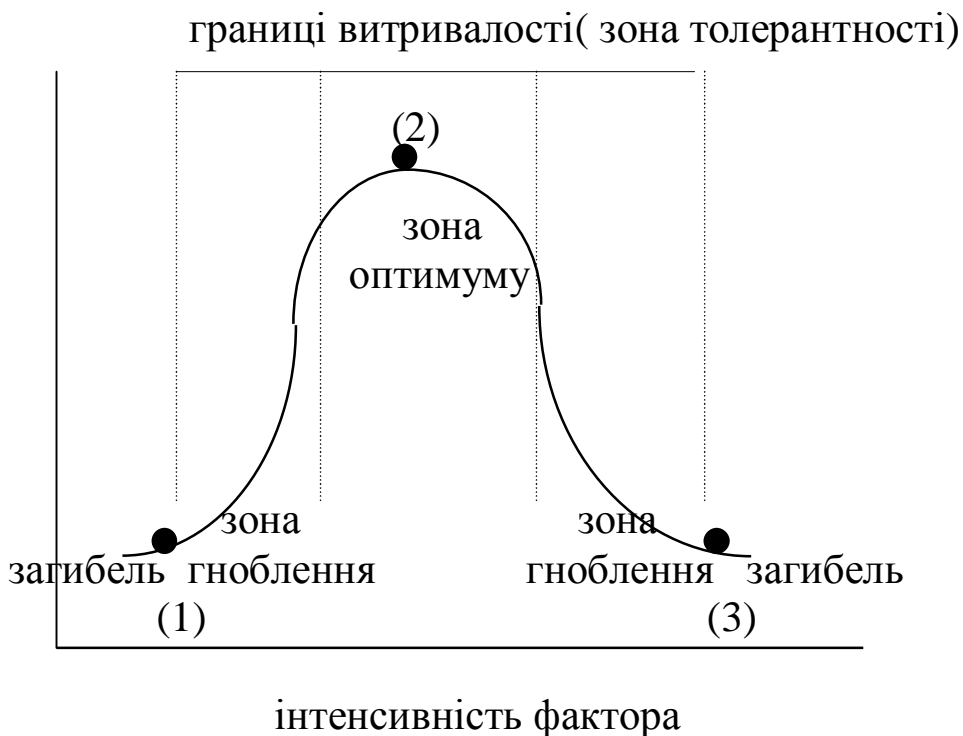


Рис. 1.1. Схема впливу екологічного фактора

За межами зони толерантності лежать летальні значення, що викликають загибель організму, - це верхня і нижня границі витривалості.

Розглянуті вище закономірності впливу екологічних факторів на живі організми і характер їхніх відповідних реакцій відомі як “правило оптимуму” .

Ширина діапазону фактора, вузька (стенотопність або стенобіонтність) або широка (еврітопність або еврібіонтність) амплітуда виду визначають їхній індикаційні можливості. Фізіологічна толерантність організму визначає його індикаторну цінність.

На несприятливі умови середовища живі організми реагують визначеними діями або зміною стану, що визначають виживання виду. Існують два основних способи подолання несприятливих впливів: їхнє запобігання (*avoidance*) і придбання витривалості (*tolerance*).

Перший переважно використовується тваринами, що володіють рухливістю. Він являє собою різного роду пересування з несприятливих умов у сприятливі і включає різні міграції, таксиси і т.д.

Більшість рослин позбавлена такої можливості. Свого роду «пасивне» їхнє пересування зв'язане з поширенням насіння і заселенням місцеперебувань, придатних для виростання. Тому основною стратегією життя рослин є адаптація до несприятливих умов за рахунок вироблення різних пристосувань (за рахунок зміни будівлі, процесів життєдіяльності і т.д.), що забезпечують нормальне функціонування організмів. Ці зміни можуть носити як модифікаційний (неспадкоємний) характер і зникати в особи або її потомства при відсутності несприятливих умов, що викликали їхній, так і генотипичний характер і передаватися в спадщину від покоління до покоління.

Реакції організмів, що розвиваються в складі співтовариств, відрізняються від потенційних вимог, що пред'являє вид до факторів зовнішнього середовища поза біоценозом. В екології існує поняття про фактичний (сінекологічний) і потенційний (аутекологічний) оптимуми. Таким чином, в умовах конкурентної

боротьби в складі співтовариства поширення виду залежить багато в чому від його конкурентноздатності і можливості (або неможливості) реалізувати свої потреби у виборі умов місцеперебування.

Особливий інтерес у зв'язку з оцінкою впливу на живі організми антропогенних факторів представляють динамічні зміни біоценозів у часі. У природних умовах вони виявляються як у сезонній мінливості життєвої активності окремих особин, так і зміні складу співтовариств живих організмів у часі - природній динаміці біогеоценозів.

Виділяють дві категорії динаміки фітоценозів: екзо- і ендодинамічні (у сучасній літературі прийняті терміни «екзоекогенетичні» і «ендоекогенетичні»).

Екзоекогенетичні (екзогенні, аллогенні) зміни - виникають і протікають у результаті впливу зовнішніх факторів. Вони можуть бути безперервними, виникаючими в результаті постійного тривалого впливу, або посткатастрофічними (постдизруптивними), обумовленими різкою зміною умов середовища.

Ендоекогенетичні (ендогенні, автогенні) зміни - виникають і протікають у результаті зміни середовища самими рослинами, що створює умови для впровадження і розростання інших видів.

2.2 Антропогенні фактори, що викликають стрес

Поняття “стрес” - це стан критичного навантаження, що виявляється у виді специфічного синдрому, що складається з неспецифічних змін усередині біологічної системи. Стрес можна розділити на два типи. Еустрес характеризується фізіологічними процесами, що дозволяють організмові пристосуватися до умов середовища, що змінилися. Дістрес - означає патологічні процеси, при постійних навантаженнях, що організм не в змозі регулювати короткий або тривалий час.

У біології під стресом розуміється реакція біологічної системи на екстремальні фактори середовища, що можуть у залежності від сили, інтенсивності, тривалості впливу, більш-менш сильно впливати на систему.

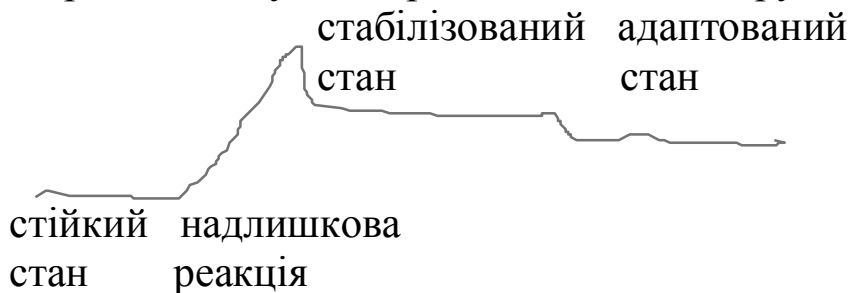
Фактори, що викликають стрес, називають стресорами. У природних умовах організми часто піддаються впливові різних

абіотичних і біотичних стресорів. До ритмічно повторюваних екстремальних умов середовища, наприклад, холод, поха, жара багато організмів пристосувалися шляхом зміни активності (спячка, анабіоз), що робить їх стійкими до стресу.

Інші організми можуть ухилятися від впливу екстремальних умов за допомогою специфічних пристосувань (запобігання стресу) - це глибоке укорінення, відхід в інші зони обитання.

Толерантність і запобігання створюють стійкість до стресу.

Хід адаптації, тобто пристосування до довго діючих екстремальних умов середовища, демонструє наступна схема:



Небезпека антропогенних стресорів складається насамперед у тім, що біологічні системи недостатньо адаптовані до них. Антропогенні стресори створюються з такою швидкістю, що ці системи не встигають активізувати адаптаційні процеси.

ЛЕКЦІЯ 2 БІОІНДИКАТОР І ОБ'ЄКТ БІОІНДИКАЦІЇ

План

1. Визначення і переваги біоіндикації перед хімічними методами аналізу
2. Основні принципи застосування біоіндикації
3. Доцільність біоіндикації, абсолютні і відносні калібровані стандарти
4. Рівні біоіндикації і принципи добору біологічних показників для біоіндикації
5. Поняття біоіндикатор
6. Чутливість і вірогідність біоіндикаторів
7. Вимоги до біоіндикаторів

1. Визначення і переваги біоіндикації перед хімічними методами аналізу

Сучасні закордонні і вітчизняні дослідники пропонують оцінювати рівень забруднення на основі спостережень за біологічними об'єктами, що можуть бути індикаторами забруднень навколишнього середовища, їхнього просторового розподілу, можливого нагромадження на значних територіях.

У деяких видів рослин і тварин змінюються особливості розвитку (швидкість росту, процес цвітіння, утворення плодів, інтенсивність фарбування й ін.) у відповідь на різні стресорні фактори. Ці властивості людство помітило вже давно і використовувало для практичних нестатків.

Лишайники, наприклад, здатні накопичувати радіоактивні елементи, мікроелементи, вміст радіонуклідів у них може бути в 10 разів вище, ніж у трав'янистих рослинах. Лишайники накопичують газоподібні і тверді речовини з атмосфери практично постійно і необмежено. Тому, відслідковуючи процеси їхнього нагромадження (відсутності), можна оцінити рівень забруднення середовища.

Наприклад, біоіндикатором водного середовища може бути фітопланктон. Його надмірний розвиток викликає евтрофікацію водойм - підвищення рівня первинної продукції, обумовлене

збільшенням концентрації біогенних елементів, азоту і фосфору, що приводить до загибелі риби внаслідок нагромадження надмірної кількості азоту і фосфору, що різко прискорюють розвиток рослин.

У дніпровській воді виявлені молюски, що раніш існували тільки в лиманних водоймах Чорноморського Узбережжя, що свідчить про різке підвищення за останні роки вмісту солей у Дніпрі.

Локальними індикаторами прісних ґрунтових вод у західних лиманах і сухих руслах північного і західного Казахстану є угруповання мезофільних злаків (мезофіти - рослини, що виростають при середнім зволоженні помірковано тепломі режимі і достатній забезпеченості мінеральним харчуванням); постійними індикаторами засолених ґрунтів у західній Туркменії служать галофіти (солестійкі).

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

Існує два основних методи біоіндикації: пасивний і активний.

Пасивна біоіндикація – дослідження у вільно живучих організмів видимих або непомітних ушкоджень і відхилення від норми, що є ознаками несприятливого впливу.

Активна індикація або біотестування - дослідження тих же впливів у стандартних умовах на найбільш чутливих до даного фактора організмах - тест-організмах .

Під біотестуванням звичайно розуміють процедуру встановлення токсичності середовища за допомогою тест - об'єктів, що сигналізують про небезпеку незалежно від того, які речовини й у якому сполученні викликають зміни життєво важливих функцій у тест – об'єктів. У ролі тест – об'єктів виступають організми, використовувані при оцінці токсичності хімічних речовин, природних і стічних вод, ґрунтів, донних відкладень, кормів і ін.

Тест - об'єкти - "датчики" сигнальної інформації про токсичність середовища і замітники складних хімічних аналізів, що дозволяють оперативно констатувати факт токсичності (отруйності, шкідливості) середовища.

Методами біоіндикації і біотестування визначається присутність у навколишнім середовищі того або іншого

забруднювача по наявності або станові визначених організмів, найбільш чутливих до зміни екологічної обстановки, тобто виявлення і визначення біологічно значимих антропогенних навантажень на основі реакції на них живих організмів і їхніх співтовариств. Таким чином, застосування біологічних методів для оцінки середовища має на увазі виділення видів тварин або рослин, що чуйно реагують на той або інший тип впливу.

Методом біоіндикації з використанням підходящих індикаторних організмів у визначених умовах може здійснюватися якісна і кількісна оцінка (без визначення ступеня забруднення) ефекту антропогенного і природного впливу на навколишнє середовище.

Біоіндикація має визначені переваги як метод одержання безпосередньої інформації про зміни стану біоти в конкретних умовах забруднення, але він повинний поєднуватися з хімічними і геофізичними даними для одержання не тільки якісних, а і кількісних зведень.

Цей метод має такі достоїнства:

- вимір сумарного ефекту зовнішнього впливу;
- вивчення впливу забруднення на рослини і тварин;
- визначення впливу в просторі і часі;
- можливість застосовувати профілактичні засоби.

Особливу значимість має та обставина, що біоіндикатори відбивають ступінь небезпеки відповідного стану навколишнього середовища для всіх живих організмів, у тому числі і для людини.

Підкреслюючи усю важливість біоіндикаційних методів дослідження, необхідно відзначити, що біоіндикація передбачає виявлення забруднення навколишнього середовища, що уже відбулося або відбувається по функціональних характеристиках особнів і екологічних характеристиках співтовариств організмів.

Але, відбиваючи ступінь негативного впливу в цілому, біоіндикація не пояснює, якими саме факторами воно створено. Найбільше ефективно оцінка навколишнього середовища може вироблятися в сполученні абіотичних і біотичних параметрів.

Фізичні або хімічні виміри антропогенних факторів середовища дають кількісні і якісні характеристики фактора, але дозволяють лише побічно судити про біологічну дію. Користуючись

інструментальними методами дослідження, можна визначити характеристики повітря, води і ґрунту, але лише на момент добору проб.

Біоіндикація дає можливість одержати інформацію щодо біологічних наслідків і зробити непрямі висновки про особливості самого фактора.

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

- підсумовують усі без винятку біологічно важливі дані про навколишнє середовище і відбивають її стан у цілому;
- виявляють наявність у навколишнім природному середовищі комплексу забруднювачів;
- дозволяють судити про ступінь шкідливості тих або інших речовин для живої природи і людини;
- дають можливість контролювати дію багатьох синтезованих людиною з'єднань;
- в умовах хронічного антропогенного навантаження біоіндикатори можуть реагувати на дуже слабкі впливи в силу акумулюючої дози;
- фіксують швидкість змін, що відбуваються в навколишнім середовищі;
- указують шляхи і місця скупчень різного роду забруднень в екологічних системах і можливі шляхи влучення цих речовин в організм людини;
- допомагають нормувати припустиме навантаження на екосистеми, що розрізняються по своїй стійкості до антропогенного впливу, тому що однаковий склад і обсяг забруднень може привести до різних реакцій природних систем у різних географічних зонах;
- роблять необов'язковим застосування дорогих трудомістких фізичних і хімічних методів для виміру біологічних параметрів; живі організми постійно присутні в навколишньому середовищі і реагують на короткочасні і залпові викиди токсикантів, що може не зареєструвати автоматизована система контролю з періодичним добором проб на аналізи.

Існують різні форми біоіндикації.

Неспецифічна біоіндикація - однакова реакція на багато факторів.

Специфічна індикація – визначена реакція тільки на один фактор.

Якщо антропогенний фактор діє безпосередньо на біологічний елемент, то мова йде про пряму біоіндикацію. Однак нерідко біоіндикація стає можливою тільки після зміни стану під впливом інших безпосередньо порушених елементів. У цьому випадку ми маємо непряму біоіндикацію.

2. Основні принципи застосування біоіндикації

При біоіндикації варто враховувати чотири основних вимоги (принципи):

1. Відносна швидкість проведення досліджень. Біоіндикаційні дослідження повинні охоплювати одну фенологічну фазу при порівняно однорідних метеорологічних умовах. При випаданні опадів необхідно перечекати кілька днів для відновлення рівня поллютантів у біоті. Біоіндикаційні дослідження з метою вивчення закономірностей міграції хімічної речовини по харчових ланцюгах рекомендується проводити в період максимальної біологічної продуктивності співтовариств.

2. Одержання достатньо точних і відтворених результатів.

3. Велика кількість об'єктів біоіндикації з однорідними властивостями. Добір індикаторів з високою зустрічальністю і достатком. Біоіндикатори повинні бути добре вивчені і мати на всій території досліджень однорідні властивості.

4. Діапазон погрешностей у порівнянні з іншими методами тестування не більш 20%.

3. Доцільність біоіндикації, абсолютні і відносні калібровані стандарти

Часте поняття біоіндикації застосовується у вузькому змісті для оцінки антропогенних факторів або факторів середовища, що випробують антропогенний вплив. Нас буде цікавити саме таке застосування. При цьому ми будемо розглядати не оцінку

присутності, концентрації або інтенсивності якогось параметра, а реакцію біологічних систем, тобто біологічний вплив фактора.

Антропогенні впливи являють собою, з одного боку, нові параметри середовища, з іншого боку - обумовлюють антропогенну модифікацію вже наявних природних факторів і тим самим зміна властивостей біологічних систем. Якщо ці нові параметри значно відхиляються від відповідних вихідних величин, то можлива біоіндикація (рис. 2.1).

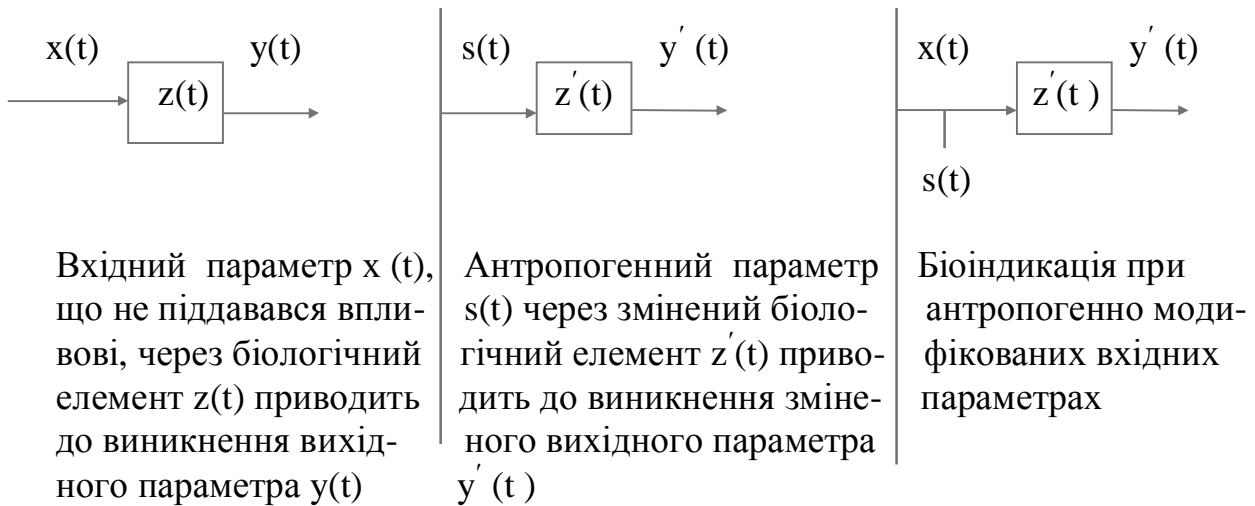


Рис. 2.1 Схема доцільності біоіндикації

Для кількісної оцінки значимості відхилень необхідні абсолютні або відносні калібровані стандарти.

Стандарти для порівняння при біоіндикації антропогенних факторів:

А. Абсолютні стандарти порівняння

- а) порівняння з показниками біологічної системи, вільної від впливу
- б) експериментальне виключення антропогенних факторів
- в) порівняння з біологічними системами минулого, слабо або зовсім не підданих дії антропогенних факторів

Б. Відносні стандарти порівняння

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

4. Рівні біоіндикації і принципи добору біологічних показників для біоіндикації

Біоіндикація може проводитися на різних рівнях організації живого: макромолекул, клітини, організму, популяції, співтовариства і екосистеми.

Ієрархія структури органічного світу

| Рівні | Ступіні | | |
|----------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| | Молекулярно-клітинний | Організменний | Надорганізменний |
| Нижчий | Молекули одного класу | Тканини | Популяції |
| Середній | Органоїди, клітини | Органи, їхні системи | Біоценотичні комплекси |
| Вищий | Клітини | Організми | Біоценози |

При такому підході вдається виділити характерний рівень ієрархії структури органічного світу, на якому живі системи здатні до ізольованого існування і самостійного відтворення. Звичайно невідомий характер зв'язку між показниками нижчого і середнього рівнів і основним показником, яким володіє тільки вищий рівень - відтворення. Тому в біоіндикації перевагу віддають спостереженням за структурними і функціональними параметрами саме вищого, а не середнього і нижчого рівнів

Звичайно з підвищенням рівня організації біологічних систем зростає і їхня складність, тому що одночасно ускладнюються і їхні зв'язки з навколишнім середовищем. При цьому біоіндикація на нижчих рівнях включається в біоіндикацію на вищих рівнях. У той час як на нижчих рівнях організації біологічних систем переважають прямі, специфічні види індикації, зв'язані з впливом якого-небудь визначеного стресора, на вищих рівнях здійснюється непряма біоіндикація.

Відповідно до організаційних рівнів біологічних систем можна установити різні рівні біоіндикації:

1-й рівень - біохімічні і фізіологічні реакції;

2-й рівень - анатомічні, морфологічні і поведінкові відхилення;

3-й рівень - популяційні і біоценотичні зміни;

4-й рівень - зміни ландшафтів.

Механізми, що лежать в основі поразки окремих клітин, організмів, популяцій або співтовариств при впливі того самого фактора, що ушкоджує, будуть відрізнятися, тому що кожна зі ступіней структури живого описується визначеним набором показників, що належать тільки даної ступіні.

Добір цих показників для біоіндикації проводиться виходячи з визначених критеріїв, що утворюють три групи.

Перша група складається з критеріїв, що відбивають фундаментальність біологічного впливу, це:

1. існування зв'язку між обраним перемінним і такими показниками, як ріст, відтворення, виживаність особів, популяції, співтовариства і екосистеми;

2. характер зв'язку між перемінною, що спостерігається і відгуками на нижчих і вищих рівнях організації;

3. специфічність відгуку перемінної до фактора, що його викликає;

4. можливість повернення перемінної до свого первісного значення після припинення дії фактора, що обурює;

5. специфічність дії фактора для визначеної групи організмів.

Друга група включає критерії, що оцінюють ефективність біологічних вимірів, це:

1. характер зв'язку відгуку перемінної з діючим забрудненням;

2. інтенсивність діючого фактора, що викликає відгук перемінної, що спостерігається

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

4. величина відрізка часу, протягом якого формується відгук (години, дні, роки);

5. легкість виявлення перевищення “сигналу” відгуку над природним тлом (“шумом”);

6. точність виміру відгуку перемінної, що спостерігається, .

Третю групу утворюють критерії, що характеризують практичну цінність перемінних, пропонованих для біоіндикації, це:

1. оцінка вартості виміру відгуку перемінної, котра включає вартість капітального устаткування, навчання персоналу і штатів;
2. оцінка діапазону використання відгуку перемінної.

5. Поняття біоіндикатор

Організми або співтовариства організмів, життєві функції яких тісно корелюють з визначеними факторами середовища і можуть застосовуватися для їхньої оцінки, називаються *біоіндикаторами*.

Біотичний компонент геосистем, що знаходиться під впливом літосфери й атмосфери й обладаючий великою чутливістю до умов середовища мешкання, можна розглядати як їхній індикатор.

За допомогою біоіндикаторів принципово можливо:

- виявляти місця скупчень в екологічних системах різного роду забруднень;
- простежити швидкість змін, що відбуваються в НС;
- тільки по біоіндикаторам можна судити про ступінь шкідливості тих або інших речовин для живої природи;
- прогнозувати подальший розвиток екосистеми.

Біологічні системи, застосування яких можливо для виявлення шкідливих антропогенних речовин, досить різноманітні. Програма МСБН "Біоіндикатори" підрозділяє їх на шість підгруп відповідно до шести біологічних дисципліна.

Мікробіологія. Мікроорганізми швидко реагують на забруднення води і ґрунту. Деякі мікроорганізми особливо чуттєві до визначених речовин, інші беруть участь у розпаді забруднень. Указівкою на зміну навколишнього середовища може бути елімінація або збільшення розмаїтості видів. Зміни в співтоваристві мікроорганізмів, збідніння видового складу можуть бути викликані присутністю в середовищі специфічних токсичних агентів.

Ботаніка. Для виявлення специфічних забруднень повітряного басейну і для простежування його динаміки можливе застосування чуттєвих видів. До їхнього числа відносяться нижчі рослини, лишайники, гриби, багато вищих рослин. Відповідний підбор

організмів дозволяє знайти як тривалі, так і короткочасні впливи забруднення. Толерантні або індикаторні види використовуються для визначення границь поширення конкретних ґрунтових умов. Вони вказують на рН ґрунту, його родючість, концентрацію важких металів і можуть бути використані для картування ґрунтів. Індикаційними властивостями володіють також фітоценотичні характеристики рослинних співтовариств у цілому, ступінь зміни яких свідчить про глибину процесів, що протікають у ньому, під впливом забруднення повітря і ґрунтів.

Зоологія. Вивчення окремих видів, а також цілих співтовариств може стати джерелом різноманітних зведень, що стосується нагромадження хімічних речовин у тілі тварин. Дослідження дають можливість більш ефективного вибору підходящого індикаторного виду, що може бути використаний для визначення ступеня токсичності речовини в продуктах харчування людей.

Клітинна біологія і генетика. Чудовими біоіндикаторами є клітинні і субклітинні (включаючи, хромосоми) компоненти організму, адаптовані до визначених умов природного середовища. Уже маються і, можливо, ще з'являться численні тест-системи *in vitro* і *in vivo* для короткочасного і довгострокового спостереження за змінами природного середовища.

Порівняльна фізіологія. Багато тварин, з появою нових агентів у навколишнім середовищі, змінюють своє поведіння. Забруднювач, потрапивши на покриття тіла або в органи подиху може бути вилучений рефлекторним шляхом. Деякі забруднювачі так змінюють поверхню зіткнення, що порушується протікання життєво важливих обмінних процесів. Забруднення в їжі або виводиться травним трактом, або проникає в організм через його різні відділи. Такі хімічні речовини проникнувши в організм, можуть впливати на функціонування ендокринної, нервової, м'язової, серцево-судинної і видільної систем, функціональні зміни можуть бути досліджені на морфологічному, біохімічному і фізіологічному рівнях і можуть указувати на присутність у навколишнім середовищі небезпечних речовин.

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

таких, як важкі метали, пестициди або інші синтетичні хімічні речовини, кислоти. В останні роки в зв'язку зі швидким розвитком атомної енергетики виникла необхідність вибору видів-індикаторів для оцінки теплового забруднення.

Біоіндикаторами можуть бути живі організми, що володіють добре вираженою реакцією на зовнішній вплив: різні види бактерій, водоростей, грибів, рослин, тварин і т.п. Ведуча роль при цьому належить фітоіндикації - вивченню реакцій рослин на стресові впливи. Найчастіше як індикатори використовують лишайники (ліхеноіндикація), мохи (бріоіндикація), судинні рослини (широко використовуються деревні рослини – дендроіндикація).

Особливе положення рослин у екосистемі зв'язано з їхнім автотрофним харчуванням, можливістю створювати під дією енергії Сонця з простих неорганічних з'єднань складні органічні речовини. Для підтримки біогеохімічних циклів біосфери і її гомеостазу необхідно в першу чергу забезпечити оптимальні умови для діяльності продуцентів. Знаходячись на початку трофічного ланцюга, вони визначають кругообіг матерії й енергії в біосфері. У наземних екосистемах з лісовою рослинністю біомаса продуцентів складає 90% і більш від усієї біомаси біоценозу, тому рослинність визначає багато важливих параметрів екосистем. У зв'язку з цим якість середовища варто визначати в першу чергу по реакціях на зовнішній вплив автотрофних організмів - продуцентів. Інтенсивність фотосинтезу і запаси створеної при цьому біомаси не тільки відбивають особливості екологічного стану території, але і є чуйними індикаторами їхніх змін. Рослини є невід'ємним компонентом будь-якого ландшафту. Саме по характеру рослинного покриву можлива безпомилкова оцінка інтенсивності забруднень і порушень геосистем. Особливості хімічного складу, процеси метаболізму, зовнішній вигляд рослин, видовий склад співтовариств і інші флористичні і фітоценотичні ознаки дозволяють визначити стан абіотичних компонентів і їхню зміна під впливом антропогенного навантаження.

Узагальнена схема сучасної класифікації біоіндикаторів представлена на мал. 2.2.

Біоіндикатори можуть бути прямими і непрямими. Якщо реакція живого організму викликана безпосереднім впливом

зовнішнього фактора, то говорять про пряму індикацію. У непрямих індикаторів реакція виникає через систему опосередкованих взаємозалежних реакцій і прямо не зв'язана зі стресовим впливом.

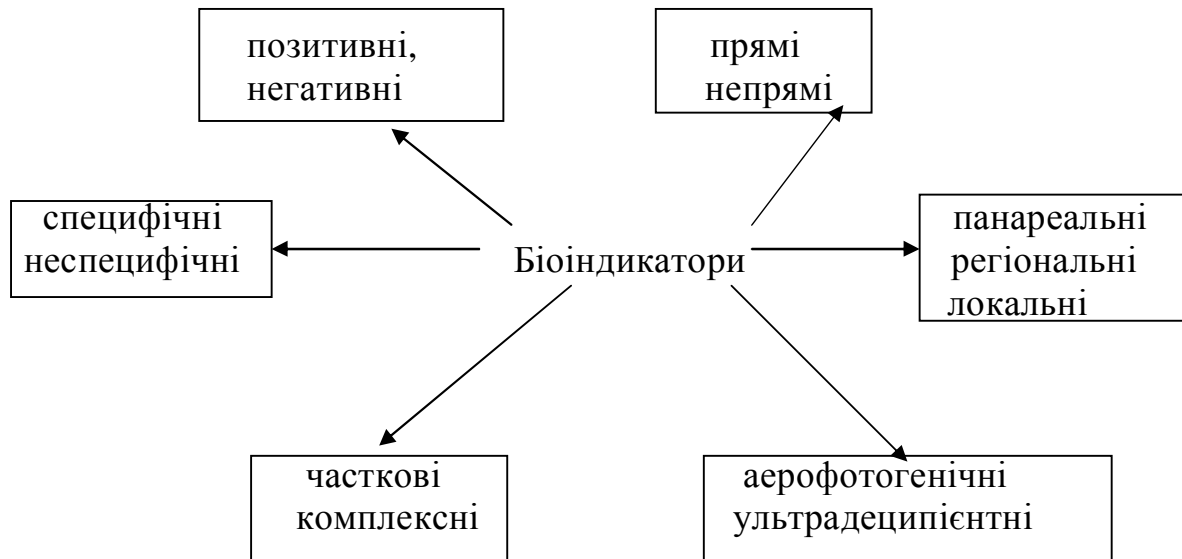


Рис. 2.2 Класифікація біоіндикаторів

Наприклад, під дією діхлорпропіонової кислоти частка злаків на лузі зменшується з 55 до 14% і відповідно збільшується частка різнотрав'я (пряма біоіндикація). Ця зміна співвідношення злаків і різнотрав'я спричиняє зрушення в співвідношенні прямо- і рівнокрилик (непряма біоіндикація)

Біоіндикатори можуть бути позитивними і негативними. Позитивні біоіндикатори характеризуються збільшенням реакції (кількісних характеристик) при наростанні стресу. Так, наприклад, позитивним індикатором вмісту токсичних газів у повітрі є збільшення концентрації поллютантів у біомасі. Наростання рекреаційного навантаження на екосистему індичується збільшенням достатку рудеральних видів рослин: кульбаби *Taraxacum officinale*, сурепки *Barabarea vulgaris*, перстачу гусячої *Potentilla anserina* і ін. Прикладом негативних індикаторів на забруднення атмосферного повітря є зменшення видової розмаїтості, чисельності епіфітних лишайників і утворення так названої “лишайникової пустелі” в умовах постійного високого рівня викидів токсичних газів.

У залежності від реакції біоіндикатора на визначений стресорний фактор виділяють специфічний і неспецифічний характер біоіндикації.

У випадку специфічної біоіндикації реакція організму є характерною для якого-небудь визначеного стресора. Існують такі види, у яких можуть з'являтися явні симптоми впливу, що свідчать про присутність у навколишнім середовищі одного або декількох забруднюючих речовин. Вони можуть також виявляти і специфічні симптоми, що дозволяє проводити і кількісні виміри рівня забруднення.

Однак часто в біоіндикаторів, особливо рослин, та сама реакція викликається різними стресорами або їхнім сполученням. Здатність організмів однаково реагувати на зміну різних факторів середовища утрудняє виявлення щирих 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 і порівняльна оцінка нагромадження полутантов у рослинах з фоновими характеристиками.

Якщо при біоіндикаційних дослідженнях використовується один (частний) 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. По ступені дешифрування індикатори діляться на аерофотогенічні (добре помітні на матеріалах дистанційних зйомок) і ультрадеципієнтні (помітні при детальних наземних дослідженнях).

По ступені 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 всього ареалу; регіональні – що зберігають своє значення лише в межах однієї чи декількох областей з подібними фізико-географічними умовами; локальні – що володіють стійким зв'язком з об'єктом індикації тільки на якійсь

визначеній території. Панареальні індикатори звичайно є прямими, регіональні і локальні індикатори частіше бувають непрямыми.

6. Чутливість і вірогідність біоіндикаторів

Істотною рисою біоіндикаторів є чутливість. Проява реакції організму при незначних відхиленнях характеризується як рання індикація. Частина видів, навпаки, накопичує вплив без швидкого прояву. Такі біоіндикатори називаються акумулятивними.

Якщо біоіндикатор реагує значним відхиленням життєвих проявів від норми, то він є чуттєвим біоіндикатором.

До чуттєвих біоіндикаторів відносяться лишайники, мохи, ґрунтові і водні мікроорганізми (водорості, бактерії, мікрогриби). У ролі біоіндикаторів можуть бути використані пилок рослин, хвоя сосни звичайної й ін. Серед тварин також виділяються групи організмів, позитивно або негативно реагуючі на різні форми антропогенної трансформації середовища (ракоподібні, хірономіди, молюски, личинки ручейників, поденщин, веснянок і ін.). Чуттєвими біоіндикаторами можуть служити як окремі процеси в клітині й організмі (зміна ферментативної активності, зміна в пігментному комплексі), так і морфологічні зміни (зміни форми і розміру листової пластинки, зменшення тривалості життя хвої).

У залежності від часу розвитку індикаційних реакцій можна виділити 6 типів чутливості (рис. 2.3).

I тип: дає одноразову реакцію через визначений час і відразу втрачає чутливість;

II тип: як і в першому випадку реакція сильна і раптова, продовжується визначений час; потім різко зникає;

III тип: зберігає постійну чутливість протягом тривалого часу;

IV тип: після негайної сильної реакції спостерігається її спочатку швидке, а потім більш повільне загасання;

V тип: з появою впливу, що порушує, реакція наростає до максимуму, а потім поступово загасає;

VI тип: реакція V типу неодноразово повторюється.

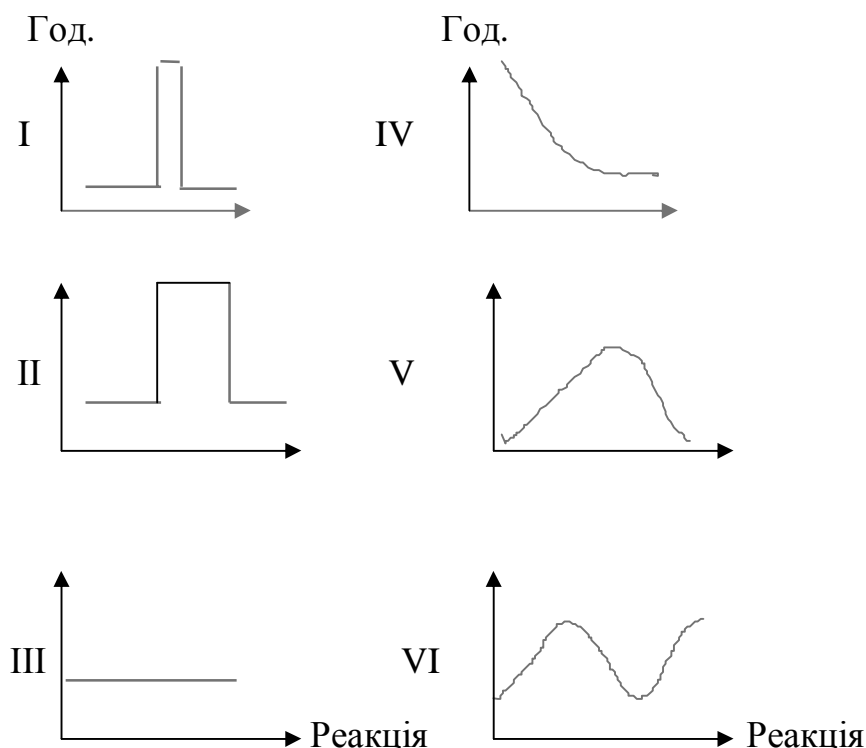


Рис. 2.3. Типи біоіндикації в залежності від розвитку реакції в часі

Важливою характеристикою будь-якого індикатора є його вірогідність. Єдиних загальноприйнятих способів оцінки вірогідності не розроблено. У ботанічних і геоботанічних дослідженнях з цією метою використовуються різні шкали, що оцінюють ступінь спряженості (спільної зустрічальності) індикатора й об'єкта індикації. Одна з розповсюджених шкал вірогідності приведена нижче.

По ступені вірогідності виділяють наступні індикатори.

Виняткові - поширені тільки на об'єкті індикації і не зустрічаються на інших. Спряженість 95-100% - V_{5a} .

Постійні - поширені майже на всіх об'єктах індикації і практично не зустрічаються на інших. Спряженість 80-95% - V_5 .

Перемінні - поширені здебільшого на об'єктах індикації, але зустрічаються і на інших. Спряженість 60-80% - V_4 .

Відносні - поширені на об'єктах індикації в тій же кількості, що і на всіх інших об'єктах. Спряженість 40-60% - V_3 .

Індиферентні - не мають переваги в поширенні на об'єкті індикації і зустрічаються рівнозначно на інших об'єктах. Спряженість 40-10% - V_2 .

Негативні - поширені на об'єктах тла і не зустрічаються зовсім або дуже рідко на об'єкті індикації. Спряженість 0-10% - V_1 .

Шкала вірогідності індикації

| Число випадків (у % від N) | | Ступінь вірогідності |
|----------------------------|---|----------------------------------|
| Спільні зустрічі | Індикатор зустрінутий поза об'єктом індикації | |
| 100 | 0 | Найвища (абсолютний індикатор) |
| 90 | 10 | Висока (вірний індикатор) |
| 75-90 | 10-25 | Достатня (задовільний індикатор) |
| 60-75 | 25-40 | Низька (сумнівний індикатор) |
| 60 | 40 | Незначна (індикація неможлива) |

Для оцінки вірогідності зв'язку індикатора й об'єкта індикації С.В. Вікторовим запропонований евристичний показник вірогідності індикаторів:

$$V_1 = a(N - a), \quad (2.1)$$

де a - число площадок спільної присутності об'єкта індикації й індикатора, N - загальне число спостережень.

Вірогідність індикатора використовується разом з показником значимості індикатора:

$$Y_2 = a/N, \quad (2.2)$$

де a і N - ті ж.

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

Фонові - зустрічаються в 80-100% площадок на об'єкті індикації (F_5).

Рясні - зустрічаються в 60-80% площадок на об'єкті індикації (F_4).

Спорадичні - зустрічаються в 40-60% площадок на об'єкті індикації (F_3).

Рідкі - зустрічаються в 20-40% площадок на об'єкті індикації (F₂).

Одиничні - зустрічаються в 5-20% площадок на об'єкті індикації (F₁).

Індикатори можуть мати різні спряженість і зустрічальність. Виходячи зі співвідношення спряженості і зустрічальності, виділяються наступні біоіндикатори (Віноградов, 1964):

Абсолютні - мають найбільше індикаторне значення. Вони характеризуються високою спряженістю і високої зустрічальністю - V_{5,4} і F_{5,4}.

Унікальні - мають високу спряженість і знижену зустрічальність на об'єкті індикації - V_{5,4} і F_{1,2}

Вульгарні - мають низьку спряженість, але високу зустрічальність на об'єкті індикації - V_{2,3} і F_{5,4}

Як приклади різних типів біоіндикаторів можна привести *Thymus drucei* на серпентинітах Шотландських островів - спряженість 82%, зустрічальність 86% - абсолютний індикатор. Види, що зустрічаються там же рідкі, *Agenaria norvegica* (100 і 4% відповідно) і *Polygala serpyllifolia* (87 і 20% відповідно) є унікальними індикаторами. До вульгарних індикаторів відносяться багульниково-вільхові лиственничники, розповсюджені на півночі тайги Західної Якутії як на кімберлітах, так і на всіх ґрунтах трапів і ізвестняків. Спряженість їх з кімберлітовими трубками складає 18%, зустрічальність - 90%.

Одним із широко розповсюджених методів біоіндикації є метод еталонів. Суть його полягає в порівнянні досліджуваних екосистем з деякою фоною, прийнятої за зразок по цікавлячих параметрах. Метод особливо актуальний при індикації забруднень, коли порівняння ведеться з природними показниками і характеристиками, не порушеними антропогенезом. Еталони будуть різні в залежності від рівня біоіндикації. На фізіологічному і біохімічному рівнях для оцінки зміни хімічного складу біомаси організмів можна використовувати кларки, гранично допустимі концентрації (ГДК), гранично допустимі рівні (ГДР), орієнтовні допустимі концентрації (ОДР) і нормативні показники. Вміст забруднюючих речовин у рослинах можна порівнювати з хімічним складом гербарних екземплярів, зібраних у період, що передує

антропогенним впливам. Зміна параметрів фізіологічних процесів і кількісних характеристик окремих показників в антропогенно порушених екосистемах звичайно зіставляють з фоновими умовами або середньостатистичними показниками.

Для оцінки морфологічної, анатомічної і біоритмічної мінливості порівняння може здійснюватися по перерахованих параметрах у фонових умовах, на територіях заказників і заповідників. Для рослин еталонами можуть бути гербарні колекції, зібрані раніше в період, що передує техногенезу. При використанні показників вищих рівнів біоіндикації еталонами можуть служити фондові матеріали лісо- і землевпорядних організацій, карти місцевості різного років зйомки, спеціальні тематичні карти (карти ґрунтів, рослинності, геологічні, геоморфологіческие й ін.).

8. Вимоги до біоіндикаторів

Біологічні методи допомагають діагностувати негативні зміни в природному середовищі при низьких концентраціях забруднюючих речовин. При цьому використовувані види - біоіндикатори повинні задовольняти наступним вимогам:

- це повинні бути види характерні для природної зони, де розташовується даний об'єкт;
- організми-індикатори повинні бути поширені на всій досліджуваній території повсюдно;
- вони повинні мати чітко виражену кількісну і якісну реакцію на відхилення властивостей середовища мешкання від екологічної норми;
- біологія даних видів-індикаторів повинна бути добре вивчена.

А.М.Степанов (1988) називає наступні критерії при виборі біоіндикаторів:

- 1) широкий ареал;
- 2) евритопність (еврібіотність);
- 3) осілість;
- 4) антисіантропність;
- 5) індикаційна пластичність;
- 6) достатню біомасу;
- 7) простоту видобутку й обліку;

8) вивченість виду і внутрішньовидових таксонів.

Відповідно до зазначених критеріїв при біоіндикаційних дослідження рекомендовані наступні ссавці: кроти *Thalpa europaea*, *T. altaica*; буроzubка *Sorex arenius*; полівки *Clethrionomys glareolus*, *C. rutilus*; куниця *Microtus lupus*; соболь *Microtus ribellina*; козуля *Capreolus capreolus*; лось *Alces alces*; лисиця *Vulpes vulpus*; песець *Lepus lagopus*; вовк *Canis lupus*; ведмідь *Ursus arctos*.

Найбільш показовими представниками ґрунтової мезофауни є жужелиці *Carabidae*, личинки жуків-щелкунов - проволочники *Elateridae*, кістянки *Lithobiomorpha*, мертвоїди *Silphidae*, лісові руді мурахи *Formica rufa*, дощові хробаки *Lumbricus terrestris*, наземні молюски *Deroceras sp.* і ін.

Зі збільшенням антропогенного впливу на природне середовище біогеоценози перетерплюють глибокі зміни у своїй структурі, функціонуванні і розвитку, що приводять до порушення екологічної рівноваги й в особливо серйозних випадках - до повної деградації екосистем. Високою реакційною здатністю у відповідь на антропогенний або природний вплив володіє рослинний покрив. На вивченні відповідних реакцій рослинного покриву ґрунтуються методи фітоіндикації, що дозволяють установити ступінь забруднення даного району або ступінь порушення екосистеми. У якості біоіндикаторів використовуються різні групи організмів, але найбільше часто застосовують лишайники (ліхеноіндикація), мохи (бріоіндикація) і вищі рослини (особливо хвойні породи дерев).

Ведуча роль у біоіндикації стану навколишнього середовища належить деревним рослинам. Вони здатні поглинати і нейтралізувати частину атмосферних поллютантів, затримувати пилові частки, а також індицирувати особливості забруднення за допомогою розмаїтості відповідних реакцій.

До числа переваг фітоіндикації перед інструментальними методами можна віднести її відносно низьку вартість, високу швидкість одержання інформації і можливість характеризувати стан середовища за тривалий проміжок часу.

При проведенні фітоіндикаційних досліджень, поряд із зазначеними вище критеріями при виборі біоіндикатора, необхідно дотримуватись додаткових рекомендацій:

1. Вивчати одновікові екземпляри.

2. Відбирати середню пробу з декількох екземплярів рослин (8-10 екземплярів).

3. Проводити добір проб з однієї висоти і по всій окружності крони дерев.

4. Оцінювати проективне покриття лишайників на стороні їхнього максимального розвитку.

5. Проводити добір проб на аналіз вмісту хімічних речовин по окремих органах: листи, гілки, кора, деревина і т.д.

Виходячи з названих критеріїв, рекомендовані наступні види-фітоіндикатори:

Деревні породи: сосна звичайна *Pinus sylvestris*; їли *Picea abies*, *P. obovata*; берези *Betula pendula*, *B. pubescens*; липа *Tilia cordata*; дуб *Quercus robur*; тополя *Populus sp.*

Види чагарникового ярусу: верба *Salix sp.*, шипшина *Rosa sp.*, карликова берізка *Betula nana*.

Види трав'яно-чагарникового ярусу: брусниця *Vaccinium vitis-idaea*; чорниця *V. myrtillus*; багна *Ledum palustre*, *L. decumbens*.

З трав'янистих рослин найбільшою індикаторною вірогідністю володіють: представники сімейств складноцвіткових *Asteraceae*, розоцвіткових *Rosaceae*, губоцвіткових *Lamiaceae*, норичникових *Scrophulariaceae*.

Слід зазначити, що більшість видів осок (сем. *Cyperaceae*) і злаків (сем. *Poaceae*) індиферентні до поглинання хімічних елементів - пріоритетних полютантов. Тому їх не слід відбирати в проби при біоіндикаційних дослідженнях антропогенного забруднення.

У степовій зоні видами-індикаторами можуть служити: *Salvia stepposa*, *Veronica incana*, *V. spicata*, *Phlomis tuberosa*, *Artemisia austriaca*, *A. Marschalliana* і ін.

Мохоподібні або бріофити (*Briophyta*). Найбільш чуттєві і показовими є наступні види мохів: *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum formosum*, *Hypnum cupressiforme*, *Pseudoschleropodium purum*, *Rhytidiadelphus squarrosus*.

Надійними індикаторами антропогенних впливів зарекомендували себе лишайники: кладонії *Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*, *Cetraria islandica* і ін.

ЛЕКЦІЯ 3 БІОХІМІЧНІ ТА ФІЗІОЛОГІЧНІ РЕАКЦІЇ НА АНТРОПОГЕННІ СТРЕСОРИ

План

1. Молекулярний рівень
 - 1.1 діагностичне значення біохімічних і фізіологічних показників;
 - 1.2 регуляція обміну речовин і біоіндикація;
 - 1.3 показові ушкодження молекулярного рівня
2. Клітинний рівень
 - 2.1 хімічний склад клітини;
 - 2.2 стан органодів
 - 2.3 хромосомні порушення

1. Молекулярний рівень

Розглядаючи два організми на молекулярному рівні, що належать до одного сімейства або загону, а іноді і до різних таксонів, ми бачимо більше подібності, чим розходження. Високий ступінь подібності молекулярно-клітинної організації і біохімічних перетворень у порівнянні з більш високими рівнями організації не може не дивувати. Це вдається простежити при переході від найнижчого рівня організації живого до вищого. Помітні розходження виявляються навіть у близькорідних видів тільки при переході на більш високі рівні організації (тканина, органи, організм).

Ці розуміння дозволяють припустити, що відповідні реакції різних організмів, що відносяться до одного сімейства або роду, при дії токсичних речовин на молекулярному рівні не будуть сильно розрізнятися. Це у свою чергу дає можливість екстраполювати результати, отримані в опитах з одними організмами на тканинному або організменному рівні.

1.1 Діагностичне значення біохімічних і фізіологічних показників

З біоіндикацією тісно зв'язані динамічна рівновага і стабільність біологічних систем. Екосистеми досить стабільні. При зміні факторів середовища і під впливом стресорів, тобто при

навантаженні, вони можуть переходити в інші стабільні стани. Організми теж здатні у визначених границях адаптуватися до змінених умов існування. У меншому ступені це відноситься до органел, таких як мітохондрії або хлоропласти, а також до біохімічних або фізіологічних реакцій. Межі їхнього протікання відносно вузькі, тому вони досить чуттєві до порушень.

На рівні організмів і екосистем вплив стресорів помітний завдяки появі зовнішніх симптомів ушкоджень. Наприклад, за реакцією індикаторних рослин можна простежити по виникненню визначеного ушкодження (некроз, хлороз).

На клітинному і субклітинному рівнях вплив стресорів найчастіше приховано від спостереження. Як синоніми в літературі широко використовуються поняття «фізіологічні ушкодження», «латентні ушкодження», «тонкі ушкодження». Однак при досягненні визначених кількісних параметрів стресора невидимі ушкодження приводять до зниження продуктивності, появі морфологічної мінливості або тератов і т.д. Якщо необхідно вчасно запобігти необоротній зміні, то раннє розпізнавання саме цих порушень стає вирішальним, тому що чуттєві біохімічні і фізіологічні параметри «уловлюють» дуже незначні концентрації стресора. Крім того, біоіндикація на біохімічному і фізіологічному рівні дозволяє зрозуміти механізм дії стресорів:

- видимі симптоми якого-небудь ушкодження - результат змін в обміні речовин рослин і тварин;
- точне знання механізмів дії стресора дозволяє провести ранню діагностику порушень;
- можна установити механізм адаптацій і почати захисні міри.

1.2 Регуляція обміну речовин і біоіндикація

Обмін речовин кожної живої клітини підкоряється наступним принципам:

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

Його задачі можна звести до наступних:

– постачання енергії у формі АТФ, необхідної для численних реакцій;

– постачання попередників - мононуклеотидів, амінокислот, моносахаридів - для синтезу нуклеїнових кислот, білків, вуглеводів;

– біосинтез біомакромолекул – ферменти, гормони, пігменти, резервні речовини.

За всі процеси обміну речовин у першу чергу несуть відповідальність нуклеїнові кислоти (носії генетичної інформації) і білки (ферменти і структурні елементи). Необхідно, щоб ці макромолекули функціонували з відповідною швидкістю.

Регуляція обміну речовин здійснюється за допомогою численних ферментів, тому найбільш чуттєві з них можуть бути важливими індикаторами порушень. Стресори насамперед впливають на активність і кількість ферментів.

1.3 Показові ушкодження молекулярного рівня

Для біоіндикації вирішальне значення мають дії стресорів на наступні етапи обміну речовин:

1) концентрація макромолекул (наприклад, змінюється кількість ферментів);

2) активність макромолекул (наприклад, ферментативна) - у цілому відзначається збільшення їхньої активності при низьких концентраціях забруднюючих речовин і зниження - при високих.;

3) зниження енергетичного балансу;

4) порушення процесу фотосинтезу;

5) продукування речовин із захисними функціями (наприклад, проліна), збільшення сахарози і фруктози з метою самозахисту;

6) передчасне включення механізмів старіння організму: характерною ознакою є збільшення вмісту гормонів, що регулюють дозрівання плодів, старіння й опадання листя і т.д. (етилен, абсцизова кислота й ін.);

Зупинимось більш докладно на біоіндикаційних ознаках молекулярного рівня.

Концентрація (кількість) ферментів, пігментів:

а) хлорофіл - у якості біоіндикаторної ознаки в рослин використовують зменшення змісту хлорофілу, зменшення співвідношення хлорофілів а і б, збільшення змісту феофітіну. Зниження змісту

зелених пігментів у листах може відбуватися внаслідок руйнування хлорофілів і перетворення їх у феофітини під впливом стресорів, що впливають на ферменти, що каталізують утворення цього пігменту;

б) співвідношення каротіноїдів – листах і хвої, що підкорилися дії фотоокислювачів (фотохімічного смогу) і газодимових викидів двоокису сірки, вміст лютеїну підвищується, а бета-каротіну знижується;

в) металотіонеїни - процеси детоксикації деяких важких металів у багатьох видів йдуть шляхом їхнього зв'язування з металотіонеїновими білками; при дії ртуті в концентрації 5 мкг/л на лосося було виявлено значне збільшення концентрації ртуті в тканинах; при дії ртуті в концентрації 1 мкг/л подібного ефекту не спостерігалось, очевидно, тому, що весь метал утворював комплекси з металотіонеїнами;

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

Ферментативна активність. За біохімічними і фізіологічними реакціями на антропогенні стресори можна стежити по змінах активності визначених ферментів. Вони можуть бути індикаторами порушень обміну речовин:

а) глюкозо-6-фосфатдегідрогеназа - є ключовим ферментом прямого окислювання глюкози, реагує підвищенням активності на різні види стресу; підвищення активності спричиняє переключення на енергетично не вигідне розщеплення глюкози по шляху гліколізу;

б) ферменти амінокислотного обміну також змінюють свою активність, у результаті чого підсилюється розпад білків і знижується їхній синтез;

в) пероксидази – їхня активність підвищується у відповідь на посилення утворення токсичних перекисів H_2O_2 під дією стресорів; визначення цієї активності дозволяє виявити порушення обміну речовин, що виникає під дією фтористих, транспортних, утримуючих двоокис сірки або озон газодимових викидів;

г) оксигенази зі змішаною функцією - цитохром Р-450 - гемопротейд, що утримується в оксигеназних системах, можна без перебільшення віднести до універсальної молекули. Вона виявлена в бактерій, вищих рослин і ссавців. Поряд з основними функціями цитохром Р-450 може брати участь у метаболізмі чужорідних з'єднань. У визначених умовах зміна активності оксигенази зі змішаною функцією в організмів, узятих з природних популяцій, може свідчити про хронічне або гостре забруднення нафтопродуктами.

Енергетичний баланс. Показник енергетичного стану організму дозволяє оцінювати кількість хімічно зв'язаної енергії, запасеної в пулі аденінових нуклеотидів і доступної в даний момент для метаболічних процесів в організмі. Енергетичний стан клітини характеризують за допомогою “енергетичного заряду” і визначається по формулі:

$$e.3 = \frac{[АТФ] + [0,5АДФ]}{[АТФ] + [АДФ] + [АМФ]} \quad (3.1)$$

Це відношення являє собою важливий контрольний критерій і міру життєздатності системи. Завдяки механізмам регуляції обміну система АТФ - АДФ - АМФ відносно стабільна. Установлено, що активність одних ферментів залежить від концентрації АТФ, активність інших визначається концентраціями АДФ, АМФ або співвідношеннями АТФ/АМФ; АТФ/АДФ. Установлено негативний вплив стресорів на утворення АТФ. При дії стресора “енергетичний заряд” знижується з 0,8 до 0,2: зниження його значення до 0,5-0,75 означає, що процеси споживання й акумулювання енергії розбалансовані під впливом несприятливих факторів; у стресових умовах значення енергетичного потенціалу нижче 0,5. Після видалення стресора енергетичний потенціал знову досягає своєї первісної величини.

Основні достоїнства методу з використанням енергетичного потенціалу як показника впливу забруднюючих речовин на біоту полягають у наступному:

1) різниця між значеннями енергетичного потенціалу в нормальних і стресових умовах є величина постійна для даного організму;

2) внутрішньовидові розходження значень енергетичного потенціалу дуже малі, що дозволяє працювати з вибіркою невеликого обсягу;

3) відповідь на стресовий вплив може бути зареєстрована швидше, ніж при використанні інших показників.

Фотосинтез. Цей процес дуже чутливий до зміни факторів зовнішнього середовища. Під дією стресорів фотосинтез придушується. Фотосинтетична активність хлоропластів пов'язана з пігментами, що поглинають випромінювання з довжиною хвиль від 400 до 700 нм. Хлорофіл виявляє здатність до флуоресценції - спонтанному випромінюванню світла. Ця особливість хлорофілу була запропонована як індикаторна ознака порушень, викликаних у рослин газодимовими викидами.

На рис. 3.1 приведені криві зміни флуоресценції під дією SO_2 .

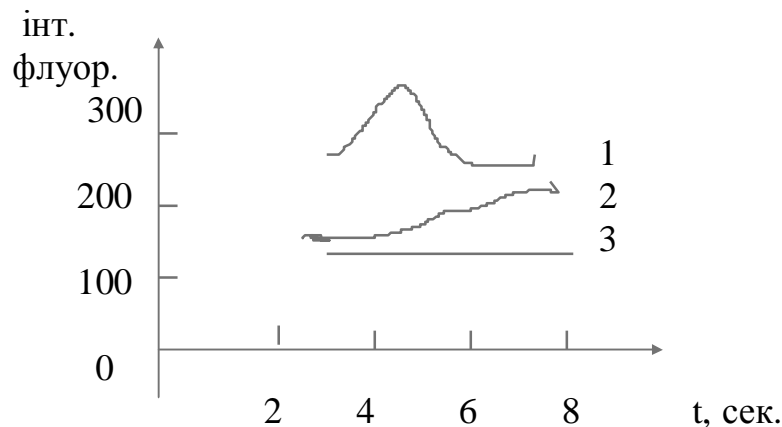


Рис. 3.1. Фотосинтетична активність хлоропластів: 1 - контроль (6 хв. темнова фаза перед виміром); 2 - 30 сек. передуючого висвітлення; 3 - $25 \text{ млн.}^{-1} \text{ SO}_2$, темнова фаза і попереднє висвітлення.

Контроль чітко демонструє ефекти світлової і темної фаз, що відсутні в обробленій пробі. Розвиток флуоресценції хлоропластів служить критерієм життєздатності при забрудненні двоокисом сірки.

Асиміляція CO_2 . Під дією SO_3^{2-} , спостерігається гальмування фотосинтетичної фіксації CO_2 , через конкурентне зв'язування біологічно активною формою двоокису сірки ключового ферменту фотосинтезу - рібулозодіфосфаткарбоксилази (інгібуюча концентрація $3 \text{ ммоль } \text{SO}_3^{2-}$).

2. Клітинний рівень

2.1 Хімічний склад клітини

А. Акумуляція шкідливих речовин - шкідливі з'єднання, що поглинаються організмом, можуть бути або перетворені в ході обміну речовин, або включені в загальний метаболізм. Однак звичайна більшість елементів шкідливих речовин придатно для використання лише в невеликих кількостях і є присутня у незабруднених організмах лише у виді слідів (хлор, важкі метали - свинець, кадмій, цинк). Їхня акумуляція вище природного вмісту може бути використана в якості індикаційної ознаки для визначення рівня стресового навантаження. Виявлено тісний зв'язок між вмістом свинцю в листах рослин і інтенсивністю руху в містах.

Б. Білки й амінокислоти - зменшення змісту розчинних білків - загальна індикаторна ознака; причиною є підвищення їхнього розпаду до амінокислот. У вищих рослинах білок пролін бере участь у здійсненні водного балансу, ця амінокислота вважається індикатором стресу, особливо водного; після впливу багатьох стресорів кількість вільного проліна збільшується.

В. Вуглеводи - у рослинах, оброблених SO_2 , збільшується вміст глюкози і фруктози, що забезпечує механізм самозахисту рослин; автомобільні викиди і солі свинцю впливають на метаболізм вуглеводів менше, ніж двоокис сірки.

Г. Ліпіди - з ростом забруднення газодимовими викидами (ліс <парк <міський центр) відбуваються значні зміни складу жирних кислот, що входять до складу ліпідів, особливо збільшують свою концентрацію лінолева і ліноленова кислоти; підвищення концентрації цих кислот відзначено в старіючих листах рослин, тому не можна виключити вплив стресорів, що прискорює процеси старіння; автомобільні вихлопи сильніше діють на збільшення концентрації жирних кислот, чим двоокис сірки.

2.2 Стан органотидів

А. Біомембрани. Будівля і склад біомембран - бімолекулярної ліпоїдної плівки з білковими шарами, відкладеними з обох її сторін - забезпечують виборчу проникність і спрямований транспорт речовин усередину клітини. SO_2 дифундує, подібно CO_2 через

мембрани клітин, розчиняється у воді клітинної стінки, утворює іони $\text{SO}_3^{2-} / \text{HSO}_3^-$, що руйнують клітинну мембрану. Ці порушення виявляються в підвищенні проникності, зміні рН, ферменти, зв'язані з мембраною, вивільняються і переходять в інші ділянки. У нормі клітина забезпечена від змін рН. Поглинання SO_2 і його перетворення в сірчисту кислоту, змінює буферну ємність клітини, найчастіше вона значно знижується. А тому що каталітичні функції ферментів залежать від рН, зниження буферної ємності може привести до значних порушень обміну речовин. Подібним ефектом для мембран клітин, що ушкоджує, володіють озон, важкі метали - кадмій, цинк, нікель.

Б. Зміна внутрішньоклітинних структур:

- розширення цистерн ендоплазматичного ретикулула (Zn);
- відкладення кристалічних включень у хлоропластах квасолі (Cl);
- грануляція цитоплазми і руйнування хлоропластів (SO_2 , Cl).

В. Стабільність лізосом. Лізосоми в багатьох відносинах є ідеальною клітинною органелою для досліджень інтегрального відгуку на вплив несприятливих факторів середовища. Лізосомний комплекс утворює внутрішньоклітинну травну систему, що здатна катаболізувати як ендогенні клітинні компоненти, так і екзогенні речовини. Вважають, що в нормі основною функцією лізосом є розщеплення цитоплазматичних компонентів усередині вакуолі. У стресових умовах лізосоми можуть перейти на гетерофагію, що включає ендоцитоз (піноцитоз і фагоцитоз). Таким шляхом може відбуватися внутрішньоклітинне споживання речовин. Одною з фундаментальних біохімічних властивостей лізосом є ізоляція гідролітичних ферментів, що володіють величезною руйнівною силою. При порушенні стабільності лізосом можлива активізація гідролітичних ферментів і в деяких випадках вихід їх у цитоплазму, що приводить до часткового або повного цитолізу. Виявлено, що лізосоми здатні накопичувати ароматичні вуглеводні, азбест, кремнезем, похідні аміноазобензину, бериліт, металеві порошки і віруси, а також іони міді, заліза, свинцю, цинку, нікелю, срібла, ртуті і плутонію. Коли нагромадження цих речовин у лізосомах перевищувало деякий рівень, мембрани лізосом руйнувалися і, як наслідок, спостерігалася активація та вихід ферментів у цитоплазму.

Г. Зміни розмірів клітини - зменшення клітин епідерміса листів (SO_2).

Д. Плазмоліз - відшаровування плазми від клітинної стінки (дія кислот і SO_2).

2.3 Хромосомні порушення

Хронічна або випадкова присутність забруднюючих речовин антропогенного походження може привести, до різних порушень генетичного плану (рис.3.2).



Рис. 3.2. Генетичні наслідки впливу забруднення на популяцію

Наприклад, присутність забруднюючих речовин може змінити склад генетичного пула, що в умовах генетичної мінливості в межах популяції приведе в результаті адаптації до зміни усередненого фенотипу популяції. Забруднююча речовина може безпосередньо

впливати на генетичний матеріал або викликати різного роду мутації. При наявності спеціальної системи лабораторних тестів на мутагенність генетик може визначити, які речовини, що надходять у середовище, мають мутагенні властивості.

На рис. 3.3 представлена схема можливого впливу антропогенного стресора на молекулярному і клітинному рівнях.

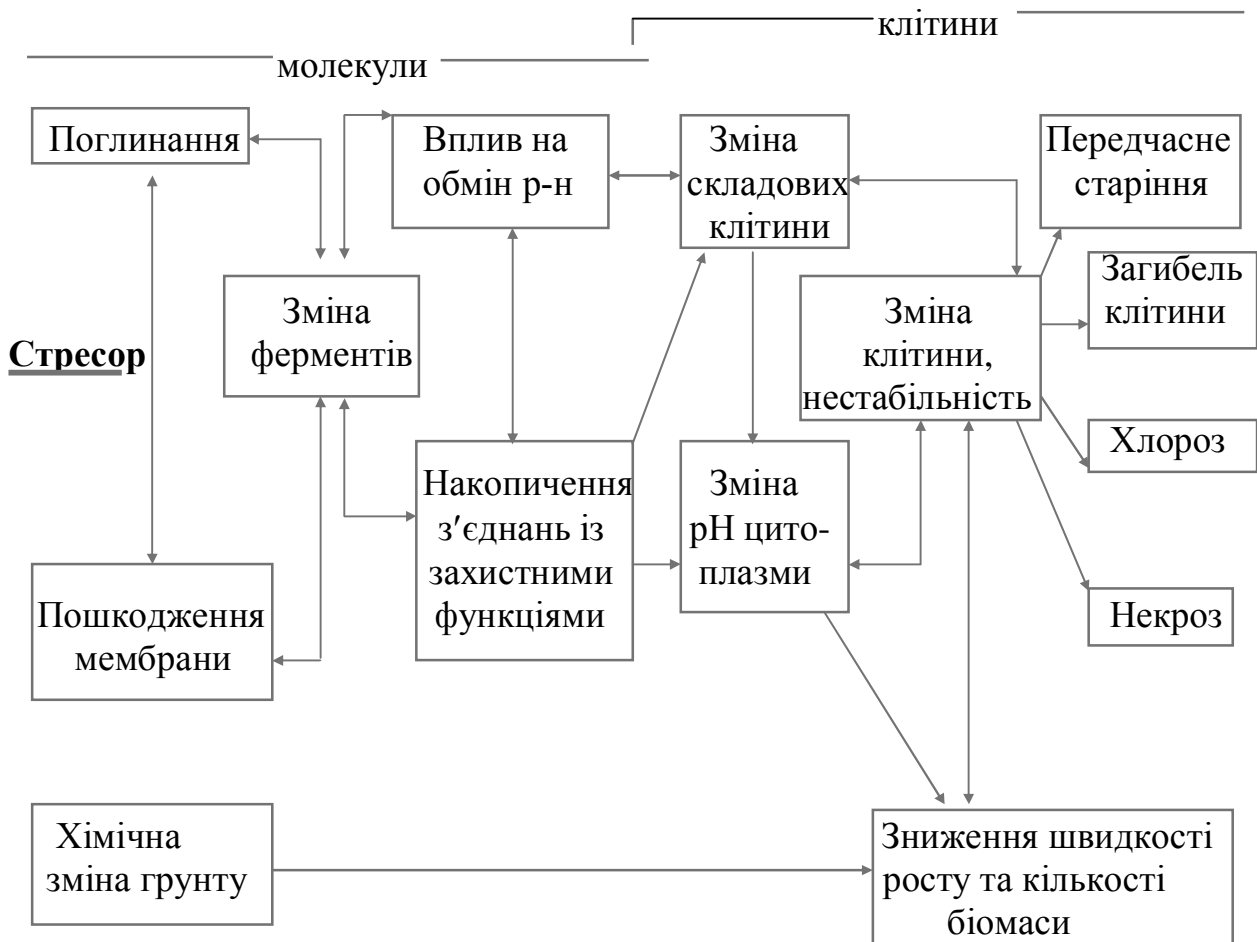


Рис. 3.3. Можливі впливи стресора на молекулярному і клітинному рівні

З урахуванням загальних принципів біоіндикації (див. лекцію 1) будь-який ефект може бути використаний як індикаторна ознака тільки тоді, коли відповідний параметр системи x швидко і відчутно реагує на зміну якого-небудь параметра середовища p (вплив стресора), тобто коли $\left| \frac{dx}{dp} \right| \geq 0$. Рис. 3.4 пояснює ці взаємозв'язки.

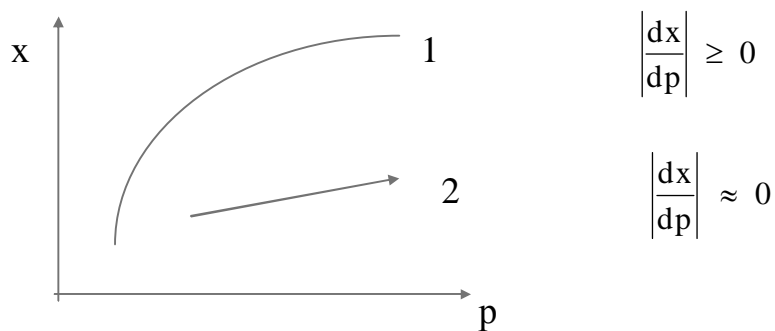


Рис. 3.4. Чутливість біоіндикації: 1 - параметр зручний для біоіндикації;
2- параметр, непридатний для біоіндикації

Фізіологічні, біохімічні й особливо ферментні аналізи дуже складні і зв'язані з визначеними вимірювальними пристроями. Далеко не в кожному випадку реакція, що спостерігається, може бути однозначно зіставлена з антропогенним стрессором. Так, забруднення повітря чітко виявляється лише тоді, коли його вплив явний перевершує вплив всіх інших факторів середовища. Однак біоіндикація на першому рівні (див. лекцію 1) з метою ранньої діагностики необхідна в областях із забрудненням від низкою до середньої, де спостерігати видимі ушкодження організмів ще неможливо.

ЛЕКЦІЯ 4 БІОІНДИКАЦІЯ НА ТКАНИННОМУ Й ОРГАНІЗМЕНОМУ РІВНЯХ

План

1. Загальна характеристика анатомо-морфологічних відхилень у результаті стресових впливів
2. Тканинний рівень
 - 2.1 макроскопічні зміни морфології рослин ;
 - 2.2 патологічні прояви у тварин
3. Організменний рівень
 - 3.1 зміна фарбування листів і тіла тварин, а також скульптури поверхні
 - 3.2 зміна розмірів і продуктивності рослин і тварин
 - 3.3 зміна форми росту, екобиоморфних ознак
 - 3.4 показники пошкодження тварин

1. Загальна характеристика анатомо-морфологічних відхилень у результаті стресових впливів

Ще в середині ХІХ ст. були відзначені ушкодження рослин димом навколо бельгійських і англійських содових фабрик.

У ряді країн морфологічні індикатори використовуються в національній системі моніторингу вже більш 30 років. За допомогою методів біоіндикації, заснованих на морфології рослин, отримана велика частина картосхем антропогенного впливу.

Одним із широко застосовуваних методів екологічної оцінки стану навколишнього середовища є аналіз особливостей морфологічної будови біологічних об'єктів. Нагромадження поллютантів в організмі, порушення метаболізму, приводять до зміни будови тканин, органів і в цілому до модифікації діагностичних ознак видів.

При оцінці екологічного стану навколишнього середовища по морфологічних відхиленнях як індикатори повинні бути обрані найбільш чутливі види, що володіють добре вираженими, яскравими і легко розпізнаваними реакціями на визначений антропогенний вплив. Чутливість живих організмів до поллютантів залежить від генетичної структури, стадії розвитку, умов зовнішнього середо-

вища, концентрації полютанта і міняється протягом вегетаційного сезону в залежності від віку.

На практиці здійснюється основний підхід до вивчення таких відхилень - це детальний візуальний підхід, що містить у собі вивчення анатомо-морфологічних ознак. Вивчення анатомо-морфологічних ознак, не потребуючих великих матеріальних витрат, має особливе практичне значення для експрес-оцінки інтенсивності техногенного впливу на екосистеми. Ефективне застосування морфологічних показників як індикаторних ознак: висоти рослин, довжини і ширини листів, міжвузлій і т.д. У деревних видів можливе вивчення таких морфологічних ознак, як висота стовбурів, висота прикріплення крони, першої живої гілки, висота кірки, що відшаровується, стан і розрідженість крони, суховершинність і ін. Можливість кількісної оцінки перерахованих параметрів при порівняльному аналізі фонових і антропогенно порушених територій із застосуванням апарата математичної статистики підвищує надійність і вірогідність прогнозу антропогенної сукцесії і висновків про сучасний стан екосистем.

Виникнення виродливих форм (тератов), поява хлорозу і некрозу є крайньою формою прояву стресового впливу. Але такі яскраві відхилення в розвитку організму є лише якісними ознаками стресової ситуації і не дають представлення про інтенсивність впливу або частоті стресу. Перехід до кількісної характеристики досягається за рахунок використання бонітировочних шкал некрозів, хлорозів або, наприклад, шкали тривалості життя хвої (листя) деревних порід. Інтенсивність впливу діагностується ступенем поразки (% покриття) листів хлорозом або некрозом, представленої у виді відповідних класів. Морфологічні показники деревостою можуть свідчити про погіршення середовища мешкання в результаті порушень і (або) забруднень. Такі показники, як висота, діаметр, зімкнутість, середня відстань між деревами, висота мертвої відірваної кірки, висота прикріплення крони, суховершинність, наявність сухостою і пнів, порівнюються з відповідними фоновими характеристиками. Їхні зміни в порівнянні з фоновими значеннями свідчать про несприятливі умови місцеперебування деревних видів.

Для добору показників біоіндикації на тканинному й організменому рівнях пропонуються такі критерії:

- 1) наявність даних, що показують зв'язок захворювання з забрудненням;
- 2) мінливість аномалії в залежності від місця, сезону, а також віку і розміру організму;
- 3) легкість і точність виміру аномалії;
- 4) відносна стійкість аномалії;
- 5) витрати часу і вартість одержання даних;
- 6) відповідність специфічності аномалії і забруднення;
- 7) види, для яких характерна дана аномалія;
- 8) наявність даних про біологію й екологію використовуваних видів.

2. Тканинний рівень

При біоіндикації на тканинному рівні використовуються наступні ознаки:

- 1) відмирання тканин – некроз;
- 2) передчасне зів'янення й обпадання листя (дефоліація);
- 3) патологічні відхилення у тварин

2.1 Макроскопічні зміни морфології рослин

А. Некрози - відмирання обмежених ділянок тканини, досить специфічні; варто розрізняти :

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

- міжжилкові некрози - відмирання листової пластинки між бічними жилками першого порядку (при впливі SO_2);

- крайові некрози - характерні, чітко помітні форми в лип під дією повареної солі, застосовуваної для танення льоду; сполучення міжжилкових і крайових некрозів приводить до появи візерунка типу “риб'ячого кістяка”;

- верхівкові некрози - характерні для хвойних, темно-бурі, різко відмежовані некрози кінчиків хвої під впливом SO_2 або знебарвлені - під впливом HF.

При розвитку некрозів спочатку спостерігаються зміни у фарбуванні, потім після загибелі клітин уражені ділянки осідають, утворюються розриви листової пластинки.

Б. Передчасне зів'янення - під дією етилену в теплицях, квітки гвоздики при цьому не розкриваються, увядають пелюстки орхідей.

В. Опадання листя (дефоліація) - у більшості випадків з'являється після появи хлорозів і некрозів; прикладами може служити зменшення тривалості життя хвої, її опадання в ялини, передчасне обпадання листя в липи, кінських каштанів, в агрусу і смородини під дією SO₂; дефоліація приводить до зменшення асимілюючої площі, скороченню приросту, розгальмовуванню бруньок і передчасному утворенню нових пагонів; зручним об'єктом дослідження у таких випадках є хвойні породи, що мають багаторічну хвою. У чистих природних екосистемах середній вік хвої сосни складає в південній формі 3-4 року, у північній - 8-9 років, хвої їли - 7-8 років. При впливі токсичних газів вік хвої скорочується, так що в окремих випадках на деревах залишається тільки однолітня хвоя.

Приклади застосовуваних на практиці тест-рослин

Тютюн Bel W3. Цей сорт виведений спеціально для біоіндикації озону. Уже при слабкому впливі O₃ через кілька днів на листовій пластинці густо утворюються некротичні плями срібlistого кольору. Цей сорт добре зарекомендував себе в ряді країн і знайшов більш широке застосування в порівнянні з іншими індикаторами (виноград, квасоля, шпінат, кропива, петунія).

Метод полягає в експонуванні рослин у різних умовах місцеперебування і визначенні ступеня поразки листових пластинок хлорозом. При підготовці досліджень повинна бути строго дотримана методика вирощування тютюну. Рослини вирощуються на гідропоніці з живильним розчином при температурі 24°C и рН 5,5-6,0. На кожен ділянку міститься по 72 екземпляра тютюну. При цьому забезпечуються достатній полив і затінення на 40-50%. По оцінних шкалах визначається інтенсивність хлорозу в балах, що потім служить матеріалом для складання карт полів озону.

Методика широко використовується в Західній Європі - за допомогою цього методу складені карти забруднення озоном великих регіонів.

Некрози хвої і тривалість її життя в сосон, ушкоджених димом
Особливо зручними параметрами є верхівкові некрози хвої і тривалість її життя; їх можна визначати на протязі року, на підставі цих параметрів створюють картосхеми зон газодимового стресу.

При визначенні морфологічних змін варто враховувати вплив кліматичних і едафічних (грунтових) факторів на стійкість рослин. При газовому забрудненні на формування некрозів вирішальним образом впливає вологість і освітленість. При високій вологості повітря і ґрунту рослини стають особливо сприйнятливими; узимку зниження стійкості викликається низькими температурами.

2.2 Патологічні прояви у тварин

Виразки на шкірі. Виразки на шкірі, спостерігалися в багатьох видів риб, виловлених поблизу узбережжя і удалині від нього. У тріски, що мешкає у водах Північної Європи, часта поява цих виразок одержала назву “ виразкового синдрому”. Недавні дослідження продемонстрували зв'язок між сезонними змінами цього синдрому, ступіню забруднення вод вуглеводнями і збільшенням у воді концентрацій, потенційно патогенних для риб. Навесні відсоток хворих риб в узбережжі вище, ніж удалині, але влітку ця залежність стає менш очевидною. Тому при вилові риб з метою моніторингу потрібно враховувати сезон року. Крім того, варто проводити мікробіологічні тести проб, узятих з донних опадів і водної товщі.

Ерозія плавців. Це одне з найбільш розповсюджених захворювань риб, чітко зв'язане з забрудненням естуарного і прибережного середовища.

Зустрічаються два типи ерозії плавців. У донних риб, мабуть, у результаті прямого контакту з забрудненими донними опадами уражаються спинний і анальний плавці, а у пелагічних прибережних риб спостерігається загальна ерозія, але з деякою переважною поразкою хвостового плавця. Причини ерозії носять комплексний характер і можуть включати хімічні агенти (які впливають на мускус епітелію), дефіцит розчиненого кисню у воді і вторинне бактеріальне зараження. Систематичне зараження бактеріями не

обов'язково зв'язано з появою ерозії плавця, хоча в пробі, узятій з виразки, можна виділити багато видів бактерій. Спостереження за цим показником рекомендується проводити з урахуванням сезону року, розміру риби, чутливості виду, умов мешкання і міграції.

Аномалії кістяка. За останні роки збільшилося число випадків аномалії кістяка в риби. Приводиться безліч прикладів спинних фузій і скривлень, хребетного стиску (уплощення), аномалій голови і плавця. Такі порушення зустрічаються й у більшості природних популяцій, але найчастіше вони спостерігаються в забруднених акваторіях. Зв'язок між частотою появи аномалій кістяка водних хребетних і забрудненням була підтверджена експериментально. Хлорорганічний пестицид Кепон, наприклад, викликав сколіоз у міног, при дії важких металів у риби спостерігалися скривлення і розриви хребта.

Таким чином, моніторинг морських хребетних на тканинному рівні включає ретельний огляд риби для виявлення явних аномалій з наступною рентгеноскопією для виявлення схованих деформацій, наприклад, хребетних спайок. Не представляє особливих труднощів обстеження зябрових тичинок і спинних плавців. Велику користь можуть зробити планктонні проби з метою виявлення виродливих личинок і аномалій у ранньої молоді.

Пухлини. Пухлини були виявлені в представників усіх класів холоднокровних хребетних, у двостулкових молюсків і комах. У 60 морських видів тварин з різних груп і місцеперебувань були виявлені інфекційні пухлини. Пухлини в риби і молюсків є потенційно корисним показником для моніторингу морського середовища, але обмежене географічне поширення видів, що мають пухлини, і відсутність пухлин у видів, що мають широке географічне поширення, а також недолік даних про причини; зухвалі пухлини, виключають можливість використання якогось одного виду морської риби як універсального індикатора.

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

Більш того, рак крові в двустворок описаний для чотирьох континентів, і, хоча маються докази на користь як вірусної, так і хімічної етіології цього захворювання, його поява, очевидно, зв'язана з присутністю забруднююча. Методика визначення рака крові в молюсків надзвичайно проста і складається в спостереженні за мутністю 0,5 см³ рідини, отриманої з тіла. Нормальні гемоцити прилипають до скла, і крапля швидко стає прозорою. Ракові клітини стають круглими, не прилипають до скла, і сама крапля дуже схожа на краплю молока.

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

Мається дуже мало доказів придушення імунних реакцій безпосередньо забрудненнями. Так, при дії кадмію на риб виявлене зниження ефективності реакції фагоцитів. Були отримані дані про генетичний добір риб з більш високими рівнями антитіл. Таким чином, тест на присутність у риб антитіл, патогенних для людини, може стати важливою частиною моніторингу, особливо коштовної для тих видів риб, що мають строго обмежений ареал мешкання.

Лімфоцитоз. Лімфоцитоз - захворювання, широко розповсюджене серед плоских риб. Воно характеризується утворенням пухлиноподібної тканини під шкірою, що містить гіпертрофовані фібробласти розміром до 2 мм. Це захворювання має вірусне походження. В деяких випадках вони можуть бути переносниками паразитів риб. Маються дані про те, що лімфоцитозом частіше занедужують риби, що живуть у забруднених і нагрітих водах. Тому цей показник можна використовувати для моніторингу, хоча варто мати на увазі, що лімфоцитоз іноді зустрічається серед популяцій риб і в незабрудненому районі в результаті епідемії. Відомо, що деякі хвороби риб знаходяться в схованому стані і можуть бути спровоковані при дії несприятливих факторів. Таким чином, лімфоцитоз служить раннім сигналом неблагополучного стану

середовища і може у визначених умовах успішно використовуватися в системах моніторингу.

Зяброва гіперплазія. Риба може реагувати на хімічні речовини гіперплазією (клітинною проліферацією) зябрового епітелію. Але кількісний зв'язок “причина-ефект” не відом, і її ще має бути виявити. Одержати зяброві проби не представляє особливих труднощів.

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

3. Організмений рівень

Основна мета добору біологічних показників на організменому рівні зводиться до оцінки головним чином фізіологічного стану особні і її поведження, а також біологічної значимості даних по концентрації забруднюючих речовин у тілі організмів. Однак ці дані будуть становити інтерес тільки в тому випадку, якщо зміни величини відгуку використовуваних показників корелюють зі змінами на екосистемному рівні, тобто, якщо зміни фізіологічних показників приведуть до зміни екологічної злагоженості.

Таким чином, при біоіндикації на організменому рівні використовуються наступні ознаки:

- 1) зміна фарбування листів і тіла тварин, а також скульптури поверхні;
- 2) зміна розмірів і продуктивності рослин і тварин;
- 3) зміна форми росту, екобіоморфних ознак;
- 4) показники поведінки тварин.

3.1 Зміна фарбування листів і тіла тварин

Зміна фарбування листів - у більшості випадків неспецифічна реакція на стресори:

- хлороз - бліде фарбування листів між жилками (важкі метали, з'єднання хлору, хлор); хлороз викликається порушенням співвідношення в організмі Fe і Ca; у природних умовах він може виникати в рослин при порушеннях водного, світлового режиму, заболочуванні ґрунтів. Зустрічаються міжжилковий, верхівковий і

інший види хлорозу; ступінь ушкодження листів може бути виражена в бальній системі і використовуватися як кількісна характеристика при аналізі і картуванні поширення газоподібних токсикантів;

- пожовтіння листів або визначених їхніх ділянок (у листяних порід під впливом хлоридів);

- почервоніння листів - нагромадження пігменту антоціану під дією SO_2 ;

- побуріння і побронзовіння (початкова стадія важких некротичних ушкоджень, під дією O_3);

- фарбування, при якому листи мають вигляд просочених водою, подібне з морозними пошкодженнями (початкова стадія некрозів, викликаних пероксиацетилнітратом);

Зміни фарбування тіла тварин. Серед реакцій фарбування тіла на антропогенну зміну середовища, найбільш відомої є “індустріальний меланізм” або “меланізм великих міст”. Під меланізмом мається на увазі помітне потемніння первісне світлих форм.

Зміни скульптури поверхні. Установлено чітку кореляцію між структурою поверхні тіла, що вивчається за допомогою електронного мікроскопа і рівнем забруднення середовища - об'єктами дослідження також є комахи.

3.2 Зміна розмірів і продуктивності рослин і тварин

Зміни розмірів органів рослин і їхнього положення - найчастіше неспецифічна реакція, так хвоя коротшає під дією SO_2 і подовжується під дією нітратів; аномальна конфігурація листів відзначається в листяних дерев після радіоактивного опромінення; у результаті локальних некрозів виникає виродлива деформація, перетягання, здуття окремих ділянок листової пластинки; скривлення пагонів; зрощення і розщеплення окремих органів; збільшення або зменшення частин квітки;

Зміни приросту і плідності рослин - найчастіше неспецифічні, однак широко застосовуються для біоіндикації; вимірюють в основному радіальний приріст деревних стовбурів, приріст у довжину пагонів і листів, довжину коренів; зменшення утворення плодівих тіл у грибів, продуктивності в чорниці і ялин у районах, забруднених газоподібними викидами.

Зміна структури деревини - зниження якості соснової деревини в результаті незначного її утворення влітку і випадання річних кілець під дією SO_2 ; одеревнення коренів злаків при обробці гербіцидами.

Приклади застосовуваних на практиці тест-рослин. Кресс-салат. Рекомендується для індикації хлоридів і свинцевих солей і забруднення повітря вихлопними газами. Як показники використовують довжину проростків і корінців, число насінь.

Липа як індикатор солі, застосовуваної для танення льоду на вулицях. У багатьох європейських країнах застосовується індикація по зміні фарбування листів липи: спочатку з'являються яскраво жовті крайові зони, вони просуваються до середини і до підстави листа.

Виміри приросту хвойних порід, чагарників різнотрав'я і злаків. Найбільш відомим методом є вимір річних кілець у дерев. Для встановлення ширини річного кільця в пробних деревах відбираються радіальні бурові керни; потім рентгенівським денситометром визначають щільність деревини, тобто її якість. Зниження об'ємного приросту на територіях із сильним забрудненням SO_2 , засоленням ґрунту або значним рекреаційним навантаженням складає в хвойних близько 50%.

У чагарників продуктивність визначається виміром річних пагонів, а в різнотрав'я і злаків - суми довжин листів.

Біометричні параметри – розміри тіла й окремих його частин у тварин. Зміни розміру тварин можна вирахувати, використовуючи рівняння алометричного росту $v = aM^b$ (де v - швидкість росту, M - маса тіла, a – постійна, b – показник ступені).

Для біоіндикації антропогенних стресорів залучаються біометричні параметри головним чином різних комах - проміри тіла: ширини голови, довжини різних члеників, вусиків, кінцівок. Використання цих біометричних параметрів для індикації антропогенних стресорів зіштовхується з однаковими проблемами - навіть при статистично значимих відмінностях, важко довести їхній зв'язок із градієнтом розглянутих навантажень, обумовлених людською діяльністю.

3.3 Зміна форми росту і екобіоморфних ознак

Виміри фізіологічних показників можна пристосувати до якоїсь фази репродуктивного циклу або до якогось часу року. Реакція організмів на забруднення не завжди лінійно залежить від діючої концентрації, тому що існує граничний рівень, нижче якого організми можуть детоксикувати речовину. Аномальні відгуки сигналізують про те, що цей поріг перевищений. При надграничних значеннях концентрації речовини фізіологічна реакція буде відповідати величині діючого фактора. Якщо перенести організм у чисте середовище, то він знову виявиться здатним до детоксикації забруднення, що, у кінцевому рахунку, приведе до нівелювання негативного відгуку.

Ріст. Ріст – один з найважливіших параметрів, що характеризує стан популяції в конкретних умовах навколишнього середовища. Оскільки зниження швидкості росту тварин є неспецифічним відгуком на будь-які стресові впливи, варто бути дуже уважними при використанні цього показника й інтерпретації одержуваних даних. Уповільнення росту може наступити через зниження інтенсивності харчування або збільшення витрати енергії, зв'язаного з подихом або виділенням, під дією різних екологічних факторів – температури, солоності, концентрації O_2 , концентрації їжі, іонів металів, нафти, швидкості руху води й ін. Ріст окремих особнів можна вимірювати прямим методом або побічно. Непрямий метод, або фізіологічна оцінка росту є інтегральним, оскільки включає вимір таких фізіологічних перемінних, котрі окремо і разом характеризують стан особні.

Незважаючи на те, що лабораторні і польові дослідження з впливу забруднення на показники росту в основному виконані на ракоподібних і двостулкових молюсках, а для риб маються дані тільки лабораторних досвідів, цей показник варто активно використовувати в програмах моніторингу.

Харчування. Для тварин характерний різноманітні спосіб харчування травоїдність, харчування детритом і седиментами, фільтрація, некрофагія і хижацтво. Процес харчування складний і включає не тільки безпосереднє травлення, але і поведінкові компоненти: пошук їжі, вибір і піймання жертви, фільтрацію їжі з водного стовпа, добування в донних опадах і ін. Зміна швидкості харчування й утворення фекалій служать показниками

фізіологічного стану в умовах забруднення. Показник швидкості харчування в природних умовах змінюється в широких межах. Він досить чуттєвий навіть до невеликих змін кількості доступної їжі, що сильно ускладнює задачу визначення фонового рівня.

Дихання. Швидкість споживання кисню. По цьому показнику можна судити про фізіологічний стан як цілого організму, а так і ізольованих тканин. Однак інтерпретація даних вимірів по споживанню кисню утруднена через те, що звичайно не враховується вплив інших екологічних факторів, таких, як солоність, температура, час року й ін.

Респіраторна активність. В програмах моніторингу використовуються три показники активності подиху головним чином у прісноводних риб: частота кашлю, частота оперкулярного руху і частота серцебиттів. Частота кашлю змінюється під дією фізичних (наприклад, зважені тверді частки) або хімічних (наприклад, важкі метали) факторів на епітелій зябер. Виміри частоти оперкулярного руху проводилися на багатьох видах риб у присутності різних забруднювачів зміна звичайно зв'язане з рівнем споживання кисню, хоча останній може бути збалансований за рахунок регуляції амплітуди рухів. Зміна частоти серцебиття також зв'язана зі змінами споживання кисню, хоча й у цьому випадку компенсація може бути досягнута шляхом зміни глибини подиху. З трьох показників частота кашлю, очевидно, найбільш чуттєвий і зручний для дослідника відгук на широке коло забруднень.

Виділення й азотний баланс. Продукти виділення морських тварин включають аміак, сечу, амінокислоти і пурини. Баланс між речовинами, що надходять в організм, з їжею і їхнім виділенням із продуктами життєдіяльності звичайно розраховують за допомогою рівняння енергетичного балансу і показників росту. У тих випадках, коли зміст азоту в їжі лімітовано, втрата азоту у виділеннях може свідчити про азотне порушення балансу. Швидкість виділення, що перевищує значення норми, може свідчити про стресову ситуацію, викликану серйозним порушенням харчування під впливом забруднення. Швидкість виділення азоту може дати більше інформації про стан тварини, якщо її розглядати поряд з іншим фізіологічними показниками. Відношення спожитого кисню до виділеного азоту (відношення O/N) є індексом катаболічного

балансу білка, вуглеводів і ліпоїдів, там як атомні еквіваленти спожитого кисню при катаболізмі і виділеного азоту коливаються. Високе значення індексу O/N указує на перевагу ліпідного або вуглеводного катаболізму над розпадом білків. Теоретичне мінімальне значення O/N при винятково білковому катаболізмі дорівнює приблизно 7.

Репродуктивність. Зниження значень показників росту може привести до зниження плідності тварини, тому що на утворення гамет витрачається істотна частина енергії, що запасається. Будь-які зниження показників росту, що спостерігаються, особливо під час дозрівання гамет, можуть бути сигналом різкого зниження репродуктивної здатності батьківського організму. Ембріональні і личиночні стадії розвитку, як правило, найбільш чутливі до токсикантів у порівнянні з дорослими особинами. При вивченні дії забруднюючої речовини на відтворення варто мати на увазі, що частина її може накопичуватися в ікринках і зберігатися там тривалий час (Ross Anderson, 1978). Контроль за цим нагромадженням дозволяє з деякою часткою імовірності прогнозувати наступні стадії розвитку організму.

Визначення плідності й оцінка життєздатності гамет є корисними показниками стану особин, за допомогою яких можна пояснити деякі екологічні порушення.

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

3.4 Показники поведінки тварин

Перший етап на шляху використання показників поведінки в програмах моніторингу НС полягає в розробці якісних і кількісних критеріїв оцінки зміни поведінки при дії антропогенних факторів. Розрізняють три підходи для оцінки поведінкових реакцій. Перший підхід припускає спостереження за поведінкою тварин, що живуть у природних умовах. Другий - передбачає перенос тварин з лабораторних умов або контрольованих акваторій на якийсь час у природні умови. Третій підхід полягає в переносі води і донних опадів із природних умов в акваріуми, у які поміщають тест

організми. Остаточне рішення питання про включення показників поведінки в програми біоіндикації приймають після оцінки їхньої екологічної значимості і зв'язку з рівнем нагромадження в навколишнім середовищі і контрольованих організмах.

Вибір організму або груп організмів - перший, необхідний крок при розробці програм біоіндикації - ґрунтується, насамперед, на екосистемі, що підлегла антропогенному впливові. Обраний для біоіндикації організм повинний з появою забруднення своєю поведінкою сигналізувати про умови, що змінилися. Чим дошкульніше поведінкові відгуки до появи хімічних речовин і чим тісніше вони зв'язані з цілісними властивостями екосистем, тим ефективніше використання обраних організмів. Поведінковий відгук у будь-якого виду формується під впливом різноманітних стимулів. Але усі вони, так чи інакше, зв'язані з загальною стратегією поведінки виду, спрямованої на виживання. У морських організмів структура поведінкових реакцій може видозмінюватися в ході індивідуального розвитку. Тому конкретна програма біоіндикації повинна враховувати етологічні особливості різних стадій розвитку організму, а також зміни цих показників під впливом сезонних, добових і багаторічних циклів. Однак якщо за якимись причинами цей поведінковий інстинкт порушити, це приведе до зниження чисельності популяції через їхнє споживання хижаками або загибелі в холодній воді.

Для виявлення змін якості морського середовища у визначеній акваторії вибирають контрольну станцію, у якій діапазон мінливості моделі поведінки відповідає нормі. Відхилення від норми в поведінці у тварин, що живуть у районі забруднення, свідчать про зміну якості морського середовища. Значні зміни структури всього співтовариства супроводжуються, як правило, випадінням зі співтовариства одного або декількох видів. Зміна моделі поведінки може викликати також порушення трофічних зв'язків. Наприклад, необоротні порушення хеморесценції або локомоції поступово приведуть до різких змін трофічних відносин. Зміна звичної поведінки хижака відразу відбиває на зміні показників популяції жертви за умови, якщо жертва менш чутлива до забруднення, чим хижак. Якщо модель поведінки змінюється під дією токсиканта, то це свідомо приводить, до зміни виживаності виду, а у випадку,

якщо це домінуючий вид - до істотних структурних змін у співтоваристві.

Виживаність організмів забезпечується за рахунок комплексу складних поведінкових реакцій, що сформувалися в ході тривалої еволюції організмів. Чутливість і адаптація до змін у навколишньому середовищі, способи захоплення їжі, запобігання хижаків і відтворення нерозривне зв'язані з умовами навколишнього середовища. Тому, наприклад, сенсорну чутливість і зв'язані з нею інші різновиди поведінкових реакцій можна використовувати для оцінки дії забруднення, якщо вони зв'язані з виживаністю організму. Будь-яка зміна сенсорної чутливості або моделі поведінки, зв'язаної з нею, буде показником ступеня впливу забруднюючих речовин.

Організми реагують на присутність у воді природних і штучних речовин і дуже невеликих концентраціях. Більш складні поведінкові реакції, такі, як пошук їжі або спарювання, менше придатні для біоіндикації. Їхнє використання виправдане тільки в тому випадку, якщо біологія тест-організму й особливо його поведінкова реакція досить добре вивчені. Таким чином, причиною зміни в поведінці тварин під дією забруднюючих речовин можуть бути як зміна чутливості хеморецепторів, так і загальна зміна їхньої відповідної реакції. Для того щоб установити причини зміни поведінкової реакції, необхідно проводити нейрофізіологічний контроль стану хеморецепторів.

ЛЕКЦІЯ 5 БІОІНДИКАЦІЯ НА ВИЩІХ ІЄРАРХІЧНИХ РІВНЯХ: ПОПУЛЯЦІЯ, ЕКОСИСТЕМА, БІОЦЕНОЗ

План

1. Популяційний рівень
 - 1.1 Добір показових видів
 - 1.2 Показники популяційного рівня
 - 1.3 Вплив антропогенних стресорів на динаміку рослинних популяцій
 - 1.4 Вплив антропогенних стресорів на характер поширення рослин
2. Екосистемний рівень
 - 2.1 Показові ознаки екосистемного рівня
 - 2.2 Метод комплексної біоіндикації

1 Популяційний рівень

1.1 Добір показових видів

Для добору видів необхідні докладні дані щодо біоти досліджуваного району. Об'єктом спостереження може бути будь-яка група організмів: від мікрофлори до мегафауни. В тих випадках, коли передбачене використання щодо маловивчених видів, обов'язкове дослідження їхньої фізіології. При доборі видів варто враховувати їхній просторовий розподіл. Обмежена доступність може викликати необхідність багаторазового добору проб, а це у свою чергу змушує розробляти відповідні вимоги у відношенні обсягу вибірки і частоти їх узяття. Перевага варто віддавати видам, чутливим до потенційних забруднень, навіть якщо вони мають обмежене екологічне і промислове значення.

Труднощі добору проб, зв'язані з особливостями поведінки організмів у залежності від сезону, віку і міграцій. При розробці програм біоіндикації варто брати широко розповсюджені в досліджуваному районі види. Це дозволяє збільшити число станцій, що спостерігаються, і досліджуваних популяцій, доступних для дослідження. Добір відносно рівномірно заселених місць мешкання

обраного виду є необхідною частиною наступних кроків, зв'язаних з розробкою методів добору проб. Ці міри дозволяють зменшити вплив природної мінливості - цю вічну проблему добору проб у біології. При доборі видів для биоиндикации варто віддавати перевагу видам, що представляють різні трофічні рівні.

1.2 Показники популяційного рівня

Використання показників популяційного рівня залежить від обраних видів.

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

Б. Зміна плідності особів, що входять у популяцію, може свідчити про порушення репродуктивного процесу. Цей показник доцільно використовувати для видів, що відкладають відносно невелике число яєць.

В. Розподіл і достаток видів - є особливо коштовними показникам стану популяції осілих видів, особливо при вивченні градієнта забруднення. Однак показник достатку для рухливих форм має велику мінливість і низку дозволяючу здатність, тому його цінність для біоіндикації порівняно невелика.

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

Д. Біомаса - це структурний показник, визначення якого не представляє великих труднощів. У трав'янистих співтовариствах зручніше і найпростіше проводити облік біомаси в період максимального розвитку травостою. Одним з найбільш розповсюджених методів є метод укосів. Для цього на спробній площі розміром 20x25 м розміщують 20 площадок 0,25x0,25 м, 0,5x0,5 м або 1x1м. Вибір оптимального розміру площадок визначається загальними запасами і багатством травостою.

Е. Достаток - величина достатку міняється у більш великих межах, чим біомаса, якщо вона розглядається для визначених

розмірних класів. Сумарне значення достатку, очевидно, менш мінливо, чим достаток окремих популяцій.

Ж. Видова розмаїтість - число видів у даному таксоцені звичайно сильно залежить від числа і розміру узятої проби. Вимір розмаїтості заснований на сумарному числі видів і особнів і відносному достатку особнів даного виду.

З. Число вищих таксонів - простим методом біоіндикації може бути реєстрація числа особнів із визначенням їх до роду, сімейства або порядку. Наприклад, виявлене поступове зниження числа таксономічних груп мезофауни в напрямку від відкритого моря до забруднених прибережних зон Південної бухти Північного моря: на деяких станціях виявилася всего одна група (нематоди) або два (нематоди і копеподи) у порівнянні с десятьма групами на незабруднених станціях прибережних вод. Ці групи мезофауни легко визначаються, і їхнє число може служити як корисний показник антропогенних змін.

І. Трофічна структура - трофічне положення виду має важливе значення для таких процесів, як біоаккумуляція і загальний потік енергії в співтоваристві. Співвідношення первинних продуцентів або консументов може бути зв'язано с сукцесією і стабільністю співтовариства, а співвідношення видів с різними типами харчування може вказувати на переважний вид енергії, доступний співтовариству.

К. Порівняння співтовариств - методи порівняння співтовариств у просторі і часі по своїй природі носять статистичний характер. Багато методів зараз широко використовуються і вже мають у виді стандартних обчислювальних програм.

1.3. Вплив на динаміку рослинних популяцій

Антропогенні стресори можуть впливати на всі ознаки рослинних популяцій. Найбільше відчутно реагує продуктивність. Вона може багаторазово зрости в результаті ослаблення конкуруючих видів. Змінюються також народжуваність і смертність, а в результаті щільність популяції (число особей/площа). Популяції з малою чисельністю особнів знаходяться під особливо великою погрозою. У відповідь на антропогенне порушення відбувається розширення або скорочення ареалу

популяції. У крайньому випадку це може привести до зникнення популяції і до вимирання виду.

Дуже важливий для біоіндикації добір стійких екотипів до дії антропогенних стресорів. Екотип - сукупність особнів будь-якого виду організмів, пристосована до умов місцеперебування, що має спадкоємні ознаки, обумовленими екологічно. У природі розмаїтість екотипів є основою для підтримки однакової продуктивності популяції при перемінних умовах мешкання. При цьому популяції багатьох видів містять екотипи з високою толерантністю до визначених антропогенних стресорів. Біоіндикаційне значення має той факт, що нерідко в разюче короткий термін (один або кілька вегетаційних періодів) відбувається витиснення чутливих і поширення стійких екотипів. Наприклад, відомі випадки добору екотипів, стійких до важких металів, солям і сірчистому газу. При порівнянні берегової і зростаючої у віддаленні від берегів популяції *Agrostis stolonifera* перша виявилася значно солестійкою. Мак-самосійка має значну стійкість до гербіцидів - він активно проникає в масиви зернових, де раніш зустрічався тільки по окрайкам полів.

1.4 Вплив антропогенних стресорів на характер поширення рослин

А. Зміна ареалів рослин. Зросле навантаження на ландшафт (землеробство, випас, індустріалізація) викликала в багатьох країнах різке скорочення лісових площ, ареалів деревних порід і видів нижнього лісового ярусу. Безлісні і слабооблесені ландшафти полегшують поширення (імміграцію) численних однолітніх і багаторічних рослин.

Зміна місцеперебувань дало можливість багатьом видам просунути з своїх вихідних областей поширення на відкриті, що характеризуються теплим летом. Тому окультурені ландшафти характеризуються повільним наростанням числа *адвентивних* видів. Адвентивні або додаткові види - це види, що ростуть у нетипових місцях.

Б. Збіднення флори - прискорюється в результаті усунення деяких особливих місцеперебувань - польових меж і стежин, укосів, природних кам'яних стінок, зволжених ділянок, перелісків, суходільних луків.

Причини зменшення числа видів дикоростучих рослин:

- усунення особливих місцеперебувань - 200 видів
- осушення - 180 видів
- землекористування - 180 видів
- надмірна обробка ґрунту - 160 видів
- розробка, виїмка ґрунту - 120 видів
- механічні впливи:
 - витоптування, стоянки - 100 видів
 - застосування гербіцидів - 90 видів
 - прополка, корчування, випалювання - 80 видів
 - застоювання вод - 70 видів
 - збір - 70 видів
 - забруднення водойм - 30 видів
 - урбанізація сіл - 20 видів.

Ареали рослинних видів сильно змінюються під дією антропогенного стресу. Це виражається в скороченні або розширенні ареалу різних рослин. Наприклад, поширення накипного лишайника - відносно димостійкого виду - дозволяє оцінити інтенсивність багаторічного забруднення повітря даної території.

2. Екосистемний рівень

2.1 Показові ознаки екосистемного рівня

Негативний вплив антропогенних факторів на природні екосистеми виявляється в зміні їхнього видового складу. Володіючи визначеною стійкістю до негативних впливів, види формують співтовариства, що відрізняються біорізноманіттям, що може бути використане для біоіндикаційних цілей. Показовими ознаками є:

- 1) видовий склад, видова розмаїтість;
- 2) характер поширення виду; динаміка ареалу, у тому числі розширення ареалів синантропних видів;
- 3) популяційний аналіз (продуктивність, щільність, динаміка ареалу, вікова структура, смертність, внутрішньовидова диференцировка, добір стійких екотипів).

2.2 Метод комплексної біоіндикації

Оцінка впливу забруднюючих речовин на екосистемному рівні зводиться до використання даних, що отримані для рівнів популяції або співтовариств, з яких воно складається. Структурною основою екосистеми є неорганічні й органічні речовини, фактори середовища (температура, світло, вітер і ін.), продуценти, консументи і редуценти. Складні взаємозалежні процеси функціонування екосистеми здійснюються за рахунок потоку енергії, харчових ланцюгів, кругообігу живильних речовин, зміни розмаїтості, розвитку й еволюції в часі і просторі, продуктивним виявилось попереднє з'ясування чуттєвих ланок екосистем, по яких можна судити про стан екосистем.

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

Перевагою цього методу є:

- можливість оцінити стан екосистемі як результат взаємодії природних елементів екосистем і антропогенного впливу,
- виявити ступінь стійкості і реакцію екосистем на вплив людини;
- використання біоіндикаторів, а саме їх фізіологічних індикаційних ознак, дозволяє визначити зміни в екосистемах на дуже ранніх стадіях, коли вони ще не виявляються морфологічними і структурними змінами і їх не можна виявити іншими методами;
- можливість передбачати порушення екосистем і вчасно вживати заходів, щоб захистити екосистему від збитку і тим самим не допустити великих народногосподарських утрат.

Методика має кілька послідовних етапів, на яких використовуються різні методи (рис. 5.1).

По-перше: виявлення структури території по фізико-географічних і економіко-географічних факторах, виявлення антропогенного впливу і на основі цього - визначення однорідних географічних одиниць.

По-друге: визначення мережі ключових ділянок і їхніх характеристик. Для різних типів екосистем необхідно мати кілька однотипних ключових ділянок, що відрізняються лише ступенем антропогенного впливу.



Рис. 5.1. Логічна схема досліджень по методу комплексної біоіндикації

По - треттє: вибір індикаторів і біоіндикаційні дослідження обраних індикаторів, проводяться протягом трьох років три рази в рік - навесні, влітку і восени, щоб виявити не тільки стан індикаторів, але і динаміку їхніх змін.

По-четверте: збір додаткової інформації про стан ґрунту, води і господарську діяльність людини.

По-п'яте: оцінка стану навколишнього середовища, що має два етапа:

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

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

Біоіндикаційні спостереження ведуться на двох системних рівнях - популяції й індивіда. Для кожного рівня розроблені критерії для вибору індикаторів і індикаційних ознак, що зведені нижче (табл. 5.1). *Таблиця 5.1*

Індикатори і ознаки для методу комплексної біоіндикації

| Рівень | Популяція | | Індивід | |
|--------|--|---|--|---|
| | Індикатор | Індикаційні ознаки | Індикатор | Індикаційні ознаки |
| Фіто | - | - | <i>Sambuchi nigra</i> <i>Zea nays</i> <i>Hordeum vulgare</i> | Біомаса Розчинні білки Фермент пероксидаза Вміст важких металів |
| Зоо | Жуки <i>Coleoptera</i> <i>Carabidae</i> <i>Staphylinidae</i> Птахи <i>Passeriformes</i> Дощові хробаки <i>Lumbricidae</i> | Чисельність роду Чисельність видів Кількість видів Сезонна динаміка Біомаса Екологічні індекси: розмаїтості зосередження домінантності подібності двох співтовариств | Гризуни <i>Microtus</i> <i>Apodemus</i> | Вага особнів Вага органів: печінка, нирки Гематокрит Фермент церулоплазмін Вміст важких металів |

Ступінь зміни екосистем відбивається екологічними індексами. Особливо показовий індекс розмаїтості співтовариства H' (індекс Шеннона), де високе значення свідчить про високу міру стабільності і саморегуляції екосистеми:

$$\overline{H} = -\sum_1^S \left(\frac{N_i}{N} \right) \times \ln \left(\frac{N_i}{N} \right), \quad (5.1)$$

де N – загальне число особнів, N_i - число особнів i -го виду, s - число видів.

Також використовується індекс домінантності C , де високе значення індексу показує порушені екосистеми:

$$C = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2, \quad (5.2)$$

де N - загальна чисельність співтовариства; n_i - чисельність окремих видів.

При порівняннях змін ряду екосистем одного типу з різною величиною антропогенного навантаження доцільно обчислювати індекс подібності двох співтовариств S , де високе значення індексу показує висока подібність співтовариств:

$$S = \frac{2C}{A + B}, \quad (5.3)$$

де A – кількість видів першого співтовариства; B – кількість видів другого співтовариства; C – кількість видів, що зустрічаються в обох співтовариствах.

Біомаса співтовариств виявилася кращою характеристикою в порівнянні з чисельністю, тому що іноді звільнену екологічну нішу після випадання великих нечисленних видів жуків займають дрібні численні види.

На рівні індивіда вибирають індикаційні ознаки за наступними критеріями: тісний зв'язок зі значимими для життя реакціями організму; здатність відбивати поступові зміни стану організму, причому в ранніх стадіях, поки вони не виявляються в патологічному стані організму; здатність відбивати різну силу і якість фактора, що збуджує зміни, повернутися в первісний стан у зв'язку з адаптацією організму до фактора або зі зникненням фактора; стандартний і простий спосіб добору проб і їхнього збереження, стандартні і прості методи аналізу.

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

На рівні індивіда ми вибрали фіто- і зооіндикатори і наступні індикаційні ознаки.

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

Зооіндикатори - гризуни родів *Microtus* і *Apodemus*. Ці два роди часто зустрічаються на досліджуваній території і їхні екологічні особливості добре вивчені. Індикаційні ознаки - маса організму, маса його органів (печінки, бруньок), вміст важких металів в органах і вовні, активність ферменту церулопласміна.

Церулопласмін є одним зі стресових ферментів. Це фермент крові, що містить у своїй молекулі іони *Cu* (він голубий) і чітко відбиває стан організму, підвищуючи свою активність при раку, запаленнях і інших патологічних станах. Показано, що він також чітко відбиває і вплив факторів середовища мешкання, наприклад, при введенні в організм важких металів і при іммобілізації тварини. Це підвищення відповідає силі впливу - концентрації металу.

Стан екосистем визначали зіставленням стану індикаторів - відхиленням їхніх індикаційних ознак від фонового (оптимального) стану. Для побудови оцінних шкал доцільно виражати відхилення не в абсолютних величинах, а у відсотках, де за 100 % береться величина фонового стану. При оцінці не можна випустити з уваги, у яку сторону йде відхилення від тла в екологічному і фізіологічному змісті. В екстремальних випадках спостерігаємося відхилення й у позитивну сторону. В остаточному підсумку виходить набір величин, кількість і величина відхилень яких відбиває стан екосистеми. Чим більше відмінність від тла і чим вище відхилення, тим «гірше» стан екосистем. У залежності від розподілу відхилень по рівнях індикаторів (популяцій і індивідів) можна судити про ступінь і характер змін стану екосистем (рис. 5.2).

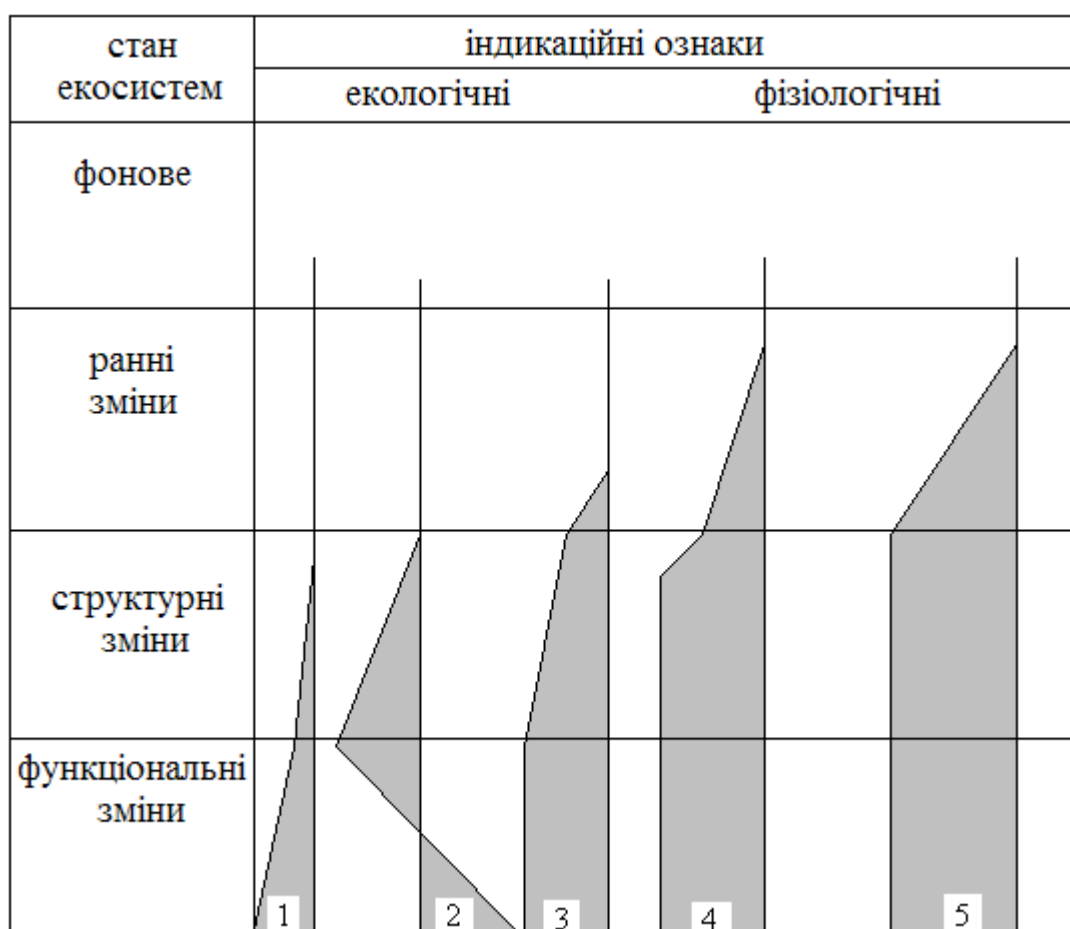


Рис. 5.2. Модель оцінної шкали: 1 – кількість видів; 2 – чисельність; 3 – біомаса; 4 – вага органів; 5 – активність ферментів

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

Комбінацією різних фіто- і зооіндикаторів на двох системних рівнях можна оцінити поступові і дуже дрібні зміни в стані екосистем. І при чіткому наборі характерних для досліджуваної території ключових ділянок можна оцінити і більш великі

географічні одиниці і скласти карту стану навколишнього середовища.

На основі карти й оцінних шкал можна в майбутньому дуже швидко оцінити стан будь-якої екосистеми відповідного типу даного регіону або при наявності фонових екосистем і інших регіонів і дати рекомендації про оптимальну господарську діяльність на даній території.

ЛЕКЦІЯ 6 МЕТОДИ БІОІНДИКАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

План

1. Фітоіндикаційні методи екологічного стану природного середовища
 - 1.1 Дендроіндикація
 - 1.2 Ліхеноіндикація
 - 1.3 Бріоіндикація
2. Методи біотестування

1. Фітоіндикаційні методи екологічного стану природного середовища

Індикаторні можливості рослин здавна використовуються в рішенні прикладних задач. Зі збільшенням антропогенного навантаження на екосистеми розширюється область застосування фітоіндикаційного методу. Рослинний покрив чуйно реагує на зміну природних факторів навколишнього середовища й антропогенний вплив. Широко використовуються різні параметри розвитку живих організмів від молекулярного до ландшафтного рівня. Вивчаються біохімічні, фізіологічні, анатомо-морфологічні зміни, популяційні і видові особливості рослин, флористичний склад і структура співтовариств, границі і просторовий розподіл фітоценозів. Найбільш істотними на клітинно-організменному рівні є зміна проникності мембран, активності ферментів, руйнування білка, порушення фотосинтетичної діяльності, мінерального, ліпідного і вуглеводного обмінів і ін.

Запропоновано показники стану рослинного покриву для виявлення надзвичайної екологічної ситуації, екологічного нещастя або щодо задовільної обстановки (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Стан рослинності як індикатора екологічного стану території

| Показники | Параметри | | |
|--|------------------------------------|------------------------------------|---|
| | Екологічне лихо | Екологічна криза | Задовільна ситуація |
| Зменшення біорозмаїття (індекс розмаїтості Сімпсона), % від норми | Більш 50 | 25-50 | Менш 10 |
| Щільність популяції виду-індикатора, % від норми | Більш 50 | Більш 20-50 | Більш 20 |
| Площа корінних асоціацій, % загальної площі | Менш 5 | Менш 30 | Більш 80 |
| Видовий склад природної травянистої рослинності | Зменшення достатку вторинних видів | Пануючі види змінилися на вторинні | Природна зміна домінантів і характерних видів |
| Віковий спектр ценопопуляції домінантів, поновлення в відн. од. | Менш 0,1 | 0,1-0,3 | Більш 0,5 |
| Лісистість, % від оптимальної | Менш 10 | Менш 30 | Більш 90 |
| Захворювання деревостоїв, % | Більш 50 | 30-50 | Менш 10 |
| Запас деревини основних лісоутворюючих порід, % від нормальної | Менш 30 | 30-60 | Більш 80 |
| Ушкодження деревостоїв техногенними викидами, % від загальної площі | Більш 50 | 30-50 | Менш 5 |
| Ушкодження хвойних порід техногенними викидами (пошкодження хвої), % | Більш 50 | 30-50 | Менш 5 |
| Загибель лісових культур, % від площі лісокультурних робіт | Більш 70 | 50-70 | Менш 5 |

Продовження табл. 6.1

| Показники | Параметри | | |
|---|------------------|---------------------------------|---------------------|
| | Екологічне лихо | Екологічна криза | Задовільна ситуація |
| Зміна ареалів рідких видів | Зникнення ареалу | Поділ і скорочення площі ареалу | Відсутня |
| Площа гару, що не обліснюється на протязі 10 років | Більш 10 тис. га | 5-10 тис. га | - |
| Площа посівів, ушкоджених шкідниками, % від загальної площі | Більш 50 | 20-50 | Менш 10 |
| Загибель посівів, % від загальної площі | Більш 30 | 15-30 | Менш 5 |
| Проективне покриття пасовищної рослинності, % від нормальної | Менш 10 | 10-50 | Більш 80 |
| Продуктивність пасовищної рослинності, % від потенційної | Менш 5 | 5-30 | Більш 80 |
| Ушкодження рослинності заповідників | Зміна формацій | Зміна асоціацій | Без зміни асоціацій |
| Площа зелених насаджень у великих містах і промислових центрах, % від нормативної | Менш 10 | 10-30 | Більш 90 |

Існують різні класифікації біоіндикаційних показників, на підставі їхнього узагальнення прийнята наступна ієрархічна система ознак (табл. 6.2).

До числа найбільш розповсюджених методів оцінки стану навколишнього середовища по різних параметрах індикаторних видів, а також за структури і будови рослинних співтовариств відносяться:

—аналіз хімічного складу рослин для оцінки взаємозв'язку хімічного складу живої і неживої природи, трансформації хімічних елементів по ланках харчового ланцюга й ін.;

Класифікація фітодікаційних ознак

| Фізіологічні і біохімічні ознаки | Морфологічні ознаки | Флористичні ознаки | Феноценотичні ознаки |
|--|---|---|---|
| Хімічний склад рослин | Ксероморфність | Специфічна флора | Продуктивність співтовариства |
| Активність основних фізіологічних процесів (фотосинтез, дихання й ін.) | Розміри рослин і окремих органів, щорічний приріст і т.д. | Присутність/відсутність індикаторного виду | Зімкнутість і проективне покриття співтовариства, ярусів, пологів |
| Вміст пігментів | Хлороз і некроз | Індикаторні плеяди видів | Аналіз домінантов, едифікаторів співтовариства |
| Зміна активності ферментів і т.д. | Суховершинність | Достаток і продуктивність індикаторного виду. | Екобіоморфний склад співтовариства і ярусів |
| Фізіологічні і біохімічні ознаки | Морфологічні ознаки | Флористичні ознаки | Феноценотичні ознаки |
| | Зміна забарвлення | Дендро-, бріо-, ліхеноіндикація і т.д. | Вертикальна і горизонтальна структура співтовариства |
| | Терати і т.д. | | Границі та площі зональних, інтра- і азональних фітоценозів |

—морфологічний метод - вивчення зовнішнього вигляду рослин і його змін під дією зовнішніх факторів;

— флористичний метод - дослідження особливостей видового складу, індикаторних видів, характеру поширення і динаміки ареалу, популяційний аналіз і ін.;

— спектрофотометричний - дослідження спектрального відгуку рослин і рослинності на забруднення навколишнього середовища;

— фітоценотичний - що складається з ряду методик вивчення складу, вертикальної і горизонтальної структури і будови рослинних співтовариств: аналіз видової розмаїтості, достатку і проективного покриття показових груп видів, аналіз продуктивності, аналіз життєвого стану ярусів і ін.;

— ліхеноіндикація - вивчення й аналіз лишайникового покриву рослинних співтовариств;

— бріоіндикаційний - вивчення й аналіз мохового покриву;

— дендроіндикація - вивчення й аналіз деревної рослинності.

2. Дендроіндикація

Дендроіндикація - це метод біоіндикації, що дозволяє на основі аналізу характеристик деревного ярусу і положу подроста (радіальний і лінійний приріст, тривалість життя хвої, наявність некрозу і хлорозу, життєвий стан древостоя і т.д.) судити про стан природного середовища. Деревні рослини найбільше часто вибираються для біоіндикаційних досліджень у силу їх високої індикаторної значимості. Ведуча роль у біоіндикації стану навколишнього середовища належить деревним рослинам. Вони здатні поглинати і нейтралізувати частину атмосферних поллютантів, затримувати пилові частки, а також індициувати особливості забруднення за допомогою розмаїтості відповідних реакцій. Реакція деревних порід на забруднення навколишнього середовища істотно розрізняється.

3. Ліхеноіндикація

Біологічні реакції на антропогенний вплив чітко простежуються при дослідженні лишайників. Практичне значення цієї групи організмів визначається високою чутливістю до зміни хімічного складу атмосферного повітря. Вони відповідають основним вимогам, пропонованим до індикаторних видів. Насамперед, лишайники поширені по всій поверхні суші, хоча і нерівномірно. Вони відіграють домінуючу роль у багатьох екосистемах полярних і жарких пустель, високогір'їв. Нагрунтові і

епіфітні лишайники є важливим компонентом лісових співтовариств. Вони часто утворюють велику біомасу і відіграють істотну роль у круговороті речовин у біогеоценозах.

Відсутність кутикулярного шару забезпечує вільне поглинання води і хімічних сполук в організм лишайника практично всією поверхнею. Серед лишайників маються чуттєві види, що зникають уже при невеликому забрудненні. У той же час є види із середньої і щодо високою стійкістю до забруднення. Стійкі до антропогенних впливів лишайники накопичують у своїх сланях різні хімічні елементи, що вказує на забруднення середовища цими елементами. У порівнянні з вищими рослинами лишайники концентрують у 5 разів більше *Fe*, у 2-3 рази більше *Pb*, *Cd*, *Hg* і інших хімічних сполук.

Крім того, лишайники є досить добре вивченим таксоном нижчих рослин, хоча багато хто з них важкі для визначення в польових умовах. Лишайники здавна використовуються в дослідженнях екологічного стану міст і антропогенно порушених територій. Визначено основні фактори, що визначають залежність розвитку лишайникового покриву від умов місцез перебування.

До них відносяться:

розташування на стовбурі,

кут нахилу,

висота над землею й експозиція;

вік дерева (тому що в міру його росту відбувається збільшення поверхні стовбура і часу для заселення його лишайниками) і умови зволоження.

Найчастіше метод ліхеноіндикації застосовується для оцінки рівня аеротехногенного забруднення. Під впливом поллютантів у лишайників відзначається ряд змін на різних рівнях.

На біохімічному і фізіологічному рівні відбувається:

гальмування фотосинтезу,

придушення інтенсивності подиху,

зменшення життєздатності діаспор лишайника й ін.

У лишайників практично відсутні механізми регуляції процесів обміну з навколишнім середовищем, так що вони безперешкодно поглинають різні хімічні речовини з атмосферного повітря. Специфічним при цьому є нагромадження поллютантів в організмі,

що вказує на якісний склад забруднень і інтенсивність антропогенного навантаження. Їхній вміст у таломі залежить від часу впливу, від концентрації поллютантів в атмосферному повітрі, від далекості від джерела емісії, від ступеня зволоженості таломі і т.д.

Морфологічні зміни виражаються в модифікації характеру поверхні талому і типового забарвлення. При цьому значно зменшуються розміри сланей, відзначаються проліфікація апотеціїв і некроз таломов.

Розроблено шкалу життєвості лишайників, яка заснована на оцінці ступеня розвиненості слані і здібності до репродуктивних процесів:

- f_1 - фертильне, пишно розвита слань;
- f_2 - фертильне, нормально (середньо) розвита слань;
- f_3 - фертильна, недорозвинена слань;
- s_4 - стерильне, пишно розвита слань;
- s_5 - стерильне, нормально розвита слань;
- s_6 - стерильна, недорозвинена слань.

Простим і часто використовуваним параметром, застосовуваним для оцінки чистоти атмосферного повітря, є проективне покриття індикаторних видів. Забруднення повітря приводить до зниження проективного покриття й у кінцевому рахунку до утворення так названої лишайникової пустелі.

Використовуються такі показники, як:

- показник достатку/щільності - відповідно до запропонованої методики пробна площа розбивається на квадрати, на яких по 5-бальній шкалі визначаються достаток і щільність лишайників. Для кожного виду розраховуються:

- показник достатку-щільності:

$$LD_{\text{видовj}} = \frac{\sum (L_j D_j) 10}{N}, \quad (6.1)$$

де L - число відносного достатку, D - відносна щільність, N - число квадратів;

- індекс чистоти атмосфери, що обчислюється по формулі

$$IAP = \frac{\sum^n(Qf)}{10}, \quad (6.2)$$

де n - число видів на ділянці, f - частота зустрічальності або проективне покриття виду, Q - екологічний індекс видів - середнє число видів, що ростуть з досліджуваними видами в ареалі.

Величини зустрічальності і проективного покриття виражаються відповідно до 5-бальної шкали:

5 - види з дуже високою частотою зустрічальності і високим ступенем проективного покриття на більшості дерев;

4 - види з високою частотою зустрічальності і високим ступенем проективного покриття;

3 - види, що зустрічаються не часто або мають середній ступінь проективного покриття;

2 - види, що зустрічаються дуже рідко і мають низький ступінь проективного покриття;

0 - види дуже рідкі з дуже низьким ступенем проективного покриття.

- індекс чистоти повітря:

$$ІЧП = n + 0,1(P_1 + P_2) + H_1 + H_2 + D_1 + D_2, \quad (6.3)$$

де n - число видів лишайників на спробній площі, P - відсоток заселення хвойних (1) і листяних (2) порід, H - висота заселення дерев (см), D - щільність заселення кори дерев (бали від 0 до 10).

Була розроблена шкала залежності величини значень індексу від величини середньорічної концентрації забруднень у повітрі.

У цілому можна зробити наступні висновки про ліхеноіндикаційний метод оцінки аеротехногенного забруднення.

- Лишайники є гарними індикаторами забруднення атмосферного повітря, що відповідають основним вимогам до біоіндикаторів.

- Використання методу вимагає гарної вивченості екології лишайників, тому що при оцінці рівня забруднення необхідно враховувати видоспецифічні вимоги до місцеперебування й індивідуальні особливості видів лишайників.

- При оцінці рівня забруднення атмосферного повітря необхідний суворий облік усіх факторів впливу, а не тільки антропогенних. Такі природні фактори, як освітленість, ступінь зволоження талом, експозиція лишайників на стовбурі, вітри, що панують, відіграють важливу роль у життєдіяльності лишайників і багато в чому визначають їхню чутливість до поллютантам.

- Застосування методу ліхеноіндикації трохи обмежено у великих містах, де часто присутні зони «лишайникової пустелі» (зони з повною відсутністю лишайників).

4. Бріоіндикація

Установлено, що, чим більше рекреаційний вплив або техногенне навантаження на лісові екосистеми, тим різноманітніше моховий покрив. Для чистих територій характерні 4-5 видів мохів.

Існує бріоіндикаційна методика Е. Н. Андрєєвої (1990), заснована на індикаційних можливостях бріоценоморф. Під бріоценоморфой розуміється екологічно зв'язаний між собою комплекс видів мохів, що утворюють систему, у якій цілісні безлічі особей виступають як просторово-ценотична одиниця мохового покриву.

При виділенні бріоценоморф на перше місце виступають внутрішні зв'язки, що виникають між особнями (одного або різних видів) у результаті їхнього спільного росту, що і визначає зовнішній вигляд дерновинки. Характерною ознакою незабруднених тайгових лісів є розвиток бріоценоморфи *Pleurozium schreberi* + *Hylocomium splendens*. Наприклад, порушення, викликані рекреаційним навантаженням, фіксуються структурними змінами в моховому ярусі: він не утворює суцільного покриву, сильно розріджений і відрізняється збільшенням видового складу бріоценоморф при скороченні займаних площ.

Е. Н. Андрєєвій був зроблений висновок, що при зміні умов природного середовища відбувається пристосування до нових умов не окремих видів, а бріоценоморф, що фіксують ступінь ушкодження мохового покриву, але не вказують на причини, його зухвалі.

2 Методи біотестування

Біотестуванням називається метод визначення ступеня токсичного впливу фізичних, хімічних і біологічних факторів середовища, потенційно небезпечних для живих організмів даної екосистеми. Біотестування здійснюється експериментально в лабораторних або в природних умовах шляхом реєстрації зміни біологічно значимих показників досліджуваних природних або природно-техногенних об'єктів з наступною оцінкою їхнього стану відповідно до обраних критеріїв токсичності.

Тест-об'єктами (організмами) можуть бути бактерії, дріжджі, найпростіші, водорості, п'явки, молюски, риби і т.д. Крім того, нарівні з цілісними організмами як тест-об'єкти виступають окремі органи, тканини або клітини. Біотест ставиться на визначення загальної токсичності, на мутагенність і канцерогенність. У першому випадку фіксуються показники загибелі організмів, морфологічні порушення, морфофункціональні зміни і відхилення в їхньому поведженні і руховій активності. Вивчення мутагенності і канцерогенності проводиться за допомогою короткочасних тестів по фіксації хромосомних ушкоджень, генних мутацій і ушкоджень ДНК з оцінкою небезпеки речовини.

Вплив на тест-об'єкт може здійснюватися за допомогою імітації можливих шляхів надходження шкідливої речовини в організм. Основними середовищами, що тетстуються є вода, рідше атмосферне повітря. Можливо також вивчення опосередкованого впливу на тест-об'єкт твердих компонентів навколишнього середовища: ґрунтів, донних опадів, ґрунтів. У цьому випадку використовують порові води цих середовищ або водні витяжки з них, одержувані з використанням загальноприйнятих методик. Крім того, біотести можуть проводитися у фазі зважених часток. Однак основним об'єктом застосування методів біотетстування є все-таки стічні і природні води.

В останні роки методи біотетстування стали активно застосовуватися при оцінці якості морського середовища. У першу чергу це зв'язано з масштабним освоєнням нафтовуглецевих ресурсів континентального шельфу і материкового Світового

океану. Тести спрямовані на оцінку якості морського середовища, а також токсичності промислових і бурових вод і бурових шламів.

При цьому найбільш складною проблемою тестування морського середовища залишається вибір тест-об'єктів, що у вже сформованій практиці біологічного контролю представлені в основному прісноводними формами організмів. Тому в дійсний період при проведенні біотестування морського середовища перевага віддається видам, що природно живуть на даних акваторіях.

В основі методики біотестування лежить порівняння тестируємих зразків з контрольними пробами протягом визначеного часу. При цьому можуть проводитися експериментальне біотестування (до декількох годин), оцінка токсичного впливу (протягом 1-3 доби експозиції), хронічного токсичного впливу (через 7-10 доби експозиції), а також прогноз віддалених наслідків (через 2-3 тижні експозиції). Усього до дійсного часу розроблено більш 50 стандартів.

Найбільше часто використовуваними тест-об'єктами є рачок *Daphnia magna*, що застосовується при контролі токсичності стічних вод і виявленні джерел забруднення. Широку апробацію одержали тести на поведінкові і фізіологічні реакції риб (метод рибної проби), зокрема на реакцію відходу риби з небезпечної зони. Як показники токсичності середовища використовуються також зміни рухової функції п'явок, реакції закриття стулок молюсків, швидкості споживання кисню голотури й ін.

Для визначення токсичності природних прісних вод і донних відкладень, стічних вод і відпрацьованих бурових розчинів рекомендоване застосування методик біотестування по зниженню рівня біolumінесценції бактерій *Photobacterium phosphoreum*, зниженню приросту кількості інфузорій *Tetrahymena pyriformis*, гнібленню росту прісноводних водоростей *Scenedesmus quadricauda*, загибелі ракоподібних *Daphnia magna* і *Ceriodaphnia affinis*, виживаності і плідності ракоподібних *Ceriodaphnia affinis*, загибелі риб гуппі *Poecilia reticulata*.

Оцінку токсичності морських вод і донних відкладень, стічних вод різного ступеня солоності і відпрацьованих бурових розчинів, що скидаються в морські води, рекомендується проводити за

допомогою методик біотестування по гнобленню росту одноклітинних морських водоростей *Phaeodactylum tricomutum*, загибелі ракоподібних *Artemia salina* і риби *Poecilia reticulata*, зниженню рівня біолюмінесценції бактерій *Photobacterium phosphoreum*.

Для біотестування зміни морського середовища в районах розробки морських нафтогазових родовищ використовують тест-реакції бактерій, найпростіших, одноклітинних водоростей, макрофітов, зоопланктону і макробентосу (табл. 6.3).

.Методика біотестування зворотних вод

Біотестування проб зворотних вод проводиться з метою визначення їх гострої летальної токсичності. Токсичність визначається за допомогою атестованої методики біотестування води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, які відносяться до найбільш чутливих тест-об'єктів по відношенню до забруднюючих речовин.

Методика ґрунтується на встановленні різниці між кількістю загиблих церіодафній у воді, що тестується (дослід), та воді, у якій церіодафнії утримуються (контроль). Критерієм гострої летальної токсичності є загибель 50 % церіодафній і більше у досліді порівняно з контролем за 48 год біотестування.

Таблиця 6.3

Групи і види морських організмів і їхні тест-реакції, що рекомендуються для використання при біотестуванні

| Група і вид тест-організмів | Середовище, що тестується | Тест-реакція і показник |
|--|--|---|
| Гетеротрофний мікропланктон, бактерії | Вода, поверхневий мікрошар товщиною близько 1 мм | Зміна динаміки БСК, видового домінування, швидкості руйнування субстратів, мутагенної активності |
| Найпростіші (<i>Stylonichia mytilis</i> , <i>Tintinnopsis biroidea</i> , <i>Noctiluca seintillans</i> , <i>Cristigera</i>) | Донні осади, порові води, елюати, шлами, стоки | Зниження виживаності, зміна темпів розмноження і швидкості росту, порушення рухливості і морфології |

Продовження табл.6.3

| Група і вид тест-організмів | Середовище, що тестується | Тест-реакція і показник |
|--|---------------------------|---|
| Одноклітинні водорості, регіональні домінанти (<i>Coscinodiscus</i> , <i>Ditylum</i> , <i>Gyrodinium</i> , <i>Exuviella</i> і ін.) | Вода, стоки | Зміна швидкості розподілу і чисельності клітин, порушення інтенсивності фотосинтезу і флуоресценції, аномалії пігментного складу |
| Макрофіти (<i>Laminaria</i> , <i>Macrocystis pyrifera</i> і ін.) | Вода, стоки | Зміна швидкості росту, порушення осідання зооспор, морфологічні і електро-фізіологічні аномалії |
| Зоопланктонні фільтратори (<i>Acartia</i> , <i>Eurotimora</i> , <i>Tigriopus</i> , <i>Calanipeda</i> , <i>Artemia salina</i> і ін.) | Вода, стоки | Зниження виживаності і плодючості, порушення репродукції, поведінки і трофічної активності, морфологічні й інші аномалії |
| Риби (<i>Salmo gairdner</i> , <i>Tinchurus trachurus</i> , <i>Limanda limanda</i> , <i>Gadus morhua</i> , <i>Scophthalmus maximus</i> , <i>Sprattus sprattus</i> , <i>Spicara smaris</i> і ін.) | Вода, стоки | Підвищення смертності і частоти морфологічних аномалій, порушення харчування, росту, дихання, поведінки, фізіологічних і інших показників |
| Макробентос (<i>Mytilus edulis</i> , <i>Crassostrea gigans</i> , <i>Macoma</i> , <i>Echinocardium</i> , <i>Arenicola</i> і ін.) | Вода, донні осади, стоки, | Зниження виживаності, порушення розмноження, уповільнення росту, поведінкові, фізіологічні й інші відхилення від норми |

Біотестування проводять за стандартних умов у термолюмініостаті при температурі $(25 \pm 2)^\circ \text{C}$, освітленості 400-600 люкс, тривалості світлого періоду 16 год, темряві - 8 год. Для контролю і приготування розбавлень стічної води використовують питну воду, яку попередньо дехлорують шляхом устоювання.

Для визначення гострої летальної токсичності пробу зворотної води та її розбавлення наливають по 15 см^3 у десять посудин (дослід). Інші десять посудин заповнюють таким самим об'ємом контрольної води.

У кожному з дослідних і контрольних посудин поміщають по одній церіодафнії. Під час біотестування церіодафній не годують.

Наприкінці біотестування візуально підраховують живих церіодафній.

Живими вважають церіодафній, які вільно рухаються у товщі води або спливають з дна посудини після легкого струшування.

За результатами підрахунку живих церіодафній розраховують кількість загиблих церіодафній у досліді відносно контролю за формулою:

$$A = \frac{X_k - X_d}{X_k} \cdot 100, \quad (6.4)$$

де A - кількість загиблих церіодафній у досліді відносно контролю, %; X_k - середнє арифметичне кількості живих церіодафній у контролі, екз; X_d - середнє арифметичне кількості живих церіодафній у досліді, екз.

На підставі величини A для нерозбавленої проби (кратність розбавлення дорівнює 1,0) роблять висновок про наявність або відсутність гострої летальної токсичності води. Вважають, що гостра летальна токсичність води виявляється, якщо $A > 50$ %.

За результатами розрахунку загиблих церіодафній (в процентах) у кожному розбавленні порівняно з контролем проводять кількісну оцінку токсичності кожної проби води.

Для цього методом лінійної регресії визначають середнє летальне розбавлення проби за 48 год біотестування - LP_{50-48} .

Якщо проба води не виявляє гострої летальної токсичності, тобто в нерозбавленій пробі кількість загиблих церіодафній становить менш 50 %, значення LP_{50-48} приймають рівним 0,50.

Для оцінки стійкості рослин до підвищеного змісту в середовищі ВМ розроблена модифікація методу кореневого тесту. Завдяки простоті й оперативності (експресності), досить високої чутливості він займає перше місце серед вегетативних досвідів. Це експрес-метод визначення стійкості об'єктів на проростках протягом 2-3 тижнів: склад контрольного розчину дозволяє вирощувати рослини різних таксонів і випробувати великий діапазон концентрацій металів. В умовах одного опиту можлива оцінка специфічності дії окремих металів, а також порівняння стійкості різних видів і популяцій одного виду до визначеного

металу. Під впливом токсичних концентрацій ВМ спостерігається інгібування ростових процесів, Зниження приросту коренів корелює з концентрацією металів. Реакція коренів яскраво виявляється навіть на незначне збільшення дози металу. За допомогою методу кореневого тесту встановлені меж- і внутрішньовидові розходження стійкості до *Cu, Ni, Mn, Zn, Pb, Cd* рослин різних систематичних таксонів (злаків сем. *Poaceae*: пшениці, вівса, ячменя; двочасткових: сем. бобових *Fabaceae*, сем. хрестоцвітних *Brassicaceae*, сем. складноцвітних *Asteraceae*, сем. губоцвітних *Lamiacea* і ін.). Результати проведених лабораторних досліджень дозволяють рекомендувати метод кореневого тесту для виділення металостійких популяцій видів, придатних для вирощування на сільгоспугіддях у забруднених умовах, а також для рекультивації порушених земель.

В останні роки практикується проведення біотестування з декількома тест-організмами одночасно, наприклад з акваріумними рибками гупі, молюсками і рачками дафнії. При цьому використовуються наступні критерії: при загибелі 50% одного організму вода оцінюється як слабо токсична, а у випадку 50% загибелі всієї групи тест-об'єктів - як сильно токсична.

Біотестування є значно більш оперативним способом оцінки якості вод і може використовуватися при проведенні екологічного контролю. Цей спосіб менш дорогостоящ, а методи його проведення і результати більш доступні для розуміння неспеціалістом.

У цілому метод біотестування при оцінці рівня токсичності середовища доповнює хіміко-аналітичний комплекс, володіє безсумнівними достоїнствами:

1) тест-об'єкт, як правило, реагує на відносно слабкі антропогенні навантаження внаслідок ефекту кумуляції дози шкідливого впливу;

2) у тесті сумується дія усіх без винятку біологічно шкідливих антропогенних факторів, включаючи фізичні і хімічні впливи;

3) за результатами тестів досить надійно розкриваються тенденції зміни ситуації в навколишнім середовищі.

Однак виявлений і цілий ряд труднощів застосування обговорюваного методу. Істотною проблемою використання найпростіших організмів є їхня непорівнянність з багатоклітинними, реакція яких

на ті ж самі зміни у водному середовищі може бути відмінної. Так, наприклад, для інфузорії реакція на ВМ відзначається вже при концентраціях на кілька порядків нижче ГДК у воді. У відношенні біогенних з'єднань усе навпаки: реакція виявляється при концентраціях, на кілька порядків перевищуючих ГДК.

Крім того, недоліками методу є низька надійність, складність трактування результатів і їхнього переносу з одного виду на інший, відсутність розроблених оцінних шкал. Усе це сильно ускладнює процес стандартизації методу, без чого сам механізм державного тестового контролю налагодити практично неможливо.

Щоб уникнути хоча б частини перерахованих труднощів в останні роки фахівцями пропонуються нові науково-методичні підходи до вибору тест-організмів на основі еволюційних, фізіологічних, психо-поведінкових і інших особливостей (Зайцева, Ковальов, 1994). Суть цих пропозицій полягає в обліку основних особливостей адаптаційних процесів і даних про чутливість і резистентність тест-організмів, у введенні в практику біотестування елементів етологічного аналізу, а також правильність визначення термінів тестування. За перерахованими критеріями найбільш підходящими є безхребетні гідробіонти (ракоподібні і червоногі равлики), що володіють досить високим рівнем організації. У відношенні тестування донних опадів як тест-об'єкти рекомендуються донні безхребетні (Гудимов, Гудимова, 2002). Улаштовується доцільність одночасного з загальною оцінкою токсичності вод проведення тестів на забруднюючі речовини. У цьому випадку можуть бути використані властивості деяких організмів реагувати на конкретні поллютанти. Серйозні зусилля необхідно прикласти до розробки єдиних шкал біологічної оцінки токсичності середовищ.

Верифікація комплексу біоіндикаційних методів для оцінки стану навколишнього середовища може проводитися як у лабораторії в умовах контрольованого експерименту, так і за допомогою різних статистичних прийомів оцінки вірогідності взаємозв'язку індикатора з об'єктом індикації. До їхнього числа відносяться регресійний, факторний і кластерний аналізи. Вибір методу залежить від конкретних задач і масштабів індикаційної оцінки території.

Таким чином, у даний час розроблене і широко використовується в практиці біоіндикації велика кількість методів і прийомів. Фітоіндикаційний метод дозволяє оцінити комплексний антропогенний вплив і його екологічні наслідки в природних і техногенно порушених ландшафтах. Він незамінний при виконанні вишукувань у важкодоступних районах і там, де відсутні пости моніторингових спостережень.

ЛЕКЦІЯ 7 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В БІОІНДИКАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

План

1. Оцінка подібності об'єктів
2. Індокси розмаїтості
3. Методи ординації

В даний час у практику біоіндикаційних досліджень широко ввійшли математичні методи. Вони застосовуються для виявлення подібності кількісних і якісних параметрів екосистем, для оцінки індикаторності видів, індицируемості градієнтів екологічних факторів і т.д.

Функціонування природних екосистем характеризується стохастичними величинами й апроксимується системою вірогідних функцій. Тому для оцінки вірогідності зв'язку індикатора з об'єктом індикації потрібне залучення теорії статистичних рішень, у тому числі широкого класу задач статистичного оцінювання, перевірки статистичних гіпотез, кореляційного і факторного аналізу й ін. Розрахунок статистичних параметрів виробляється по стандартних формулах:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}; \quad \delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}; \quad K = \frac{\delta^2}{\bar{x}^2} 100\% \quad (7.1 - 7.3)$$

де \bar{x} - вибіркова середня, x_i - кількісне значення і-го параметра, δ^2 - вибіркова дисперсія, K - коефіцієнт варіації, N - обсяг вибірки.

Для оцінки кількісних характеристик використовуються статистичні критерії:

t -критерій Стюдента:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}}, \quad (7.4)$$

F -критерій Фишера:

$$F = \frac{\delta_1^2}{\delta_2^2}, \quad (7.5)$$

критерій χ^2 і ін.

1. Оцінка подібності об'єктів

Кількісна оцінка подібності об'єкта дослідження з еталонами проводиться за допомогою різних коефіцієнтів подібності.

Коефіцієнт С'єренсена:
$$K_S = \frac{2a}{2a + b - c}, \quad (7.6)$$

де a - кількість спільних зустрічей видів, b - кількість випадків зустрічі виду B , c - кількість випадків зустрічі виду A .

Коефіцієнт Жаккара:
$$K_I = \frac{N_{A+B}}{N_A + N_B - N_{A+B}}, \quad (7.7)$$

де N_{A+B} - число загальних видів в описах A і B ; N_A і N_B - число видів відповідно в описах A і B .

Для кількісних характеристик коефіцієнт має вигляд:

$$K_S = \frac{\sum_{i=1}^N \min(A_i, B_i)}{\sum_{i=1}^N (A_i + B_i - \min(A_i, B_i))}, \quad (7.8)$$

де A_i і B_i - кількісні значення виду i в описах A і B , N - загальна кількість видів.

Коефіцієнт Коха (індекс біотичної дисперсії):

$$K_k = \frac{T - N}{(M - 1) N}, \quad T = \sum_{i=1}^M n_i, \quad (7.9)$$

де M - загальна кількість описів, N - загальна кількість видів у всіх описах, n_i - кількість видів у i -м описі.

Коефіцієнт Морісіта:

$$C_{1,2} = \frac{2 \sum_{i=1}^N n_{1i} n_{2i}}{(C_1 + C_2) N_1 N_2}, \quad C_i = \frac{M \sum_{i=1}^M n_i (n_i - 1)}{N(N-1)}, \quad (7.10)$$

де n_{1i} і n_{2i} - кількісні характеристики i -го виду в порівнюваних співтовариствах 1 і 2; N - загальна кількість видів, C_i - індекс Морісіта (показник нерівномірності розподілу виду), M - загальна кількість площадок, n_i - кількість особнів виду на i -й площадці,

$N = \sum_{i=1}^M n_i$ - загальна кількість особнів виду на всіх площадках.

Міра відстані

Дозволяє проводити оцінку розходження незалежних об'єктів по якісних і кількісних ознаках. Найбільш розповсюдженими різновидами є наступні.

Міра відстані Евкліда для кількісних ознак:

$$ED = \left[\sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2 \right]^{1/2}, \quad (7.11)$$

- для якісних ознак:

$$ED = \sqrt{b + c}, \quad (7.12)$$

де A_i, B_i - значення кількісних ознак для об'єктів описів; N - загальне число ознак, b, c - значення чотиріпільної таблиці, число зустрічей тільки виду B або A .

Міра відстані Дженжереллі:

$$D_1(A, B) = \left[\sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N (A_i + B_i)(A_k - B_k) r_{ik} \right]^{1/2} \quad (7.13)$$

Міра відстані Макнаутон- Сміта:

$$D_2(A,B) = \left[\sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2 \sum_{j \neq 1} r_{ij}^2 \right]^{1/2}. \quad (7.14)$$

Міра відстані Віл'ямса:

$$D_3(A,B) = \left[\sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2 \sum_{j \neq 1} x_{ij}^2 \right]^{1/2}. \quad (7.15)$$

Міра відстані між об'єктами у факторному просторі:

$$D_4(A,B) = \left[\sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2 \sum_{j=1}^M a_{ij}^2 \right]^{1/2}. \quad (7.16)$$

Міра канберська:

$$D_5(A,B) = \sum_{i=1}^N \frac{|A_i - B_i|}{A_i + B_i}, \quad (7.17)$$

де A_i, B_i - значення i -го ознаки для порівнюваних об'єктів A і B ; r_{ij} - коефіцієнт лінійної кореляції між ознаками i і j ; N - розмірність простору ознак, χ_{ij}^2 - значення вірогідності зв'язку ознак, обумовлений як і для лінійного коефіцієнта кореляції й еквівалентне йому; a_{ij}^2 - значення навантаження об'єктів на вісь j для виду i ; M - число виділених осей максимального варіювання видів у варіанті аналізу R .

Рівняння Престоґону

Застосовується для оцінки подібності двох флор або співтовариств:

$$\left[\frac{N_A}{N_{A+B}} \right]^{1/z} + \left[\frac{N_B}{N_{A+B}} \right]^{1/z} = 1, \quad (7.18)$$

де N_A і N_B - число видів у кожному з порівнюваних об'єктів, N_{A+B} - число общих видів для об'єктів-ознак; z - величина, що визначає міру розходження об'єктів, що порівнюються. Граничне значення $Z_0 = 0,27$. Якщо $Z < Z_0 (< 0,27)$, об'єкти подібні, при $Z > Z_0$ - різні.

Процентна подібність

$$ПП = \frac{2\sum \min(x_i, y_i)}{\sum(x_i + y_i)} \cdot 100\% \quad (7.19)$$

де $\min(x_i, y_i)$ - найменше значення ознаки, подібної для описів X і Y .

2. Індекси розмаїтості

Індекс Шеннона-Вінера:

$$H_1 = \sum_{i=1}^S h_i \cdot h_i = p_i \ln \frac{1}{p_i}; \quad p_i = \frac{n_i}{N}; \quad N = \sum_{i=1}^S n_i, \quad (7.20)$$

де S - число видів, n_i - кількість (чисельність або маса особей) i -го виду, N - загальна кількість, p_i - відносна частота зустрічальності i -го виду, h_i - часткова міра інформації i -го виду.

Індекс Маргалефа:

$$H_2 = \frac{1}{S} \log_2 \frac{S!}{U_1! U_2! \dots U_n!} \quad (7.21)$$

Індекс Сімпсона:

$$H_3 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{U_i}{S} \right)^2. \quad (7.22)$$

Індекс Рен'і-Рао:

$$H_4 = -\log H_3 = -\log \sum_{i=1}^N \left(\frac{U_i}{S} \right)^2. \quad (7.23)$$

Індекс Макінтоша:

$$H_5 = \sqrt{\sum_{i=1}^N U_i^2}, \quad (7.24)$$

де U_i - достаток виду i , N - загальне число видів у співтоваристві,

$$S = \sum_{i=1}^N U_i.$$

Розмаїтість або багатство видів:

$$d = S/\log, \quad (7.25)$$

де S - кількість видів в описі на площадці стандартного розміру, A - площа облікової площадки.

Питома вага впливу видів. Являє собою оцінку значимості індикаторів у лінійному рівнянні множинної регресії:

$$Y = a_0 \sum_{i=1}^n a_i x_i, \quad (7.26)$$

де Y - значення об'єкта індикації, x_i - значення індикаторів, n - їх кількість, a_i - коефіцієнти регресії, обумовлені методом найменших квадратів.

Показник питомої ваги впливу i -го індикатора визначається:

$$v_i = \left| a_i C_{Y,i} \right| \frac{R^2}{\sum_{k=1}^n \left| a_k C_{Y,k} \right|}, \quad (7.27)$$

де R - коефіцієнт множинної кореляції, $C_{Y,i}$ - коефіцієнт коваріації між об'єктом індикації Y і індикатором i . Величина v_i - змінюється від 0 до 1. Вірогідність відмінності v_i від нуля перевіряється критерієм Фішера.

3. Методи ординації

Одним з перспективних напрямків оцінки взаємозв'язку факторів середовища із рослинністю є метод ординації, що має різні модифікації.

Методи ординації являють собою упорядкування видів (R -аналіз) або співтовариств (Q -аналіз) уздовж деяких осей, що визначають характер варіювання растительности.

Методи ординації розділяють на прямі і непрямі, одномірні багатомірні.

Пряма ординація проводиться по реальних факторах середовища. При непрямій ординації здійснюється упорядкування

об'єктів по напрямку подібності між описами або зв'язками між видами.

Ординація може бути одномірній або багатомірної в залежності від кількості зовнішніх факторів, що беруть участь в аналізі.

Методами ординації є:

прямий градієнтний аналіз – здійснюється при наявності ведучого фактора розвитку видів або співтовариств. При цьому види або співтовариства розташовуються на градієнті відповідно до їх вимог до аналізованого фактора. У результаті аналізу встановлюються:

екокліни - розподіл видів уздовж градієнтів екологічних факторів;

хронокліни - розподіл видів по осі часу;

топокліни - розподіл видів по осях просторових градієнтів;

ценокліни - розподіл видів по осях факторів окремих рослинних співтовариств.

Основним недоліком методу є суб'єктивність при виборі осей ординації.

Композиційна ординація

Проводиться в просторі між двома крайніми крапками осі з найбільш контрастними рослинними співтовариствами. Інші описи вибудовуються в послідовність по наростанню градієнта. Досить 20 індикаторних видів співтовариств крайніх класів, але можна проводити ординацію і за всім списком видів.

Вісконсинська ординація

Також проводиться в просторі між двома крайніми крапками осі з найбільш контрастними рослинними співтовариствами. Вибудовування співтовариств по наростанню градієнта здійснюється за допомогою коефіцієнта подібності С'еренсена або флористичної дистанції:

$$K_c = \frac{2N_{a+b}}{N_a + N_b}, \quad (7.28)$$

де N_{a+b} - число загальних видів в описах A і B ; N_a , N_b - число видів в описах A і B .

Друга вісь будується так, щоб крайні описи розташовувалися в середній частині першої осі. Аналогічно всі описи ранжируються по другій осі. Метод є перехідним від одномірних до багатомірного і від прямої до непрямої ординації.

Метод Орлоці (перпендикулярних осей)

Усуває помилки вісконсинської ординації, обумовлені неперпендикулярністю побудованих осей. Друга вісь вибудовується по описі, найбільш вилученому від першої осі, і його проекції на цю вісь. Третя вісь будується по крапці-описі, найбільш вилученої від площини двох перших осей, і її проекції на цю площину.

Гаусова ординація

Передбачає вибір координат описів уздовж осі ординації так, щоб мінімізувати вираження

$$G_L(\{Y_{lj}\}) = \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^n [x_{ij} - W_i(Y_{lj}) \exp\{\frac{[Y_{lj} - \bar{x}_i(Y_{lj})]^2}{2\delta_i^2(Y_{lj})}\}]^2, \quad (7.29)$$

де $x_i(Y_{lj})$ і $\delta_i^2(Y_{lj})$ - середньозважена і дисперсія розподілу виду i ; $W_i(Y_{lj})$ - максимально можлива величина розподілу виду при порядку співтовариств $\{Y_{lj}\}$; R - число найбільш інформативних видів, x_{ij} — значення ознаки виду i у співтоваристві j .

Розміщення видів по полярних осях ординації можливо за допомогою факторного аналізу, що поєднує методи оцінки розмірності безлічі, що спостерігаються перемінних шляхом дослідження структури кореляційних і ковариационних вторинних матриць. У методі головних компонентів досліджується матриця коефіцієнтів лінійної кореляції з одиницями на головній діагоналі. При совственно факторному аналізі на головній діагоналі кореляційної матриці знаходяться значення общностей, що оцінюються коефіцієнтом множинної кореляції подібних перемінних з даної.

Нелінійним методом ординації є метод координатії Л. Г.Раменского. Усім видам дається інтервальная оцінка розташування по осях зовнішніх факторів. Відповідно до методу складені шкали екологічної оцінки угідь Європейської частини Росії, що включають бальні оцінки відносин видів до фактора

зволоження (120 ступіней), активного багатства і засолення ґрунтів (30 ступіней), змінності зволоження (20 ступіней), пасовищної дигресії аллювіальності (10 ступіней). Подібні шкали розроблені для Кавказу, Середньої Азії, Алтаю, Сибіру, Далекого Сходу, Паміру. Шкали Л. Г. Раменського залишаються одним із кращих способів оцінки умов середовища по рослинності і широко використовуються в практиці. Недоліком методу є суб'єктивізм, обумовлений відсутністю загальноприйнятої методики розробки шкал.

Цікаві результати дає кореляційний аналіз зустрічальності рослин і виділення кореляційних плеяд, серед яких поряд із плеядами флористичних і географічних центрів формування видового складу регіону відокремлюються апофитні і рудеральні види, що відбивають сукцессионну спрямованість при антропогенному впливі.

Перспективне використання нелінійного графічного методу дендритів з виділенням кореляційних плеяд видів. Метод був запропонований В. П. Терентьевим (1959, 1960) і широко впроваджений у практику фітоценологічних досліджень Ю. Н. Нешатаєвим (1968, 1976). Фітоіндикація в цьому випадку проводиться по групі тісно зв'язаних між собою видів. Прикладом використання цього методу може служити фрагмент системи кореляційних плеяд, виділених у рослинних співтовариствах тундр Західного Сибіру (Опекунова, Арестова, 1998).

У природних умовах Уренгойської тундри основна ценоутворююча роль приходить на угруповання рослин типових чагарниково-лишайникових тундр і видів бореальної зони за участю *Salix phylicifolia* (20), *Pinus sibirica* (4), *Rubus arcticus* (83), *Polytrichum commune* (137) і інших (плеяди I—V). При зростанні техногенного тиску виявлені два основних напрямки зміни рослинних співтовариств. З одного боку, йде збільшення частки видів перезвожених місцеперебувань на вразі заболочених ділянках і в зоні відтавання вічної мерзлоти *Arctophila fulva* (27), *Equisetum fluviatile* (52) - плеяда VI, з іншого боку, відзначається зростання чисельності лугових видів на території поблизу бурових і селищ (*Calamagrostis lapponica*). В даний час рослинні угруповання із синантропної рослинності не виділяються в самостійні плеяди,

проте в багатьох плеядах уже присутні види-антропохорори. Очевидно, що при подальшому збільшенні техногенного навантаження роль цих видів у рослинних угрупованнях буде зростати, що може привести в подальшій деградації тундрових біоценозів.

Вибір методу оцінки багато в чому залежить від особливостей структури, складу і розмаїтості рослинних співтовариств, а також наявного в наявності матеріалу, що характеризує фактори середовища і технічних засобів обробки.

Методи оцінки індикаторності видів дозволяють оцінити ефективність застосування індикаторів, інформативність видів і оптимізувати процес оцінки стану навколишнього середовища по рослинності.

ЛЕКЦІЯ 8 БІОІНДИКАЦІЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТЯ

План

1. Основні речовини – забруднювачі атмосферного повітря і їхні джерела
2. Біоіндикація забруднення атмосфери за допомогою рослин
3. Газостійкість і газочутливість рослин
4. Неспецифічна і специфічна індикація
5. Рослини-індикатори і рослини-монітори
6. Оцінка реакції рослин на забруднення
7. Добір і підготовка біологічних матеріалів для біоіндикації

Повітря - матеріальне середовище, що оточує більшість живих організмів і визначає їхнє існування. З одного боку, повітря є джерелом повітряного харчування біоти, з повітря всі живі організми одержують кисень, необхідний для процесів життєдіяльності. З іншого боку - необхідно враховувати зміну умов місцеперебування, і насамперед температурного і водного режимів, обумовлене пересуванням повітря. Тому повітря є найважливішим як прямо, так і побічно діючим екологічним фактором.

Рух повітря впливає на особливості анатомо-морфологічної будови і ходу фізіологічних процесів в організмах. В узагальненому виді вплив його, наприклад, на рослини можна представити в таким чином:

1) механічний вплив - ветровали, деформація росту (ексцентричний приріст, нахил стовбурів, прапорообразна крона), сніжна корозія ;

2) вплив на хід фізіологічних процесів - посилення ксероморфізації ознак;

3) анемофілія - пристосування, що полегшують перенос пилка вітром - раннє цвітіння, особлива будова суцвіть, форма і розміри пилка;

4) анемохорія - розвиток пристосувань для поширення насіння за допомогою вітру - форма і розміри плодів, що збільшують парусність.

1. Основні речовини – забруднювачі атмосферного повітря і їхні джерела

Одним з найбільш розповсюджених видів забруднень природного середовища є викиди в атмосферу токсичних газоподібних з'єднань. Основними з них вважаються: двоокис сірки, окис вуглецю, фтористий водень, сірководень, окисли азоту, хлористий водень і ін. Надходження їх в атмосферу зв'язано з діяльністю різних підприємств, спалюванням сміття і викидами автотранспорту (табл. 8.1).

Таблиця 8.1

Основні джерела надходження токсичних газів в атмосферу

| Забруднююча речовина | Джерело забруднення | ГДК, мг/мол |
|------------------------|--|---------------------------|
| Двоокис сірки - SO_2 | Електростанції і домашні топки хімічні підприємства, металургійні заводи, заводи сульфітної целюлози, коксові заводи | ГДКр = 0,5 ГДКд = 0,05 |

Продовження табл.8.1

| Забруднююча речовина | Джерело забруднення | ГДК, мг/мол |
|---|--|--|
| Сірчаний ангідрид - SO_3 | Заводи сірчаної кислоти, опалення нафтопродуктами | ГДК _р = 0,5 ГДК _д = 0,05 |
| Фтористий водень - HF | Підприємства фтористих хімікатів, заводи фосфорних добрив, алюмінієві заводи, цехи травлення скла, глазурувальні фабрики, цегельні заводи, керамічна промисловість | ГДК _р = 0,02 ГДК _д = 0,005 |
| Хлористий водень - HCl , Хлор - Cl_2 | Електроліз з виділенням хлору, оцинкування, калійна промисловість, спалювання відходів поліхлорвінілу, бурого вугілля з підвищеним вмістом солей | ГДК _р = 0,05 ГДК _д = 0,015 ГДК _р = 0,1 ГДК _д = 0,03 |
| З'єднання свинцю | Вихлопні газы | ГДК _д = 0,0007 |
| Чадний газ - CO | Вихлопні газы, хімічна промисловість | ГДК _р = 3,0 ГДК _д = 1,0 |
| Окисли азоту - NO_x | Вихлопні газы, хімічна промисловість | ГДК _р = 0,1 ГДК _д = 0,04 |
| Сірководень - H_2S | Виробництво світільного газу, сульфатної целюлози, віскози, коксові, нафтоперегонні заводи | ГДК _р = 0,015 ГДК _д = 0,008 |
| Аміак - NH_3 | Комбінати промислової відгодівлі тварин, гнойова рідота, виробництво азотних добрив | ГДК _р = 0,3 ГДК _д = 0,1 |
| Фотоокислювачі: пероксиацетилнітрат (ПАН), озон (O_3) | В особливих метеоумовах утворюються з вихлопних газів у нижніх шарах повітря | |

Екологічні наслідки забруднення атмосферного повітря обумовлені впливом газоподібних з'єднань, що проникають в організм, і випаданням кислотних опадів при з'єднанні поллютантів з атмосферною вологою.

Озон (O_3) - газоподібна забруднююча речовина, що утворюється внаслідок складної реакції між окислами азоту за участю сонячного світла. Озон попадає в рослину через листя внаслідок звичайного газообміну між рослиною і навколишнім

середовищем. Найбільш чуттєві до дії озону молоді листи, але він уражає і старі листи рослини. Загальною ознакою поразки рослин озоном є плямистість, що вказує на його гостру дію. Специфічна ознака гострої дії озону на рослину - поява крапок, що з часом зливаються й утворюють плями на поверхні листа. Крапки можуть бути білими, чорними, червоними або пурпурними. При низьких концентраціях O_3 листи здобувають червоно-бурий або бронзовий колір, що приведе до хлорозу, старіння й обпадання листів.

Сірководень і органічні сульфіді (H_2S) - є джерелами неприємного запаху навіть у дуже низьких концентраціях. Мерканти, дисульфіді і сірководень входять до складу відпрацьованих газів сульфатно-целюлозної промисловості, виробництва віскози і штучного шовку, вони утворюються при виробництві коксу, смоли, перегонці нафти і природного газу. Сірководень - клітинна і ферментна отрута, що може не тільки викликати отруєння і нервові захворювання в людей і тварин, але і нанести шкоди рослинним ферментам і викликати, таким чином, практично необоротні ушкодження.

Двоокис сірки (SO_2) - безбарвний, з різким запахом газ, що утворюється при спалюванні сірковмісного пального і випалі сірчистих руд. Невелика кількість (близько 5%) двоокису сірки окислюється в атмосфері, перетворюючись в сірчаний ангідрид (SO_3), що утворює з атмосферною вологою сірчану кислоту. По різних розрахунках, на частку двоокису сірки приходиться від 60 до 70% кислотних опадів. Туман або вологе повітря, що містить сірчану кислоту, впливає на шкіру і слизувату оболонку людини, тварин, наносить значні ушкодження рослинності. SO_2 , потрапляючи на листя, окислюється до високотоксичного з'єднання SO_3 , а потім повільно перетворюється в сульфат SO_4 , менш токсичний. При низьких концентраціях SO_2 у повітрі SO_3 практично цілком окислюється до сульфату, і рослини не страждають. При високій концентрації SO_2 до SO_3 перетворюється швидше, ніж SO_3 до SO_4 , унаслідок чого відбувається гостре ушкодження - листя широколистяних рослин знебарвлюється, між жилками (з'являється бурий або білий колір) або на краях деяких листків спостерігається ефект «ялинки». Ознакою хронічної дії SO_2 являється хлороз, або знебарвлення листя зі зміною їхнього кольору до червоно-бурого; у

хвойних рослин - почервоніння голок зверху вниз. Концентрація SO_2 понад $0,4 \text{ мг/м}^3$ навіть при короткочасному впливі може викликати значні порушення в органах асиміляції хвойних порід і некротичні зміни.

З'єднання фтору (HF) - знаходяться в атмосфері у виді газу, твердої домішки або газоподібного фториду, адсорбованого іншою твердою речовиною і мають дуже сильну токсичну дію навіть у невеликих концентраціях. Фтористий водень (HF) у виді газу токсичніше, чим у твердому стані. Основними їхніми джерелами є заводи з виробництва алюмінію, цегли, керамічних виробів, фосфатних добрив. Утворення їх відбувається при виплавці сталі і спалюванні вугілля. Рослини дуже сприйнятливі до фтористого водню в концентрації вище 10 мг/м^3 . З'єднання фтору легко поглинаються рослинами й утягуються у біологічний круговорот. Хронічна дія HF викликає в рослин хлороз уздовж прожилок листа, гостра дія HF - некроз країв листя. Однодольною рослиною, що використовують як індикатор, є гладіолус. Особливістю фторидів є їхня здатність накопичуватися в листах, особливо на краях і верхівках. Для оцінки ступеня ушкодження рослин HF застосовують аналіз тканини листка. Корми, що містять фтор, викликають у тварин блювоту і приводять до серйозних захворювань. Високою чутливістю до фтору відрізняються бджоли.

Нитрозні гази (окисли азоту) - суміш окису азоту NO , двоокису азоту NO_2 , триокису азоту N_2O_3 , напівчотириокиси азоту N_2O_4 . Вони виділяються як побічні продукти при одержанні азотної і сірної кислот, нітруванні органічних сполук, виробництві нітратних добрив. У великій кількості окисли азоту виходять разом з відпрацьованими газами автомобілів. У навколишній середовищі окисли азоту беруть участь в утворенні кислотних дощів. Організм людини в більшому ступені піддається впливові нитрозних газів. При влученні через дихальні органи окисли азоту взаємодіють з гемоглобіном, утворюють метгемоглобін, і після первісної стадії роздратування викликають хекання і набряк легень.

Аміак (NH_3) надходить в атмосферу в результаті аварій на виробництві. Він особливо уражає рослини біля місця аварії. Як і у випадку дії NO_x рослини ушкоджуються тільки при високій концентрації аміаку. Найбільш підданні дії NH_3 листя середнього

віку і можуть змінити колір від тьмяно-зеленого до бурого або чорного. Дія низьких концентрацій NH_3 викликає появу на нижній стороні листка глянцеovitості або сріблястості.

Досить добре вивчені випадки ушкодження рослинності аміаком, що спостерігаються поблизу тваринницьких ферм. Найбільш чуттєві до його впливу хвойні породи, хвоя яких під дією аміаку приймає червоно-буре фарбування й обпадає.

Хлор (Cl) і хлорчистий водень (HCl) - застосовуються при виробництві пластмас і інсектицидів, утворюються при спалюванні хлорвмісних матеріалів. Пари хлору і хлористого водню швидко осідають на землю, тому ушкоджують біоту поблизу джерела емісії. Вони наносять сильні ушкодження рослинності. На краях листка з'являються плями від темно-зеленого до чорного кольору, що потім знебарвлюються до білого або стають бурими. Ознаки ушкодження листів між жилками подібні ознакам, викликаним дією SO_2 . Можливо також поява крапок, що нагадують результат впливу озону. У хвойних, як і при дії озону, може виникати некроз кінчиків голок і плямистість. Чуттєві до дії хлору гірчиця і соняшник. При влученні в організм людини приводять до важких порушень здоров'я, у тому числі до опіків слизуватої оболонки і набрякові легень.

Бор (B) - речовина сірувато-чорного кольору, його дія на рослини, що ростуть біля джерел викидів, визначає некроз на краях листя і між жилками, а також плямистість. Листя здобуває чашоподібну форму, деформується. Гострі ушкодження можливі на відстані до 200 м від джерела. Чуттєвими до дії бора являються горіх сірий, клен, шовковиця, дикий виноград, а стійкі - в'яз, бузок, груша і більшість трав'янистих рослин.

Етилен (C_2H_4) - природний рослинний гормон, що утворюється при ушкодженні рослин різними забруднювачами повітря. Він позначається на процесах цвітіння, дозрівання плодів, старіння й обпадання листів. Етилен також присутній у вихлопних газах автотранспорту. До ознак ушкоджень рослин етиленом можна віднести погіршення їхнього росту, передчасне старіння й опадання листів, погіршення цвітіння, передчасне розкриття бруньок, уповільнене розпускання листів, їхнє скручування.

Пропілен (C_3H_6) - ненасичений ациклічний вуглеводень, безбарвний газ. Вплив пропілену на рослини подібний дії етілена, але його викликають більш високі концентрації. Пропілен придушує цвітіння в хризантем, сповільнює вертикальний ріст, але стимулює появу листів. Рослини, уражені пропіленом, мають менші розміри, але більш товсті листи.

Зважені частки (пил) і важкі метали. Вони проникають крізь листя або ушкоджують клітини епідерміса. Дрібні часточки можуть осідати на листах, знижуючи світлопоглинання і відповідно фотосинтез, негативно впливають на запилення квіток, розміри і стан листів. Важкі метали з атмосфери, осідаючи на рослину або земну поверхню, мають тенденцію накопичуватися, особливо у верхніх шарах ґрунту, відкіля можуть потрапити в рослину. Концентрація важких металів у ґрунті залежить від змісту в ній глини й органічної речовини. Найбільш розповсюдженим металом, що може попадати в рослину і ґрунт - свинець. Він накопичується в ґрунті, але переконливих доказів щодо того, що він уражає рослину, немає. Цинк, кадмій, мідь у середині літа викликають межжилковий хлороз з наступним почервонінням листів дерев, що ростуть біля джерела.

Ртуть - єдиний важкий метал, що знаходиться в рідкому стані при нормальній температурі. Вона уражає майже всі рослини. Особливо чутливою до ртуті є троянда, на листах якої з'являються бурі плями, вони жовтіють, а потім опадають. Молоді бутони буріють і опадають. Визначення змісту важких металів у рослинах можливо за допомогою методу атомно-адсорбційної спектрофотометрії.

Вихлопні гази автомобілів - токсичними компонентами є окис вуглецю, нітрозні гази, ненасичений водень і їхні фотохімічні продукти реакції (пероксіяцетілнітрат (ПАН), озон (O_3), а також ПАУ, сажа і свинцеві з'єднання. Склад вихлопних газів різний і в значній мірі залежить від конструкції мотора, принципу його дії, технічного стану і виду палива. Забруднення вихлопними газами відзначається поблизу доріг з оживленим автомобільним рухом і на селитебних територіях, особливо в містах і великих селищах.

Суміші забруднюючих речовин. У повітрі утримується трохи потенційних фітотоксичних забруднювачів. Суміші забруднюючих

речовин можуть викликати ті ж ушкодження рослин, що й окремі забруднювачі, а суміш газів може змінювати граничну чутливість рослин.

Суміш озону і діоксида сірки. Ознаки ушкоджень нею подібні ознакам поразки O_3 або SO_2 у залежності від їхніх концентрацій. Якщо концентрація O_3 і SO_2 нижче граничної для SO_2 , але дорівнює або нижче граничної для O_3 , то спостерігаються ознаки ушкоджень, схожі на отримані внаслідок дії O_3 . Вплив суміші позначається на люцерні, капусті, цибулі, квасолі.

Діоксид сірки і діоксид азоту. Дія суміші цих речовин у концентраціях більш низьких, чим граничні значення для кожного газу, виявляється в ушкодженні верхньої поверхні листів редьки, помідоров, соєвих бобів.

2. Біоіндикація забруднення атмосфери за допомогою рослин

Рослинний покрив як важлива складова біосфери відображає її загальний стан і хід майже всіх процесів, що відбуваються на планеті. Життя на Землі було б неможливе без безперервного процесу фотосинтезу, що відбувається в зелених частинах рослин, що є основним стабілізатором вуглекисло-кисневого балансу повітряного басейну.

Рослини як важливий компонент біогеоценозу помітно впливають на інші його елементи, сприяють формуванню ґрунтового покриву, впливають на хімізм ґрунту і її родючість, а також на життя усіх тваринних і живих організмів, одночасно реагуючи на всі зовнішні фактори.

Гарними індикаторами забруднення повітряного середовища є рослини, оскільки вони в більшому ступені уражаються забрудненим повітрям і сильніше реагують на ті концентрації більшості шкідливих домішок, що у людей і тварин не залишають видимих явищ отруєння.

Дія газових полютантів на рослини залежить від виду шкідливих речовин, концентрації забруднюючих речовин, тривалості впливу, відносної сприйнятливості видів рослин до дії

газів і стадії фізіологічного розвитку, у якій знаходиться рослина в момент впливу шкідливих речовин.

Токсичні гази проникають у мезофіл листа головним чином через устячка. Потрапляючи в підустичну порожнину і дифундуючи через міжклітинні простори, вони розчиняються в межфібрилярній воді клітинної стінки, утворюють з'єднання, що руйнують зовнішню клітинну мембрану. Ушкодження мембран виявляються в їхній підвищеній проникності, у зміні рН і редокс-потенціалу. Зміна властивостей біомембран може приводити до трансформації ферментативного обміну, зрушенням у вмісті неорганічних іонів і низькомолекулярних речовин.

Перші порушення в анатомічній будові простежуються в будові хлоропластів. На ранніх стадіях ушкоджень спостерігаються округлення хлоропластів, редукція гранов, руйнування оболонки хлоропластів, роздування тілакоїдної системи. Надалі відзначаються руйнування цитоплазми і стискання клітини. Крім того, у хлоропластах можлива поява ліпідоподібних крапель, зміни обрисів клітинних органел, розтягання оболонок хлоропластів, роздування і закручування тілакоїдів. Виділяють три стадії ушкоджень хвої ялини і сосни: ушкоджуються тільки хлоропласти, ушкоджуються й інші органели, органели зникають або перетворюються в безструктурну масу.

Інтенсивність впливу кислотних опадів залежить від змочування поверхні рослин. Змочування, у свою чергу, визначається рельєфом кутикули, наявністю волосків, що криють, тургором листа, характером поверхні і морфології епікутикулярного воску. Ступінь ушкодження фітомаси змінюється в залежності від видової приналежності. Так, кутикула листів тополі *Populus sp.*, сосни *Pinus sylvestris* не руйнується від впливу SO_2 . Деякі види збільшують восковий наліт при забрудненні повітря: плевел *Lolium perenne*, горох *Pisum sativum*, рапс *Brassica napus* характеризуються збільшенням числа дрібних пластинок і трубочок воску на одиницю поверхні. У квасолі *Phaseolus vulgaris*, навпаки, відбувається зменшення кількості епікутикулярного воску. При впливі кислотних опадів спостерігається руйнування воскового нальоту в сосни звичайної. У нормальних умовах природне руйнування воскового покриву хвої настає на 4-5-й рік, при впливі

кислотних опадів цей процес проходить у 2-5 разів швидше, тому навколо устячок восковий наліт відсутній навіть на хвої 1-2-літнього віку. Оскільки процес руйнування воскового покриву необоротний, це приводить до різкого зниження життєвості хвої.

3. Газостійкість і газочутливість рослин

При біоіндикаційних дослідженнях і аналізі реакції організму на вплив забруднення повітря варто розрізняти газостійкість і газочутливість рослин.

Газостійкість - здатність зберігати властиві організмові процеси життєдіяльності і насінного відтворення в умовах забруднення газами і парами атмосферного повітря. Рівень газостійкості виду або особні оцінюються по граничних концентраціях токсичної речовини, що не викликають функціональних і структурних порушень в організмі в період найвищої фізіологічної активності і чутливості до діючих атмосферних домішок.

Газочутливість - реакція організму на вплив забруднюючої речовини в конкретний період його розвитку.

Виділяють наступні форми газостійкості:

1. Анатомічна. До пристосувань, що знижують вплив токсичних газів, відносяться: ксероформні ознаки - стовщення епідерміса, розвиток кутикули, воскового нальоту, опушення, щільне додавання тканин, наявність коркового шару при слабкому розвитку аэренхимы.

2. Фізіологічна. Включає зміни у фотосинтезі, подиху, роботі устячок і зміна інтенсивності транспірації, зниження інтенсивності газообміну.

3. Біохімічна. Поєднує ті особливості метаболізму, що утрудняють або виключають пошкоджувальність ферментних систем, білкового й іншого обмінів. Буферність цитоплазми стосовно підкислюючій дії сірчистого газу, безхлорофільність тканин.

4. Габітуальна. Включає особливості будови крони, розгалуження і висоти надземних частин, що зменшують контакт листів і квіток з токсичними газами. Утворення стланикових і подушкообразних форм, пірамідальних крон дерев.

5. Фенорітмічна. Зсув і зміни в ході фенологічних фаз, передчасне пожовтіння й опадання листя.

6. Анабіотична. Представляє крайній випадок фізіологічної газостійкості. До числа ознак цієї форми відносяться різке скорочення газообміну і значні анатомічні зміни в зимуючих видів дерев і чагарників.

7. Регенераційна. Здатність повторного облиствлення і відростання надземної фітомаси.

8. Популяційна. Включає зміни вікового складу, модифікації особнів, поліморфізм.

9. Фітоценотична. Поєднує ознаки рослинних співтовариств, що знижують токсичний вплив газів: структура ярусів, густина насаджень, особливості горизонтальної і вертикальної будівлі фітоценозів.

Сила реакції організмів на дію поллютантів залежить від особливостей зовнішнього середовища, біологічних і систематичних особливостей самих організмів, їхнього фенологічного стану, віку і т.д.

Освітленість, температура, вологість і мінеральне харчування впливають на чутливість рослин до забруднюючих газів. Вирішальним образом впливають на газочутливість вологість повітря й освітленість. При високій вологості повітря і ґрунту рослини стають більш чутливими до токсичного впливу. В умовах затінення й у нічні години пошкоджуваність листів різко знижується, що зв'язано, насамперед, з інтенсивністю висвітлення і температурою повітря. Установлено, що стійкість рослин до впливу SO_2 може зростати в нічні години у 4 рази. Денне похолодання може викликати значне зниження токсичності газів. Затінення також здатне цілком знімати згубний вплив газоподібних токсикантів. Влітку і навесні рослини менш стійкі, чим восени й узимку. Однак зимова відлига здатна різко знижувати стійкість деревних порід.

Біологічні особливості, що знижують, газочутливість. Поглинання токсичних газів є функцією градієнта концентрацій, спрямованих від поверхні усередину листа, і опору до токсикантів. Опір, у свою чергу, складається з:

1) аеродинамічного - особливостей структури крони, розташування галузей і листів, наявності опушення надземної маси й ін.;

2) кутикулярного - розвитку могутніх покривних тканин, що перешкоджають проникненню поллютантів;

3) устичного - подвядання листів, що знижує пошкоджуваність тканин;

4) внутрішнього - щільної структури тканин, біохімічної стійкості до забруднюючої речовини.

Зниженню газочутливості сприяє ксероморфна структура - щільне додавання тканин, утворення могутніх покривних тканин, розвиток кутикули, воскового нальоту і т.д. Світлові листи менш чуттєві до впливу повітряних токсикантів, чим тіньові.

Велике значення при визначенні газостійкості має вік листів і особнів. У житті рослин виділяється кілька критичних періодів, коли вони найбільш чуттєві до впливу токсикантів: поява сходів, зимівля однолітніх сіянців, розкриття бруньок, розпускання квіток, дозрівання плодів.

Велике значення при визначенні чутливості видів має неоднорідність популяції. У рослин можливі швидка адаптація і формування структури, стійкої до поллютантам.

У біоіндикаційних дослідженнях необхідно враховувати систематичну приналежність видів і зміну ступеня їх газостійкості. По ступені зменшення стійкості до суміші нафтових газів і SO_2 розташовують види в наступний ряд: тополя бальзамічна *Populus balsamifera* - липа дрібнолиста *Tilia cordata* - жовта акація *Caseadana arborescens* - береза пухната *Betula pubescens* - ясен *Fraxinus excelsior* - клен *Acer campestre*.

При впливі SO_2 особливу стійкість мають: чубушник вінцевий *Philadelphus coronarius*, троянда зморшкувата *Rosa rugosa*, дерен білий *Swida alba*. Низькою стійкістю характеризуються: модрина сибірська *Larix sibirica*, ялиця сибірська *Abies sibirica*, кизильник блискучий *Cotoneaster lucidus*.

З огляду на особливості газочутливості і газостійкості рослин, у якості біоіндикаційних ознак можна використовувати різні специфічні і неспецифічні ознаки.

4. Неспецифічна і специфічна індикація

До числа найбільш показових ознак специфічної індикації відноситься зміна хімічного складу біомаси і нагромадження полютантів. Спостерігається залежність вмісту полютантів від віку листів.

I група видів відрізняється максимальним змістом полютантів у молодих листах (травень) - липа дрібнолиста *Tilia cordata*, клен платановидний *Acer platanoides*, лох вузьколистий *Elaeagnus angustifolia*, бузок звичайний *Syringa vulgaris*.

II група видів характеризується переважною акумуляцією в зрілих листах (липень) - кінський каштан *Aesculus hippocastanum*, тополя канадський *Populus canadensis*, чубушник вінцевий *Philadelphus coronarius*, бирючина звичайна *Ligustrum vulgare*, жимолость татарська *Lonicera tatarica*, дерен білий *Swida alba*.

Неспецифічна індикація аеротехногенного забруднення може проводитися по різних біохімічних і фізіологічних реакціях. Основними індикаторними ознаками, що відбивають стресове навантаження, є:

1. Зміна активності ферментів.

2. Руйнування пігментів у листах рослин під дією аеротехногенного забруднення. Добре вивчене зниження кількості хлорофілу, насамперед хлорофілу *a*. Як індикатор використовується зміна співвідношення хлорофіл *a*/хлорофіл *b*.

3. Зміна кількості і співвідношення каротиноїдів. При впливі SO₂ збільшується зміст лютеїна і зменшується кількість *p*-каротіна.

4. Передчасна поява гормонів старіння - етилена й абсцизової кислоти.

5. Зміна мінерального обміну. Індикаторними ознаками є зміна вмісту жирних кислот, збільшення вмісту сахарози і глюкози.

Неспецифічна індикація проводиться по різних морфологічних, анатомічних і поведінкових параметрах. Широко розповсюдженими індикаторними ознаками є наявність хлорозів і некрозів.

У результаті поразки надземної маси хлорозом і некрозом відбувається передчасне опадання листя - дефоліація.

Біоіндикаційною ознакою служать зміна розмірів клітин, тканин, смоляних ходів, листів, трансформація розмірів стебел і в

цілому організмів. Так, при впливі SO_2 спостерігається укорочування, зміна товщини хвої сосни й ін. Відзначено достовірний кореляційний зв'язок зниження радіального приросту сосни *Pinus sylvestris* з обсягом викидів. У той же час довжина хвої в меншому ступені залежить від аеротехногенного забруднення, основними факторами її варіювання є положення гілок у кроні, вік і порядок розгалуження пагонів, зімкнутість деревостоя.

Порушення процесів життєдіяльності під впливом токсичних газів може приводити до зміни будови тканин, окремих органів і в цілому форми росту рослин. Крайнім випадком прояву впливу токсикантів є утворення виродливих форм - тератов. Часто відбувається деформація листових пластинок деревних порід і чагарників - виникають виродливі перетягання, здуття або скривлення листових пластин, змінюється форма слані лишайників. У комах можуть виникати зміни структури поверхні тіла. Індикаторами забруднення повітря є смертність бджоли медоносної, клещей-орібатидів. Деякі симптоми зміни параметрів розвитку біоіндикаторів зазначені в табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Організми-монітори шкідливих речовин у повітрі

| Поллютанти | Біоіндикатори | Симптоми |
|-----------------------|--|---|
| Фтористий водень (HF) | Гладиолус <i>Gladiolus gandavensis</i> cv. <i>Snow Princess</i> , <i>Flowersong</i> , тюльпан <i>Tulipa gesneriana</i> cv. <i>Blue Parrot</i> , <i>Preludium</i> , касатик <i>Iris germanica</i> , петрушка кучерява <i>Petroselinum crispum</i> var. <i>vulgare</i> | Некрози верхівок і по краях листя. Накопичення фтора в сухій речовині |
| | Бджола медоносна <i>Apis mellifera</i> | Захворювання і загибель |
| Озон (O_3) | Тютюн <i>Nicotiana tabacum</i> cv. <i>Bel W3</i> , шпинат <i>Spinacea oleracea</i> cv. <i>Subito</i> , соя | Некроз на верхній стороні листя |
| ПАН | Кропива пекуча <i>Urtica urens</i> , мятлик однолітній <i>Poa annua</i> | Смузчаті некрози на нижній стороні листя |

Продовження табл. 8.2

| Полютанти | Біоіндикатори | Симптоми |
|--|--|--|
| Двоокис сірки (SO_2) | Люцерна <i>Medicago sativa</i> cv. <i>Du Purls</i> , гречиха <i>Fago-pirum esculentum</i> , подорожник великий <i>Plantago major</i> , горох <i>Pisum sativum</i> , клевер інкарнатний <i>Trifolium incarnatum</i> | Міжжилкові хлорози і некрози |
| Двоокис сірки (SO_2) | Зелена водорість <i>Trebouxia</i> sp. | Порушення енергетичного балансу, зменшення АТФ і збільшення АМФ |
| | Тля <i>Aphis sambuci</i> | Зменшення малатдегідрогенази |
| | Личинки синьої мухи червоноголової <i>Galliphora erythrocephala</i> | Збільшення смертності |
| Двоокис азоту (NO_2) | Шпинат <i>Spinacea oleracea</i> cv. <i>Subito</i> , <i>Dynamo</i> , махорка <i>Nicotiana rustica</i> , сельдерей <i>Arium graveolens</i> | Міжжилкові некрози |
| | Пацюк <i>Rattus rattus</i> | Пероксидація ліпідів тканини легень |
| Хлор (Cl_2) | Личинки синьої мухи червоноголової <i>Galliphora erythrocephala</i> | Підвищена смертність личинок |
| | Шпинат <i>Spinacea oleracea</i> cv. <i>Subito</i> | Побіління листя |
| | Квасоля <i>Phaseolus vulgaris</i> , салат <i>Lactuca sativa</i> | Деформація хлоропластів |
| Сполучення шкідливих речовин у повітрі | Виводкові бруньки <i>Marschandia polymorpha</i> | Зменшення приросту клітин |
| | Листові і чагарникові лишайники <i>Hypodumnia physodes</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria glauca</i> | Зниження вмісту хлорофілів «a» і «b», зменшення вмісту живих клітин водоростей |
| | Ялиця <i>Abies alba</i> , ялина <i>Picea abies</i> , сосна <i>Pinus sylvestris</i> | Зниження вмісту хлорофілів «a» «b», зменшення віку голок і затримка росту |

Інтегральною ознакою токсичного впливу є *зниження біопродуктивності і запасів біомаси*. При оцінці її зміни на цьому рівні можуть бути використані величини радіального і лінійного приросту деревних порід, зміна сумарної довжини листових пластинок у розеточних форм трав'янистих видів.

Можливий облік наземної і підземної біомаси рослинності з визначеної одиниці площі або біомаси особей досліджуваного індикаторного виду. Гарним індикатором забруднення атмосферного повітря є зниження проективного покриття або повне зникнення епіфітних лишайників.

Загальне проективне покриття лишайників у зоні впливу промислових викидів зменшувалося в порівнянні з фоновим: на відстані 30 км від джерела викидів - у 4 рази; у 15 км - воно складало 1/100 від фонового, а на відстані 3 км лишайники, виявлені на фонівій території взагалі були відсутні.

Як індикатор може бути використана зміна плідності організмів. При забрудненні повітря відбувається зменшення утворення плодових тіл у лишайників, збільшення кількості стерильних квіток у суцвіттях рослин, зміна біопродуктивності ягідників (чорниці, брусниці, журавлини). Відзначається зменшення числа яєць у кладках птахів, змінюється репродуктивність комах, земноводних і інших груп тварин.

Деякі сорти садової квасолі *Phaseolus vulgaris* дуже чутливі до впливу O_3 . Під дією полютанта на більш старих листах з'являється опік і/або зернистість з наступним хлорозом і опаданням листів.

У якості біоіндикаторів забруднення O_3 рекомендується використовувати також деякі сорти винограду лабруска *Vitis labrusca*. Ушкодження оцінюється по площі листової поверхні, на якій з'являються маленькі пурпурно-чорні крапки. Згодом ці крапки зливаються, утворити плями. В остаточному підсумку листи стають хлорозними, буріють і можуть відмерти. Толерантність листів залежить від їхнього віку: чим старіше лист, тим більше він чуттєвий до впливу O_3 .

Як індикатор підвищеного змісту в повітрі O_3 можна використовувати Веймутову сосну *Pinus strobus*. Показником забруднення служать ушкодження голок або пагонів і зміна вторинного радіального приросту стовбура. Хлороз кінчиків голок,

їх крапчатість, втрата і затримка росту - характерні ознаки впливу O_3 ; високі концентрації полютанта викликають сильний опік кінчиків хвої і поява бурого фарбування. При невисокому забрудненні повітря уражається молода тканина хвої, що розвивається, що супроводжується розвитком на кінчиках наймолодших чуттєвих голок хлоротической плямистості, що поширюється на більш старі голки. Надалі починається обпадання хвої, так що сильно ушкоджені дерева можуть утратити всю зрілу хвою, зберігши лише пучки незрілих хвоїнок на кінцях гілок.

Суміш O_3 і SO_3 індикує появу низькорослих дерев із пригнобленими верхівками і коренями, короткими скрученими плямистими голками і передчасною дефоліацією. Така зміна росту одержала назву синдрому хлоротичної карликовості. Вплив SO_2 може викликати зміна кольору кінців голок на червоний, а потім бурувато-сірий, можуть з'явитися окремі жовті плями - мозаїчність хвої. Кількаразове окурювання SO_2 послабляє дерева і приводить до їхнього відмирання. Звичайний вплив його в умовах гумидного клімату збільшується також випаданням кислотних дощів. Ушкодження крапок росту найчастіше приводить у появі морфологічних ендемій. До індикаторів забруднення повітря SO_2 відносяться сосна Веймутова *Pinus strobus*, сосна звичайна *Pinus sylvestris*, тополя осинообразный *Populus tremuloides*.

Більшість деревних порід стійкі до впливу ПАН. При оцінці забруднення атмосферного повітря ПАН найбільшою індикаторною значимістю відрізняються салат посівний *Lactuca sativa*, буряк *Beta chilensis*, мятлик однолітній *Poa annua*. Листи цих рослин чуттєві до ПАН, але стійкі до впливу O_3 . Першою ознакою їхнього ушкодження є водянистість або глянцеvitість нижньої поверхні листа. При продовженні впливу клітини губчатого мезофила, розташовані поблизу устячок, стискаються і заміщаються повітряними порожнинами, додаючи нижньої поверхні ушкодженого листа срібliste фарбування. Через два-три дні срібlistий колір може перемінитися на бронзовий. Іншим індикатором впливу ПАН служить «фасціяція» - смуцате розташування ушкоджених тканин. Вона з'являється спочатку на верхівках молодих листів, потім при повторному впливі реакція повторюється, так що на листі утвориться друга серія смуг,

відділена від першою здоровою тканиною. Після декількох впливів лист уражається цілком.

Токсичність окислів азоту визначається головним чином їхньою здатністю до кислотоутворення. Поява ознак ушкодження при 24-годинному окурюванні на листах чуттєвих рослин відзначається при концентрації NO_2 близько $1,0 \text{ млн}^{-1}$. Дослідження 60 видів рослин при впливі на них сумішшю 1:1 NO і NO_2 з концентрацією 6 млн^{-1} протягом 4-8 годин показало, що до найбільш чуттєвих видів відносяться гірчиця *Sinapis arvensis*, горох *Pisum sativum*, кущова квасоля *Phaseolus vulgaris* і люцерна *Medicago sativa*. Однак ефективних індикаторів, що володіють специфічною реакцією, для моніторингу забруднення атмосферного повітря виявлено не було.

Забруднення повітря вихлопними газами індикується за допомогою крес-салата. При використанні цього тест-об'єкта визначаються схожість і приріст зародкових корінців 50 насіннь, розміщених на території досліджень у чашках Петри. Тривалість досліджень складає 10 днів.

При постійному впливі токсичних газів відбувається добір найбільш стійких екземплярів і формування на даній території специфічних популяцій видів. Виявити їх простіше всього за допомогою морфометричних досліджень. Так, у районі Арнольдштайна в Німеччині відзначений низькорослий екотип мітлиці *Agrostis stohnifera* із щільно зімкнутими мітелками, що обмежують вплив SO_2 (Kutschera-Mitter et al., 1982). У місцях вулканічної діяльності формуються природні стійкі популяції рослин, що відрізняються підвищеною толерантністю до токсичних газів. Дослідження показують, що японська модрина стійкіше до впливу SO_2 , чим європейська.

На флористичному, фауністичному, біоритмічному і поведінковому рівнях найбільш показовими біоіндикаційними ознаками є зміна річного складу і добір стійких екотипів. У тайгових біогеоценозах при впливі токсичних газів спостерігається зміна соснових і ялинових лісів на березові. За рахунок розрідженості крон, освітлення лісів знижується кількість кислиці звичайної *Oxalis acetosella*, седмичника європейського *Trientalis europ*, щитовника голчастого *Dryopteris spinulosa*, голокучника

Gymnocarpium dryoptt Thelipteris phaegopteris і ін., збільшується частка геліофітів земляники лісовий *Fragaria vesca*, золотарнику *Solidago virgaurea* і ін.

У якості біоіндикаторів забруднення атмосферного повітря широко використовуються лишайники. Найбільш чутливою частиною організму лишайника до дії SO_2 є симбіотична водорість. Установлено, що навіть короткочасна дія сірчистого газу в концентрації $0,5 \text{ мг/м}^3$ згубно для лишайників, а $0,1 \text{ мг/м}^3$ ушкоджує більшість видів. У зоні лишайникової пустелі середньорічна концентрація SO_2 звичайно перевищує $0,3 \text{ мг/м}^3$. У таких умовах може зустрічатися лишайник *Lecanora conizaeoides*, що володіє найвищою стійкістю. При середній концентрації сірчистого газу в повітрі $0,05-0,2 \text{ мг/м}^3$ можуть існувати види лишайників родів *Xanthoria*, *Hypogymnia*, *Parmelia*, *Physcia*, *Lecanora*. Виростання лишайників з родів *Ramalina*, *Usnea*, *Alectoria*, *Evernia* можливо при середньорічному вмісті SO_2 менш $0,05 \text{ мг/м}^3$, а *Lobaria pulmonaria* здатна виростати тільки в чистому повітрі. На епіфітних лишайниках чітко простежується так названий, міський ефект - зменшення кількості видів від периферії до центра міста або з наближенням до джерел забруднення. Зменшення видової розмаїтості з 68 видів у лісопарках на окраїні м. Сан Петербурга до 1-2 видів у центральній частині міста. На прикладі Підмосков'я показані значні зміни видового складу епіфітних лишайників під дією аеротехногенного забруднення за період з 2006 по 2007 р. Загальна кількість видів за цей час практично не змінилося і склало відповідно 28 видів у 2006 р. і 27 - у 2007 р. Однак загальних таксонів, зафіксованих ділянці в обидва терміни, виявилось тільки 14, а коефіцієнт спільності склав лише 34%. До 2007 р. зникли 14 видів, у той же час з'явилося 13 видів, що не відзначалися раніше.

При хронічному забрудненні повітря відбуваються зміни в складі, структурі і будові фіто- і зооценозів. При сильному забрудненні відзначаються деградація лісових співтовариств і заміна їх на розріджені угруповання вейника *Calamagrostis arundinaceae*. У районах Уральських мідеплавильних заводів, що викидають в атмосферу SO_2 , вирубки залишаються безлісними, відсутнє поновлення лісів через загибель сходів. Відбувається змив

грунтового покриву, утворюються кам'янисті схили з фрагментами гірського степу або розріджені угруповання вейника лісового *Calamagrostis arundinaceae*, пирію повзучого *Elytrigia repens*, покрив із трав'янистого ярусу лиственичників.

Поблизу джерел викиду фтору відзначене формування мертвопокровних лісів. Найбільш стійкою деревною породою є береза. Сосна сильно страждає при впливі фтористих з'єднань, її продуктивність і достаток знижуються, відтворюваність скорочується. Соснові ліси поступаються місцем березовим. У зв'язку з високою стійкістю в березових лісах зберігається порівняно багата фауна безхребетних. Основу складають комахи, що харчуються березою, і хижаки, зв'язані з березою по ланках харчового ланцюга. Видова розмаїтість амфібій скорочується до 2 видів у порівнянні з 6 видами на контролі. Чисельність дрібних ссавців у зоні до 10 км від джерела забруднення фтором на порядок менше, ніж на контролі.

Перспективною групою по виявленню впливу фтору є мурахи. При хронічному забрудненні повітря збільшується кількість покинутих мурашників. Мурахи переходять на підземний спосіб життя, формують житла в розсипах каменів. Кращими біоіндикаторами фтористих викидів є павуки. Зниження розмаїтості і чисельності павуків у місцях викидів фтору служить першим сигналом про неблагополуччя лісового біогеоценозу.

Несприятливий вплив фтору виявляється в гнобленні ґрунтової мікрофлори, падінні біологічної активності ґрунтів, зниженні азотфіксації і родючості.

Зміни видового складу фіто-, зоо- і мікробоценозів приводять до змін усього біогеоценозу. Відбуваються порушення в системі трофічних зв'язків. Через рослини, що утримують фтор і поїдаються, першими страждають філофаги, зменшуються їхня чисельність, видова розмаїтість (пилильщики, тлії, цикади, клопи й ін.) Але на їхній розвиток діють два взаємозалежних і протилежно спрямованих фактори: сприятливий (ослаблення кормової рослини) і несприятливий (токсична дія газів). Тому поблизу джерела забруднення чисельність шкідників низка через токсичність газів. В міру видалення від джерела забруднення на ослаблених деревах відзначається масове поширення філофагів, що поступово

скорочується в зв'язку з відновленням опірності деревних порід. Багато дослідників підкреслюють, що чисельність шкідників може розглядатися як біоіндикаційна ознака тільки в сполученні з іншими характеристиками забруднення, оскільки можливі локальні перетворення в співтовариствах безхребетних. Так, причиною масового розвитку попелиць можуть з'явитися мурахи, що знищують гризучих хижаків попелиць на стадії личинок.

5. Рослини-індикатори і рослини-монітори

У залежності від особливостей реакції на вплив поллютантів рослини розділяють на рослини-індикатори і рослини-монітори.

Рослина-індикатор - рослина, у якої ознаки ушкодження виявляються при впливі фітотоксичної концентрації забруднюючих речовин або їхньої суміші.

Рослина-індикатор служить хімічним сенсором, що може знайти в повітрі присутність забруднюючої речовини, але спостереження за ним не дають можливості отримати кількісні дані.

Індикаторами можуть бути такі рослини, що акумулюють у тканинах забруднюючі речовини або продукти метаболізму, утворені унаслідок взаємодії рослини з зовнішніми факторами: важкими металами (свинець і кадмій), газоподібними речовинами, такими як фтористий водень (HF) або сульфат (SO_4). Унаслідок їхньої дії в рослин можуть змінюватися параметри розвитку: швидкість і якість росту і дозрівання, цвітіння, утворення плодів і насіння, процесів розмноження; знижуватися продуктивність і врожайність. Кожен параметр окремо або їхній комплекс можна використовувати, щоб визначити наявність забруднюючих речовин у повітрі і (за допомогою проведення експериментів) у контрольованих умовах для того, щоб зіставити ознаки ушкодження або зміни в стані рослини з наявністю визначеної забруднюючої речовини або їхньої суміші. Такі дослідження засвідчили, наприклад, що тютюн дуже чутливий до дії озону і реагує характерними ушкодженнями. Також виявлене, що кількість зав'язі і врожайність помідорів значно зменшуються при хронічному впливі на цю рослину озону в низьких концентраціях. У соєвих бобів за дії визначених доз SO_2 з'являються небажані ознаки, змінюються швидкість росту і врожайність.

Лишайники і мохи відомі як накопичувані забруднюючих речовин, переважно важелих металів, що ці рослини можуть акумулювати в кількостях, що значне перевищують їхню концентрацію в навколишнім середовищі.

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

З огляду на важливість кількісної оцінки, особливо інформативними є організми, що певним чином реагують саме на кількість полютанта в навколишнім середовищі, тобто рослини-монітори.

Рослина-монітор - рослина, по ознаках ушкодження якого можна одержати інформацію про кількість забруднюючих речовин або їхньої суміші в навколишнім середовищі.

Звичайно, з цією метою використовують різноманітні прилади. Однак прилади коштують дуже дорого, для їхньої роботи необхідні калібрування, спостереження за функціонуванням. Іноді вони досить чутливі і непридатні для роботи в умовах суворого клімату. На відміну від них рослини дешеві, легко відновлюються, швидко розмножуються і по-різному реагують на вплив, даючи можливість вибрати одну або кілька самих характерних реакцій для визначеного дослідження. Можна також використовувати короткоживучі (трав'янисті) рослини, що обновляються кожен сезон або кілька разів протягом одного вегетаційного періоду, або деревні рослини (дерева, чагарники), який можна висадити на потрібних ділянках і використовувати як індикатори протягом тривалого періоду.

Для того щоб індикатор став монітором, тобто міг інформувати про якісні і кількісні характеристики полютанта, необхідно визначити і використовувати залежності між реакцією рослин на забруднення і концентрацією цієї речовини в навколишнім середовищі. Для цього використовують три основних способи:

- зіставлення ступеня ушкодження, викликаного забруднюючою речовиною, з відомою концентрацією забруднюючої речовини в навколишнім середовищі;
- використання рослини як живого колектора (нагромаджувача забруднюючих речовин);

- виміру кількості забруднюючої речовини або метаболітів (новоутворених речовин), що з'явилися в рослинних тканинах після дії поллютанта, і зіставлення отриманих значень з концентрацією забруднюючої речовини в повітрі.

Оскільки унаслідок властивим рослинам мінливості види і сорти рослин по-різному реагують на вплив негативних факторів, варто відбирати ті рослини, реакція яких предвиденна. Такими є мохи, папороті, голо- і покритосеменні, що використовують як біоіндикатори і (або) біомонітори.

б. Оцінка реакції рослин на забруднення

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

Ушкодження листів можна аналізувати за допомогою серії фотознімків методом прямих порівнянь знімків уражених листів з контрольними знімками листя рослин, що зазнали впливу від відомих забруднюючих речовин у лабораторних умовах. Розподіл досліджуваної ділянки з великою кількістю рослин на квадрати дає можливість виразити кількісно дані об ушкодження листя, з'ясувавши кількість їхніх ушкоджень; ступінь ушкодження; чисельність ушкоджень на одиницю поверхні. За допомогою лінійних графіків можна відобразити залежності ушкодження листя від періоду дії дози забруднюючої речовини. Ці криві можна порівняти з кривими «доза - реакція», отриманими в лабораторних умовах. У такий спосіб можна визначити якісний склад повітря протягом визначеного періоду й установити вид забруднюючої речовини або склад суміші.

Визначений метод кількісної оцінки обирають у залежності від рослинного матеріалу, що забруднює речовини й обмірюваних параметрів. Ступінь ушкодження трав'янистих рослин з'ясовують візуально, визначаючи площу (у відсотках) ушкодженої поверхні листя. У випадку спостереження за хвойними рослинами оцінюють довжину голок, їхній колір і форму, вік хвої, кількість ушкоджених голок на галузі (у відсотках).

Результати спостережень можна об'єднати в дві групи: площа ушкодженої листової поверхні (у відсотках); площа нових ушкоджень кожної рослини за визначений період часу.

Якщо рівень забруднення визначається по обсязі поглинання забруднюючої речовини, з'ясовують кількість забруднюючої речовини або кількість метаболітів, викликаних поллютантом.

Рослини-колектори можна успішно використовувати для моніторингу важких металів. Метали не тільки накопичуються в листі лишайників, а і поглинаються їх тілом і акумулюються в тканинах. Висушивши, зваживши і здійснивши хімічний аналіз тканини зібраних рослин, можна визначити кількість поглиненого металу. Змінюючи проміжки часу між зборами рослин, можна зіставити вміст металу в їхніх тканинах з концентрацією металу в повітрі.

Лишайники можна використовувати для контролю вмісту SO_2 у навколишнім середовищі. Здатність до акумуляції SO_2 залежить від виду цих рослин.

Об'єднання методів інструментального моніторингу зі спостереженнями за лишайниками дасть можливість установити залежність між їх ростом і концентрацією SO_2 у навколишнім середовищі. Швидкість росту і колір лишайника вказують на присутність або відсутність SO_2 і його приблизну концентрацію в повітряних масах. Цей метод використовують при моніторингу SO_2 в Англії, Ірландії, Канаді, Франції, Швеції і США.

7. Добір і підготовка біологічних матеріалів для біоіндикації

Одержання достовірних, повних і точних даних за допомогою біоіндикації можливо лише у випадку точного дотримання ряду вимог. Так, при виборі рослини для використання його в ролі біомонітора необхідно дотримувати таких умов:

- наявність у рослини вираженої реакції на вплив забруднюючої речовини, тобто помітних ознак ушкодження, змін швидкості росту, морфологічних змін, порушень цвітіння, змін продуктивності або врожайності;

- добір рослин, невибагливих до умов вирощування і нагляду;

- добір рослин, що мало піддаються впливові шкідників і хвороб.

Одержання усереднених зразків матеріалів рослинного походження (сформованих з 5-6 разових проб) є складною задачею, що вимагає правильного вибору місця, способу і часу. Рослинні зразки варто збирати на досить великій відстані від будинків, доріг і джерел забруднюючих речовин. Досліджувану ділянку умовно розділяють на кілька квадратів, з кожного рівномірно відбирають рослинний матеріал (листя, стебла, корені) у необхідній кількості. Пробу рослин (цілі або окремі частини) збирають у першій половині дня при сухій погоді. На ранніх стадіях розвитку (2-3 листа) у ній може бути не менше 10 рослин з одного гектара; для гречки, гороху, зернових – 25; у високорослих рослин беруть нижні, добре розвинуті листки (не менше 50 рослин). Проба повинна бути репрезентативною, тобто забезпечувати відповідність її хімічного складу хімічному складові аналізованого матеріалу (наприклад, кількість рослинного матеріалу квітів - 300 м, здрібненої листя і трави - 200 м, трави – 400-600 м, кори і коренів – 600-650 г).

Паралельно з добором проб проводять біологічний облік відібраних рослин (висота рослин, кількість утєч на одній рослині, фази розвитку).

Аналізи рослинних зразків проводять відразу, або зберігають них у холодильнику. Призначений для аналізу рослинний матеріал перед всі очищують від піску, землі й інших механічних домішок.

Після цього листки, плоди і насіння обов'язково просушують до повітряно-сухого стану (крім випадків, коли необхідно зробити аналіз рослинного зразка в сирому виді), пробу гомогенізують (подрібнюють). Сирі рослинні матеріали подрібнюють у міксері або іншому гомогенізаторі, використовуючи чистий скляний посуд і зроблене з нержавіючої сталі дробильне оснащення.

Інтенсивної вентиляції зразка при гомогенізації треба уникати, тому що це може привести до втрат деяких компонентів, особливо тих, котрі легко окисляються.

Сухі і висушені продукти (зерно, насіння) подрібнюють спеціальними млинками, іноді просівають ситом з визначеними розмірами отворів, щоб одержати потрібну зернистість.

Зразки біологічного походження перед аналізом, зазвичай, мінералізують сухим (спалювання органічної речовини за вільного доступу повітря, у результаті чого залишаються мінеральні елементи переважно у виді оксидів металів) або вологим (озолування органічної речовини розчинами кислот, унаслідок чого виходить розчин з мінеральними речовинами) методами.

Щоб при сухій мінералізації (озоленні) не втратити літаючі компоненти, рослинний зразок нагрівають до температури не вище 450°C. Оскільки при цьому в більшості випадків не вдається цілком позбутися органічних компонентів, до золи додають концентровану азотну кислоту і випарюють насухо. Для позбавлення від залишків вуглецю використовують метод випарювання із соляною кислотою на піщаній лазні. Елементи мінерального залишку визначають за допомогою визначених хімічних реакцій.

У деяких випадках застосовують метод мінералізації зразка вологим способом за допомогою таких речовин, як азотна кислота, азотна кислота і соляна кислота з добавкою перекису водню, сірчана кислота і соляна кислота. У досліджувану пробу доливають суміші кислот, залишають на визначений період до обвуглення рослинної маси. Після цього розчин підігрівають на слабкому вогні 5-7 хв. до утворення однорідної коричнево-бурої маси, температуру озолення підвищують і продовжують його.

Повне озолення триває 15-20 хв. Після його закінчення розчин прохолоджують, розбавляють дистильованою водою і визначають потрібні елементи, застосовуючи характерні для того або іншого елемента хімічні реакції.

ЛЕКЦІЯ 9 БІОІНДИКАЦІЯ СТАНУ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ

План

1. Основні наслідки дії пилу і золи на природно-територіальні комплекси
2. Зміна кислотності ґрунтів, рослини-індикатори кислотності і багатства ґрунтів
3. Механічний склад ґрунтів, літоіндикатори

4. Показники й індикатори ґрунтової родючості
5. Індикація засоленості ґрунтів – постійні, перемінні, негативні індикатори
6. Індикація типів ґрунтів

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

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

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

У попередній лекції були розглянуті питання біоіндикації впливу аеротехногенного забруднення. З викидами промислових підприємств і транспорту в повітря попадають тверді частки, що осаджуються надалі на поверхні землі. Дія пилу і золи на ПТК різноманітна й у результаті відбувається наступне:

1. Осідання на надземні органи рослин і фоліарне поглинання, залучення доступних форм у біологічний круговорот.
2. Зміна фізичних і хімічних характеристик ґрунтів:
 - зміна механічного складу,
 - зміна загальної насиченості підставами (зрушення рН і т.д.),
 - нагромадження токсичних речовин.
3. Водна міграція полютантів і забруднення природних вод.

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

Серед найбільш розповсюджених забруднюючих речовин варто вказати: біогенні компоненти (*N, P, K, Ca* й ін.), макрокомпоненти (*Fe, Al, Si, Na, Mg* і ін.), мікрокомпоненти, у тому числі ВМ (*Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr, Hg, As, Sb, Co, Mn, Ba Sr, Mo, V* і ін.).

Геохімічна оцінка стану навколишнього середовища складає невід'ємну частину екологічних досліджень, на базі якої здійснюється верифікація реакцій біоти на стресові впливи і будується система методів біоіндикації. Як еталони порівняння використовується кларк вмісту хімічних елементів у ґрунтах і рослинах континентів (Брукс, 1986; Добровольский, 1998; і ін.). При роботі в конкретних умовах однієї з основних задач є виявлення регіональних фонових змістів хімічних елементів, так названого регіонального тла. Саме порівняння вмістів поллютантів у фонових і антропогенно порушених місцеперебуваннях дозволяє дати якісну і кількісну оцінку характеру забруднення.

Ґрунт складає єдину систему з її популяціями різних організмів, що населяють. У залежності від сполучення природних і антропогенних факторів ґрунти відрізняються складом біоти і спрямованістю біохімічних процесів. Різні показники мають тісний кореляційний зв'язок між собою і можуть використовуватися як біоіндикатори екологічного стану ґрунту. Це, насамперед, показники біологічної активності ґрунту, у числі яких можуть бути використані характеристики чисельності і біомаси мікроорганізмів, їхня продуктивність, інтенсивність нагромадження продуктів метаболізму, газообміну й активність ферментів.

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

Хімічний склад рослин, що одержують елементи мінерального харчування з ґрунтових розчинів, є важливим показником процесів, що відбуваються в екосистемі. Він залежить, насамперед, від вмісту

хімічних елементів у навколишнім середовищі, ступені їхньої доступності рослинам, а також від виборчого їхнього поглинання в залежності від систематичної приналежності видів. Тому одним з важливих аспектів оцінки стану природного середовища стало вивчення стану ґрунтового покриву і визначення вмісту в ґрунтах забруднюючих речовин, у тому числі ВМ, радіонуклідів, НУ і т.д. Геохімічна оцінка стану навколишнього середовища складає невід'ємну частину екологічних досліджень, на базі якої здійснюється верифікація реакцій біоти на стресові впливи і будується система методів біоіндикації.

2 Зміна кислотності ґрунтів, рослини-індикатори кислотності і багатства ґрунтів

Однією з важливих характеристик ґрунтів є їхня кислотність. Вона визначається змістом іонів H^+ і Al^{3+} у ґрунтових розчинах. Кислотність ґрунтів виражають через величину pH - негативний логарифм концентрації іонів H^+ у ґрунтовому розчині. Показник pH може змінюватися від 0 до 14, у природі діапазон його варіювання - від 2,5 до 12,5. У природних умовах найбільш кислими субстратами є оліготрофні сфагнові торфовища і сильнооподзолені ґрунти. Сильнокислою реакцією володіють також латеритні кори вивітрювання - жовтоземи і червоноземи. Лужна реакція ґрунтових розчинів характерна для солодій, що містять у ґрунтово-поглинаючому комплексі Na . Нейтральна і близька до неї реакція середовища, найбільш оптимальна для розвитку більшості живих організмів, відзначається в чорноземах і дерено-карбонатних ґрунтах. Зміна величини pH ґрунтових розчинів відбувається при різних антропогенних впливах: сільськогосподарському використанні земель, заболочуванні територій, випаданні кислотних дощів, аеротехногенних випаданнях і т.п.

У процесі розвитку живі організми пристосувалися до мешкання у визначених кисло-лужних умовах. Для визначення кислотності ґрунтів і зміни її під впливом природних і антропогенних факторів зручніше за все використовувати індикаторні види рослин і особливості складу фітоценозів. В екології рослин існує наступна класифікація видів стосовно pH

навколишнього середовища: ацидофіли - рослини, що виростають на кислих ґрунтах; базифіли - рослини, що виростають на лужних ґрунтах; нейтрофіли - рослини ґрунтів з нейтральною реакцією.

Приуроченість рослин до ґрунтів з визначеним значенням *pH* дає можливість використовувати рослинність як індикатор кислотно-лужних умов ґрунтових розчинів (табл. 9.1).

Таблиця 9.1

Рослини-індикатори кислотності ґрунту

| Ступіні багатства ґрунтів | <i>pH</i> | Характеристика і поширення ґрунтів | Рослини-індикатори |
|---------------------------|-----------|--|---|
| 1-3 | 4,0-4,5 | Особливо бідні ґрунти (сильно вилужені піщані і супіщані); оліготрофний торф верхівкових боліт | Подбел <i>Andromeda poly folia</i> , вереск звичайний <i>Calluna vulgaris</i> , осока <i>Carex pauciflora</i> , мирт болотний <i>Chamaedaphne calyculata</i> , <i>Cetraria uslandica</i> , вероніка <i>Empetrum nigrum</i> |
| 4-6 | 5,0-5,5 | Бідні ґрунти (вилужені піщані і супіщані); бідні суходільні луки лісової зони, соснові бори; торф верхівкових і перехідних боліт | Мітлиця <i>Agrostis canina</i> , манжетка <i>Alchemilla vulgaris</i> , осока <i>Carex lasiocarpa</i> , овсяника овеча <i>Festuca ovina</i> , ястребинка <i>Hieracium pilosella</i> , линнея <i>Linnaea borealis</i> , молиния блакитна <i>Molinia coerulea</i> , белоус <i>Nardus stricta</i> , папороть-орляк <i>Pteridium aquilinum</i> , сивець <i>Succisa pratensis</i> |
| 7-9 | 5,5-6,5 | Небагаті ґрунти (підзолисті, торф'яні). Суходільні луки лісової зони, ялинові і змішані ліси, бідні низинні луки, болота | Трясунка середня <i>Briza media</i> , осока <i>Carex aquatilis</i> , хвощ <i>Equisetum palustre</i> , земляника лісова <i>Fragaria vesca</i> , нивяник <i>Leucanthemum vulgare</i> , мар'яник дібровний <i>Melampyrum nemorosum</i> , кислиця <i>Oxalis acetosella</i> , горець <i>Polygonum bistorta</i> |

| Ступіні багатства ґрунтів | pH | Характеристика і поширення ґрунтів | Рослини-індикатори |
|---------------------------|---------|--|--|
| 10-13 | 6,0-7,5 | Досить багаті ґрунти (лучні, суглинки, ви-лужені чорноземи). Заплавні, низові луки і болота, степи, діброви | Деревій <i>Achillea millefolium</i> , вільха чорна <i>Alnus glutinosa</i> , осока <i>Carex viscaria</i> , волошка лугова <i>Centaurea jacea</i> , їжака <i>Dactylis glomerata</i> , хміль <i>Humulus lupulus</i> , чина лугова <i>Lathyrus pratensis</i> |
| 14-16 | 7,0-7,5 | Багаті ґрунти (чорноземи, каштанові). Степи, пустелі, полупустелі | Лисохвіст <i>Alopecurus ventricosus</i> , осока <i>Carex hirta</i> , цикорій <i>Cichorium inthybus</i> , келерія <i>Koeleria gracilis</i> , лядвенець <i>Lotus corniculatus</i> , люцерна <i>Medicago lupulina</i> , перстач гусяча <i>Poten-</i> |

Індикаторна значимість видів дана при їх масовому або рясному виростанні.

Біоіндикація процесів закислення, нейтралізації або підлужування ґрунтових розчинів проводиться з використанням фітоіндикаторів кислотності ґрунтів, а також зміни видового складу біоценозу і його динаміки в часі.

3 Механічний склад ґрунтів. Літоіндикатори

У природних екосистемах антропогенна зміна фізичних параметрів необроблюваних ґрунтів, як правило, відносно невелико.

Індикаторна значимість видів дана при їх масовому або рясному виростанні.

Біоіндикація процесів закислення, нейтралізації або підлужування ґрунтових розчинів проводиться з використанням фітоіндикаторів кислотності ґрунтів, а також зміни видового складу біоценозу і його динаміки в часі.

Однак під впливом агровиробництва і рекреаційних навантажень воно може мати широкі масштаби. Як правило, всі

антропогенно змінені ґрунти сильно піддані фізичним навантаженням. Зміни ґрунтових параметрів стосуються додавання і структури ґрунту, наприклад її порозности і щільності обріїв, що може привести до зменшення аерирування і дренажу. Фізичні навантаження на ґрунтові системи виявляються, насамперед, у зміні їх агрегатності. Це приводить до зміни співвідношення основних структурних елементів ґрунту. Як відомо, механічний склад ґрунтів визначається співвідношенням фізичного піску (частки > 0,01 мм) і фізичної глини (частки < 0,01 мм). Механічний склад ґрунтів багато в чому визначають теплові, повітряні, водний режими, особливості мінерального харчування рослин. Піщані ґрунти є, у порівнянні із суглинними і глинистими, більш холодними, менш водозабезпеченими, відрізняються бідним мінеральним складом. У природі існує природна диференціація видів, пристосованих до мешкання на різних по механічному складі субстратах. Біоіндикацію механічного складу ґрунтів і літологічних особливостей гірських порід найпростіше проводити по рослинах.

Виділяють наступні групи рослин, присвячених до різних по механічному складі ґрунтів.

Псамофіти - рослини, що виростають на піщаних субстратах. До них відносяться осока роздута *Carex physodes*, аристида *Aristida pennata*, волоснец піщаний *Leymus arenarius* і ін.

Петрофіти (літофіти) - рослини, що виростають на кам'янистих субстратах. Представниками цієї групи є волошка Маршалла *Centaurea marschalliana*, іван-чай широколистий *Chamaenerion latifolium* і ін.

У природі існує природна динаміка лугових співтовариств у часі, обумовлений ущільненням ґрунтів у міру становлення фітоценозів. Згідно Р. Вільямсу, виділяються три стадії заростання пустища. На першому етапі формування лугу поклад заселяється довгокорневищними рослинами, що вимагають добре аерированих субстратів, - пирієм повзучим *Elytrigia repens*, багаттям безостим *Bromopsis inermis* і ін. Розростаючись, вони сприяють ущільненню ґрунтів і зниженню вмісту в них повітря, погіршуючи, таким чином, умови життєдіяльності. Роль довгокорневищних видів у співтоваристві поступово знижується, і вони поступаються місцем рихлодернинним рослинам, менш вимогливим до аерированості

ґрунтів. Настає друга стадія формування луґу - стадія рихлодерновинних рослин тимофіївки луґовий *Phleum pratense*, їжаки збірної *Dactylis glomerata*, конюшини луґової *Trifolium pratense* і ін. Однак згодом формування суцільної дернини приводить до гноблення росту цих видів у зв'язку з подальшим ущільненням ґрунтів і зниженням забезпеченості корневих систем киснем. Поступово рихлодерновинні види змінюються щільнодерновинними; настає третя стадія формування луґового фітоценозу - стадія щільнодерновинних видів, що супроводжується на зволжених субстратах вторинним заболочуванням території. Основними ценозоутворювачами у вологих місцеперебуваннях є щучка дерниста *Deschampsia caespitosa*, а в сухих - овсяниця овеча *Festuca ovina* і белоус, що стирчить *Nardus stricta*.

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

У ґрунтових ценозах відбувається зниження активності і достатку організмів (мікроартропод і мікробів), що розкладають органічні речовини. Існує видоспецифічність рослин стосовно ущільнення ґрунту (витоπτуванню). Це добре демонструє зміна запасів фітомаси трьох видів подорожників *Plantago major*, *P. lanceolata* і *P. media*, що виростають на ґрунтах з різним ступенем ущільнення. Таким чином, ці популяційно-екологічні параметри видів можуть бути використані для біоіндикації інтенсивності ущільнення ґрунтів.

Досліджувався вплив антропогенного ущільнення ґрунту на мікроартропод. Установлено збідніння фауни енхітреїд у результаті ущільнення верхнього обр'їю ґрунту (0-10 см), обумовленого витоπτуванням.

У природі існує тісний зв'язок зустрічальності і життєвості деяких видів рослин-індикаторів від літолого-геохімічних умов середовища. Питання літоіндикації детально вивчалися багатьма

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

У районах природного збагачення ВМ виникають такі локальні флори, як мідна, кобальтова, галмейна (при надлишку цинку). На ультраосновних гірських породах різного ступеня серпентинизації, збагачених *Mg*, з різко зниженим співвідношенням *Ca/Mg* і збагаченням *Ni*, *S* і *S₂*, формується специфічна серпентинітова флора. На мідних, кобальтових, нікелевих родовищах, особливо в аридній зоні, формується металофітна флора, що складається зі специфічних видів, наприклад *Silene cobalticola*, *Thlaspi calaminare*, що акумулюють метали металофільних підвидів і різновидів, а також видів місцевої флори. Види металофітних флор адаптовані до екстремальних умов мінерального харчування і мають високу стійкість до ВМ. Питання про адаптацію рослин до ВМ нерозривно зв'язане з питанням стійкості до них.

4 Показники й індикатори ґрунтової родючості

Важливим показником екологічного стану ПТК є зміна природної родючості ґрунтів. По визначенню Н. Ф. Реймерса (1990), ґрунтова родючість - здатність ґрунту задовольняти потреби рослин у живильних речовинах, повітрі, біотичному і фізико-хімічному середовищі, включаючи тепловий режим, і на цій основі забезпечувати врожай сільськогосподарських культур, а також біологічну продуктивність диких форм рослинності. Ґрунтова родючість являє собою інтегральний показник, що визначається:

- багатством ґрунтів органічною речовиною (гумусом, гуматами),
- кислотно-лужними умовами,
- механічним складом,
- водним режимом,

- ступенем аерованості,
- запасами і доступними формами макро- і мікроелементів.

Особливе значення має необхідність обліку факторів біотичного ґрунтового середовища - мікорізоутворювачів, нітрифікаторів, денітрифікаторів і ін.

Біоіндикація ґрунтової родючості може здійснюватися по приватних ознаках (прямих або непрямих) і окремих типам ґрунтів (маркірування границь зон і підзон). В оцінці якості ґрунтів широко використовуються рослини і мікробіологічна активність. Показовим є не тільки участь виду в співтоваристві, але і його достаток, чисельність або проективне покриття. Існують наступні групи рослин, що присвячені до різних по родючості ґрунтам (оліготрофи, мезотрофи, мегатрофи); групи ґрунтів: край бідні - *A*, відносно бідні - *B*, відносно багаті - *C*, багаті - *D*.

Оліготрофи: осока *Carex pauciflora*, багно болотний *Ledum palustre*, вереск звичайний *Calluna vulgaris* - група *A* (масовий розвиток), *B* (одиничні); біловус *Nardus stricta*, лохина *Vaccinium uliginosum*, мирт болотний *Chamaedaphne calyculata* - група *A* (з домішкою оліготрофних), *B* (масовий розвиток), *C* (домішкою мезотрофних).

Мезотрофи: кровохльобка *Sanquisorba officinalis*, цмін *Carum carvi*, косяниця *Rubus saxatilis*, вероніка дібровна *Veronica chamaedris*, конвалія травнева *Convallaria majalis*, майник дволисний *Majanthemum bifolium*, вейник *Calamagrostis lanceolata* - група *B* (масовий розвиток), *C* (одиничні).

Мезотрофи: бор крилатий *Millium effusum*, їжака збірна *Dactylis glomerata* купыр лісовий *Anthriscus sylvestris*, борщівник сибірський *Heraclum sibiricum*, двукисточник *Diglyphis arundinaceae* - група *C* (масовий розвиток), *D* (одиничні).

Мегатрофи: проломник *Mercurialis perennis*, осока лисяча *Carex vulpina*, пов *Calystegia sepium*, хміль *Humulus lupulus* — група *D* (масовий розвиток).

Поряд із судинними рослинами мохи і лишайники також є надійними індикаторами ґрунтової родючості.

- На край бідних ґрунтах (*A*) виростають лишайники *Cladonia rangifer*, *C. alpestris*, *C. sylvatica*, *Peletia aptosa* і мохи *Polytrichum juniperinum*, *P. piliferum*, *Sphagnum compactum*, *S. Dusenii*.

- Відносно бідні ґрунти (B) індицуються в умовах середнього зволоження субстрату розвитком зелених мохів *Pleurozium schreberii*, *Dicranum undula*. При збільшенні вологості субстрату вони змінюються політриховими мохами *Poltrichum commune* і *P. strictum*.

- На відносно багатих субстратах (C) при достатнім зволоженні домінують зелені мохи *Hylocomium proliferum*, *Rhythidiadelphus triquetrus*, *umcristacastrensis*. Індикатором цих ґрунтів при заболочуванні є сфагнум *Sphagnum russowii*.

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

Л. Г. Раменским (1956) виділені 16 ступіней ґрунтового багатства по присутності і достаткові індикаторних видів.

Зміна родючості ґрунтів і їхнє виснаження в результаті агропроизводства являється одним з найбільше що часто зустрічаються видів антропогенного впливу. Ґрунтова родючість формується під впливом агротехніки, внесення добрив, комплексу прийомів меліорації і т.п. Біоіндикаторними ознаками зменшення ґрунтової родючості може служити зниження мікробіологічної активності ґрунтів, запасів біомаси і біопродуктивності біоценозів. Як показники можуть бути використані вигляди-індикатори трофности і порівняльний аналіз зміни їхнього складу в часі.

5 Індикація засоленості ґрунтів – постійні, перемінні, негативні індикатори

Майже четверта частина ґрунтів земної кулі засолена в тій або іншій ступені. Незасоленими вважаються ґрунти, що містять < 0,25% солей, засоленими - утримуючі > 0,25% солей; слабосолончакуваті містять більш 0,25% солей у нижніх обр'ях (80-150 см), солончакуваті - на глибині 30-80 см, солончакові – на глибині 5-30 см. По складу солей розрізняють сульфатно-содове, хлоридно-сульфатне, сульфатно-хлоридне, хлоридне засолення.

Засолені ґрунти характеризуються особливими фізико-хімічними властивостями і є токсичними для більшості живих організмів. У процесі розвитку виділилися групи організмів, здатні переносити надлишковий зміст легкокорозчинних солей у субстраті, що підстилає. На засолених землях формуються характерні

екосистеми з розвитком солестійких видів. У біоіндикації широко розвинутий розділ галоіндикації, що вивчає можливості оцінки інтенсивності, якісного сольового складу, характеру й інших особливостей засоленних ґрунтів.

Пріоритетними видами-галоіндикаторами є рослини. П. А. Генкель (1954) виділив наступні екологічні групи рослин стосовно засолення.

Галофіти (галофіли) - рослини засоленних місцеперебувань, що легко пристосовуються в процесі свого індивідуального розвитку до високого змісту солей у ґрунті завдяки наявності ряду анатомо-морфологічних особливостей. Серед них виділяються еугалофіти і кріногалофіти. Еугалофіти - типові солянки, рослини, що накопичують сіль. До них відносяться види родів *Salicornia*, *Suaeda*, *Petrossimonia*, *Salsola*. Вони можуть містити до 10% і більш солей, що викликає збільшення осмотичного тиску клітинного соку.

Кріногалофіти – рослини, що виділяють сіль: види родів *Tamarix*, *Prankenia*, *Limonium*. Серед них виділяють рослини кумуляційного типу - можливе нагромадження солей при порушенні солевиділення, і регуляторного типу - збільшення концентрації солей у тканинах істотно не зростає навіть при відсутності їхнього виділення (зв'язування солей відбувається органічними речовинами протопласта).

Глікогалофіти (*глікофіти*) - рослини, що не проникають солями і виростають на засоленних ґрунтах, але не нагромаджують легкорозчинні солі у тканинах. До них відносяться види родів *Artemisia*, *Elaeagnus*.

Галофоби (глікофоби) - види рослин, що уникають засоленних ґрунтів.

Група галофітів неоднорідна по стійкості до складу і концентрації легкорозчинних солей у ґрунтах. По ступені солестійкості виділяються: олігогалофіти, що ростуть при малих вмістах солей у ґрунті; мезогалофіти задовольняються середнім змістом солей; еугалофети - дійсні галофіти.

Крім того, виділяють факультативні й облігатні галофіти, евригалінні і стеногалінні види, здатні виростати в умовах широкої або вузької амплітуди концентрації солей і переносити різне по складу засолення або присвячені до конкретного виду засолення.

Більшість галофітів належить до дуже обмеженого переліку сімейств. Усі вони практично відносяться до маревих *Chenopodiaceae*, свинчаткових *Plumbaginaceae*, франкенієвих *Frankeniaceae*, тамариксових *Tamaricaceae*. Анатоомо-морфологічні і фізіологічні пристосування, вироблені для зниження токсичного впливу легкорозчинних солей, привели до утворення особливого вигляду цих рослин. Він одержав назву «галоморфна будова». Воно включає:

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

У біоіндикаційних дослідженнях використовуються різні види еугалофітів, кріногалофітів і глікогалофітів. По ступені зв'язку індикатора з об'єктом індикації виділяють: постійні, перемінні і негативні індикатори.

Постійні індикатори - облігатні галофіти.

Свгалофіти (еугалофіти) - солепроникні рослини: *Salicornia europaea*, види роду *Climacoptera*, *Suaeda*, *Petrosimonia*.

Галофіти, що виділяють сіль - кріногалофіти: кермек Гмеліна *Limonium gmelinii*, кермек чагарниковий *L. suffruticosum*.

Нижче в табл. 9.2 приведена біоіндикаційна схема постійних індикаторів рівня залягання і мінералізації ґрунтових вод.

Перемінні індикатори - види, переважно, що виростають на засолених ґрунтах. Вони можуть зустрічатися на ґрунтах з досить широким діапазоном засолення як на сильно-, так і на слабомінералізованих субстратах. До них відносяться саксаул чорний *Haloxylon aphyllum*, деревоподібні солянки *Salsola arbuscula*, *S. richteri* і ін.

Негативні індикатори - види, що зустрічаються тільки на незасолених ґрунтах. До них відносяться типові глікофіти (глікогалофіти) *Carex physodes* і ін.

У природних умовах існує приуроченість видів до ґрунтів з визначеним якісним складом засолення.

Таблиця 9.2

Постійні індикатори ґрунтових вод

| Рослини-індикатори | Глибина, м | Максимальна величина засолення, % |
|---|------------|-----------------------------------|
| Солерос <i>Salicornia europaea</i> | 2,4-4,8 | 35 |
| Сарсазан <i>Halocnemum strobilaceum</i> | 1,2-6,1 | 45 |
| Прибережниця <i>Aeluropus litoralis</i> | 0,9-5,3 | 35 |
| Ніттарія <i>Nitraria schoberi</i> | 0,8-3,7 | 31 |
| Соляноколосник каспійський <i>Halostachys caspica</i> | 0,3-3,7 | 35 |
| Поташник <i>Kalidium caspica</i> | 1,9-4,1 | 7 |
| Кермек <i>Limonium suffroticosum</i> | 0,8-1,9 | 3,2 |
| Тамарикс <i>Tamarix hispida</i> | 0,6-3,2 | 23 |

Хлоридне засолення - співвідношення іонів $Cl^{-1} : SO_4^{-2} = 2$. Постійні індикатори - солерос *Salicornia europaea* і сарсазан *Halocnemum strobilaceum*.

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

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

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

Антропогенне забруднення легкорозчинними солями досить широко поширено. Воно виникає в областях з аридним і семиаридним кліматом при надлишковому зрошенні земель, коли капілярна облямівка в ґрунтах стуляється з засоленими ґрунтовими водами, розташованими на значній глибині. У цьому випадку відбувається підтягування іонів легкорозчинних з'єднань до поверхні землі і спостерігається вторинне засолення ґрунтів. Крім того, проблема впливу засолення добре відома у великих містах, де в зимовий період вулиці посипають сіллю. Джерелами надходження

легкорозчинних солей у навколишнє середовище є також підприємство з виробництва мінеральних (калійних) добрив і т.д.

Біоіндикація антропогенного забруднення і зміни сольового режиму ґрунтів здійснюється по зміні хімічного складу живих організмів і видовому складові співтовариств. При вторинному засоленні ґрунтів основними індикаторами негативних змін у екосистемах виступають галофіти, зміна достатку і видова розмаїтість яких указує на інтенсивність і якісний склад засолення.

Нагромадження легкорозчинних солей у зелених насадженнях є гарним показником стресових впливів в урбоекосистемах. Високі концентрації токсикантів в організмі приводять до появи хлорозу і некрозу листів рослин. Широко використовуються шкали хлорозів і некрозів для оцінки інтенсивності впливу хоча завжди варто враховувати, що передчасне пожовтіння або відмирання листя рослин не є специфічною ознакою на вплив визначеного забруднюючої речовини. Реакція організму обумовлена в даному випадку впливом усього комплексу негативних факторів урбоекосистеми: забрудненням повітря вихлопними газами, ВМ, легкорозчинними солями, ущільненням ґрунту й інших факторів, що приводять до зміни повітряного, водного і мінерального харчування живих організмів.

6 Біоіндикація типів ґрунтів

Один з важливих розділів біоіндикації - виявлення показників, що характеризують тип і підтип ґрунтів. Установлено, що тип ґрунтів характеризується рангом рослинності на рівні формації (співтовариства одновидових едифікаторів) (табл. 9.3).

Ступінь оподзолювання, оглеювання і торфонакопичення дозволяють установити доміанти трав'яно-кустарничкового і мохово-лишайникового ярусів.

Підтип, рід, вид, різновид ґрунтів індицируються більш дрібними таксономічними одиницями - класом або групою асоціацій, а також власне індикаторними асоціаціями. У лісовій зоні встановлений наступний взаємозв'язок ґрунтових різностей і рослинності: групи і класи асоціацій ялинників указують на поширення підзолистих і торф'яно-болотних ґрунтів.

Взаємозв'язок ґрунтів і рослинності

| Ґрунти | Рослинність |
|---|--|
| Темноколірні середньосуглинисті, дерено-підзолисті | Ялинник складний <i>Piceetum tihosum</i> |
| Темноколірні середньосуглинисті, сильно-опідзолисті | Ялинник зеленомошний з горобиною <i>Piceetum hylocormosum</i> var. <i>sorbosum</i> |
| Типові середньопідзолисті | Ялинник папоротевий <i>Piceetum fihcosum</i> |
| Торф'янисто- підзолисті оглеєні | Ялинник хвощево-долгомошний <i>Piceetum polytnchosum</i> var. <i>equisetosum</i> |
| Торф'яно- болотні | Ялинник чагарниково-сфагно-вий <i>Piceetum sphagnosum</i> var. <i>encosum</i> |

Важливим аспектом практичної діяльності є діагностика фізико-хімічних властивостей чорноземів, що представляють основний агропотенціал країни. Зміна домінантов і едифікаторів фітоценозу, достаток і проективне покриття індикаторних видів дозволяють визначити потужність, механічний склад, родючість ґрунтів, що формуються під тим або іншим степовим співтовариством.

Перелік літератури для самостійної роботи

Основна література

1. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. Изд-во С.-Петербургского университета, 2004. с. 266
2. Семенченко В.П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. – Минск: «Орех», 2004. – 125 с.

Допоміжна література

1. Биоиндикация и биомониторинг /Отв. Ред. Д.А. Криволицкий.М.,1991. с.214
2. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта.М., 1988.с.165
3. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М., 1988. с.305
4. Криволицкий Д.А. Биоиндикация радиационных загрязнений.М.,1999. с.128
5. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методом фитоиндикации. М., 1998. с.97
6. Гідроекологічна токсикометрія та біоіндикація забруднень: Теорія, методи, практика використання / за ред. И.Т.Олексієва, Л.П.Брагинського. - Львів: Світ, 1995. - С.7-39.
7. Брагинский Л.П. Методологические аспекты токсикологического биотестирования на *Daphnia magna* Str. и других ветвистоусых ракообразных (критический обзор) // Гидробиол. журн. - 2000. - Т. 36, N 5. - С. 50-70.
8. Дятлов С.Е. Роль и место биотестирования в комплексном мониторинге морской среды // Экология моря. - 2000, вып.51. - С. 83-87.
9. Крайнюкова А.Н. Биотестирование в охране вод от загрязнения // Методы биотестирования вод. - Черноголовка, 1988. - С. 4-14.
10. Методическое руководство по биотестированию воды РД 118-02-90 Утвержден Госкомприроды СССР от 06.08.1990. с. 37.