

Лекція 6

Біомоніторинг і біоіндикація стану повітряного середовища

План

- Основи біоіндикації забруднення та стану атмосфери.
- Забруднюючі речовини і їх суміші, які впливають на рослинний покрив.
- Біомоніторинг забруднення атмосфери за допомогою рослин.
- Рослини-індикатори і рослини-монітори.
- Відбір і підготовка біологічних матеріалів для біомоніторингу.
- Дослідження середовища методами біоіндикації та біотестування.
- Оцінка санітарного стану повітря за допомогою лишайників.

Основи біоіндикації забруднення та стану атмосфери

Оскільки рослини в цілому володіють відносно високою чутливістю до дії деяких забруднюючих речовин, їх можна використовувати в якості індикаторів для виявлення забруднення і визначення його рівня, а також при здійсненні моніторингу стану забруднення атмосфери. Якщо рослини здатні накопичувати забруднюючі речовини без зміни їх хімічного складу за рахунок метаболічних процесів і якщо акумульовані речовини можуть бути легко ідентифіковані в зразках рослини, то такі види рослин можна використовувати як накопичувачі забруднення. Якщо акумуляція речовин рослинами може розглядатися як прояв впливу забруднення, то використання рослин є надзвичайно зручним для визначення рівня та складу забруднення та моніторингу ефектів впливу забруднюючих речовин.

Для такого моніторингу надзвичайно важливо дотримуватися наступних умов:

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

В теперішній час відомо декілька видів (типів) ефектів впливу забруднення повітря на рослини, котрі можна умовно розділити на ефекти гострої дії високих концентрацій за короткий проміжок часу і хронічної дії низьких концентрацій цих речовин за тривалий період. Прикладами ефектів гострого впливу є чітко помітний хлороз або некроз тканин листя, опадання листя, плодів, пелюсток квіток, скручування листків, викривлення їх стебел.

До ефектів хронічної дії відноситься сповільнення або зупинка нормального росту і розвитку рослин (що обумовлюють, зокрема, зменшення об'єму біомаси, зниження врожаю сільськогосподарських культур); хлороз і некроз верхівок листя; повільне в'янення рослини або її органів. Іноді прояви хронічної або гострої дії можуть бути специфічними для окремих забруднюючих речовин або їх поєднання.

Доволі багато різних видів рослин можна використовувати в якості індикаторів або накопичувачів забруднення повітря через їх здатність до прояву ефектів впливу. Наприклад, для цих цілей можуть бути використані епіфітні види лишайників, мохи, папороті, вищі форми рослин, що мають судинну систему. Для біологічного моніторингу ефектів забруднення повітря придатні як дикорослі, так і культурні види рослин. Проте різниця в складі ґрунтів, ґрунтових вод та інші фактори (включаючи кліматичні) можуть вплинути на ефекти впливу забруднення повітря, що спостерігаються в різних районах. Через це доцільно вибирати такі індикаторні або акумулюючі види рослин, умови зростання яких найбільш близькі (до них відносяться стан

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

Рослинний покрив як важлива складова біосфери відображає її загальний стан і перебіг майже усіх процесів, що відбуваються на планеті. Життя на Землі було б неможливе без безперервного процесу фотосинтезу, що відбувається в зелених частинах рослин, які 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 його родючість, а також на життя усіх тварин і живих організмів, одночасно реагуючи на всі зовнішні фактори.

Рослини чутливо реагують на зовнішні умови. За достатньо високих концентрацій забруднювачів у багатьох з них ушкоджується листя, а зі зростанням кількості забруднюючого фактора протягом короткого проміжку часу можливе значне ураження рослини. Внаслідок некрозу (загибелі тканини) її колір змінюється від металево-сірого до коричневого, а в процесі старіння вона може втратити колір або вигоріти. Хронічне ушкодження рослин виникає і внаслідок дії невеликих концентрацій певних речовин протягом тривалого часу. До ознак хронічного ушкодження належать бронзове зафарбування листя, хлороз (знебарвлення), їхнє передчасне старіння. Відомо, що живі організми і рослини здатні поглинати певні забруднюючі речовини в особливо великих кількостях, тобто в них процеси накопичення або концентрування відбуваються інтенсивніше, ніж у навколишньому середовищі.

Забруднюючі речовини і їх суміші, які впливають на рослинний покрив

Рослини чутливо реагують на зовнішні умови. За достатньо високих концентрацій забруднювачів у багатьох з них ушкоджується листя, а зі зростанням кількості забруднюючого фактору протягом короткого проміжку часу можливе значне ураження рослини.

Основні забруднюючі речовини, на які реагують рослини. До них належать озон (O_3), оксиди азоту, діоксид сірки, фториди.

Озон (O_3) - газоподібна забруднююча речовина, яка утворюється внаслідок складної реакції між окислами азоту за участю сонячного світла. Озон потрапляє в рослину через листя внаслідок звичайного газообміну між рослиною і навколишнім середовищем. Найбільш чутливе до дії озону листя, яке формується, але найпомітніше він уражає старі листки рослини. Загальною ознакою ураження рослин озоном є плямистість, яка вказує на його гостру дію. Ознаки ушкоджень рослин озоном різні й залежать від виду та сорту рослини, концентрації озону, часу експозиції (дії світла), а також від багатьох інших факторів. Специфічна ознака гострої дії озону на рослину - поява цяточок, які з часом зливаються й утворюють плями на поверхні листка. Цяточки можуть бути білими, чорними, червоними або червонувато-пурпуровими. За низьких концентрацій O_3 листя набуває червоно-бурого або бронзового кольору що, як правило, призводить до хлорозу, старіння та опадання листя. Хлороз може бути єдиною ознакою хронічного впливу озону протягом тривалого часу.

Оксиди азоту (NO_x) – газоподібні забруднюючі токсичні сполуки NO , NO_2 , N_2O . У забрудненому повітрі вміст оксидів азоту зумовлює утворення озону. Однак у багатьох випадках концентрація оксидів азоту надто мала, щоб помітно ушкодити рослину. Низькі концентрації NO_2 стимулюють ріст рослин, листя набуває темного кольору. Проте у деяких випадках виникає неспецифічний хлороз із наступним ушкодженням та опаданням листя. Англійські вчені виявили, що оксиди азоту є основною речовиною, яка забруднює повітря в

теплицях, які обігрівають вуглеводневим паливом. Гостра дія NO_2 може бути схожа з гострою дією на рослини SO_2 .

Діоксид сірки (SO_2) – забруднююча речовина, яку викидають у повітря теплові електростанції (особливо ті, що працюють на вугіллі) і деякі промислові підприємства. Її концентрація в повітрі висока поблизу джерел викидів і поступово знижується із збільшенням відстані від нього. За природних умов можливе поєднання гострої та хронічної дії SO_2 . SO_2 потрапляючи на листя, окислюється до високотоксичної сполуки SO_3 , а потім повільно перетворюється на сульфат SO_4 , менш токсичний. При низьких концентраціях SO_2 у повітрі практично повністю окислюється до сульфату, і рослини не страждають. За високої концентрації SO_3 відбувається гостре ушкодження листя широколистяних рослин, між жилками (з'являється бурий або білий колір) або на краях деяких листків спостерігається ефект «ялинки». Ознакою хронічної дії SO_2 є хлороз, або знебарвлення листя із зміною їх кольору до червоно-бурого; у хвойних рослин -- почервоніння голок зверху вниз. Рослини страждають за наявності концентрації SO_2 в повітрі 0,05-0,50 % при дії протягом 8 годин.

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

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

Аміак (NH_3) надходить в атмосферу в результаті аварій на виробництві. Він особливо вражає рослини поблизу місця аварії. Як і у разі дії NO_x рослини ушкоджуються тільки за високої концентрації амоніаку. Найчутливішим до дії NH_3 є листя середнього віку, яке може змінити колір із тьмяно-зеленого до бурого або чорного. Дія низьких концентрацій NH_3 зумовлює появу на нижній стороні листка глянцеватості або сріблястості.

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

Хлор (Cl) застосовують як окиснювач. У зоні розливу хлору, внаслідок аварій при транспортуванні, рослини особливо ушкоджуються. На краях листка з'являються плями від темно-зеленого до чорного кольору, які потім знебарвлюються до білого або стають бурими. Ознаки ушкодження листя між жилками подібні до ознак спричинених дією SO_2 . Можлива також поява цяточок, що нагадує результат впливу озону. У хвойних, як і при дії озону, може виникати некроз кінчиків голок і плямистість. Чутливі до дії хлору гірчиця і соняшник.

Етилен (C_2H_4) – природний рослинний гормон, який утворюється при ушкодженні рослин різними забруднювачами повітря. Він позначається на процесах цвітіння, дозрівання плодів, старіння та опадання. Етилен також присутній у вихлопних газах автотранспорту і є забруднюючою речовиною. До ознак ушкоджень рослин етиленом належать погіршення їх

росту, передчасне старіння та опадання листя, погіршення цвітіння, передчасне розкриття бруньок, повільне розпускання листків, їх скручування.

Пропилен (C_3H_6) – ненасичений ациклічний вуглеводень, безбарвний газ. Вплив пропилену на рослину подібний до дії етилену, але його спричиняють вищі концентрації. Пропилен пригнічує цвітіння у хризантем, уповільнює вертикальний ріст, але стимулює появу листя. Рослини, уражені пропиленом, мають менше за розміром, але товстіше листя.

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

Тверді частинки (пил) та важкі метали. Вони проникають крізь листя або пошкоджені клітини епідермісу. Дрібні частинки можуть осідати на листках, знижуючи світлопоглинання і відповідно фотосинтез, негативно впливати на запилення квітки, розміри і стан листя.

Важкі метали з атмосфери, осідаючи на рослину або земну поверхню, мають тенденцію накопичуватися, особливо у верхніх шарах ґрунту, звідки можуть потрапити у рослину. Концентрація важких металів у ґрунті залежить від вмісту в ньому глини та органічної речовини.

Найпоширенішим металом, що може потрапляти у рослину і ґрунт, є **свинець**. Він накопичується в ґрунті, але чітких доказів відносно того, що він уражає рослину немає. Вміст його в рослинах незначний, приблизно 0,001-0,002% від ваги золи. **Цинк, кадмій, мідь**, у середині літа спричиняють міжжилковий хлороз із наступним почервонінням листя дерев, які ростуть поблизу джерела.

Ртуть – єдиний важкий метал, який перебуває в рідкому стані за нормальної температури. Вона вражає майже всі рослини. Особливо чутливою до ртуті є троянда, на листі якої з'являються бурі плями, воно жовкне, а потім опадає. Молоді бутони буріють і опадають.

Визначення вмісту важких металів в рослинах можливе за допомогою методу **атомно-адсорбційної спектрофотометрії**.

Сульфат натрію трапляється поблизу целюлозно-паперових комбінатів. Дія Na_2SO_4 зумовлює уповільнений ріст і некроз листя у квасолі, зменшення висоти кущів помідорів, які вирощують у теплицях.

У повітрі, яке оточує рослини за звичайних умов, міститься кілька потенційних фітотоксичних забруднювачів. **Суміші забруднюючих речовин** можуть спричинити ті самі ушкодження рослин, що й окремі забруднювачі, а суміш газів може змінювати порогову чутливість рослин. Суміш **озону і діоксиду сірки**, схожі з ознаками ураження O_3 або SO_2 залежно від їх концентрацій. Вплив суміші позначається на люцерні, капусті, цибулі, квасолі. **Діоксид сірки і діоксид азоту**, дія цих речовин в суміші з концентраціями нижча від порогових значень для кожного газу, проявляється в ушкодженні верхньої сторони листка редьки, помідорів, соєвих бобів.

Отже, забруднення довкілля хімічними сполуками призводить до часткової деградації рослинного покриву, знижуючи його біомасу та природоохоронні функції.

Біомоніторинг забруднення атмосфери за допомогою рослин і тварин

Компоненти	Біоіндикатори	Ознаки
------------	---------------	--------

забруднень		
Фторид водню (HF)	1. Гладіолус (<i>Gladiolus gandavensis</i> cv., Snow Princess, Flowersong), Тюльпан (<i>Tulipa gesneriana</i> cv. Blue Parrot, Preludium), Касатик (<i>Iris germanica</i>) 2. Петрушка курчава (<i>Petroselinum crispum</i> var <i>vulgare</i>) 3. Бджола медоносна (<i>Apis mellifera</i>)	1. Некрози верхівок і країв листків 2. Накопичення фтору в сухій речовині 3. Захворювання і загибель
Озон (O ₃)	1. Тютюн (<i>Nicotiana tabacum</i> cv. Bel W 3) Шпинат (<i>Spinacia oleracea</i> cv. Subito, Dynamo) 2. Соя (<i>Glycine max</i>)	1. Некротичні плями сріблястого кольору на верхньому боці листка 2. Некроз верхньої частини листа
Пероксіяцетилнітрат (ПАН)	1. Кропива пекуча (<i>Urtica urens</i>) 2. Мятлик однорічний (<i>Poa annua</i>)	1. Смугасті некрози на нижній стороні листа 2. Смугасті некрози листа
Діоксид сірки (SO ₂)	1. Люцерна (<i>Medicago sativa</i> cv. Du Purts) Гречка (<i>Fagopyrum esculentum</i>) Подорожник великий (<i>Plantago major</i>), Горох (<i>Pisum sativum</i>), Конюшина інкарнатна (<i>Trifolium incarnatum</i>) 2. Попелиця (<i>Aphis sambuci</i>) 3. Личинки синьої мухи червоноголової (<i>Calliphora erythrocephala</i>)	1. Некрози і хлорози між жилками листків 2. Порухення енергетичного балансу, зменшення АТФ, збільшення АМФ Зниження активності ферменту малатдегідрогенази 3. Збільшення смертності личинок
Діоксид азоту (NO ₂)	1. Шпинат (<i>Spinacia oleracea</i> cv. Subito, Dynamo) Махорка (<i>Nicotiana rustica</i>) Сельдерей (<i>Apium graveolens</i>) 2. Щури (<i>Rattus rattus</i>)	1. Некрози між жилками листків 2. Пероксидація ліпідів легеневої тканини
Хлор (Cl ₂)	1. Личинки синьої мухи червоноголової (<i>Calliphora erythrocephala</i>)	1. Підвищена смертність личинок 2. Збліднення листа

	2. Шпинат (<i>Spinacia oleracea</i>) Квасоля (<i>Phaseolus vulgaris</i>) 3. Салат (<i>Lactuca sativa</i>)	3. Деформація хлоропластів
Етилен (C ₂ H ₄)	1. Петунія (<i>Petunia nictaginiflora</i> cv. White Joy) 2. Салат (<i>Lactuca sativa</i>), Томат (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	1. Відмирання квіткових бруньок, дрібні квітки 2. Закручування країв листя, підвищення піроксидазної активності
Радіонукліди стронцій-90, цезій-137	Оленьчий мох (<i>Cladonia rangiferina</i>) Ісландський мох (<i>Cetraria islandica</i>)	Накопичення в сухій речовині
Фторид-іон, іони важких металів (Pb, Zn, Cd, Mn, Cu)	1. Райграс багатоквітковий (<i>Lolium multiflorum</i> cv. Optima) Полевиця повзуча и полевиця тонка (<i>Agrostis stolonifera</i> , <i>A. tenuis</i>) 2. Миша (<i>Mus musculus</i>) 3. Бджола медоносна (<i>Apis mellifera</i>) 4. Гірчиця біла (<i>Sinapis alba</i>) Листова капуста (<i>Brassica oleracea</i> var. acephala) Кінський каштан (<i>Aesculus hippocastanum</i>) Мохи (<i>Sphagnum</i> sp., <i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Pohlia nutans</i> , <i>Pleurozium schreberi</i>)	1. Накопичення в сухій речовині 2. Зміна в співвідношенні Т- і В-лімфоцитів, зменшення В-лімфоцитарної реакції 3. Накопичення в меді 4. Накопичення в сухій речовині
Суміш шкідливих речовин в повітрі (оксиди сірки, азоту ...)	1. Виводкові бруньки <i>Marchantia polymorpha</i> 2. Листові и кущові лишайники (<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria glauca</i>) 3. Піхта (<i>Abies alba</i>), Ялина (<i>Picea abies</i>), Сосна (<i>Pinus sylvestris</i>)	1. Зменшення приросту клітин 2. Зниження вмісту хлорофілів а і b, зменшення вмісту живих клітин водоростей 3. Зниження вмісту хлорофілів а і b, зменшення віку хвоїнок і затримка росту

Рослини-індикатори і рослини-монітори

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

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

Рослина-індикатор є хімічним сенсором, який може виявити в повітрі присутність забруднюючої речовини, але спостереження за нею не дають змоги отримати дані про її кількість.

Лишайники і мохи відомі як накопичувачі забруднюючих речовин, переважно важких металів, які ці рослини можуть акумулювати в кількостях, що значно перевищують їх концентрацію в навколишньому середовищі.

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

Зважаючи на важливість кількісної оцінки, особливо інформативними є організми, які у певний спосіб реагують саме на кількість забруднювача у довкіллі, тобто рослини-монітори.

Рослина-монітор – рослина, за ознаками ушкодження на якій можна отримати інформацію про кількість забруднюючих речовин або їх суміші у довкіллі.

Лишайники можна використовувати для контролю вмісту SO_2 в навколишньому середовищі. Здатність до акумуляції SO_2 залежить від виду цих рослин. Поєднання методів інструментального моніторингу із спостереженнями за лишайниками дасть змогу встановити залежність між їх ростом і концентрацією SO_2 в довкіллі. 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 та США.

Відбір і підготовка біологічних матеріалів для біомоніторингу

Отримання достовірних, повних і точних даних за допомогою біоіндикації можливе лише у разі точного дотримання низки вимог. Так, при виборі рослини для використання її в ролі біомонітора необхідно дотримуватися таких умов:

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

- відбір рослин, невибагливих до умов вирощування і догляду;

- відбір рослин, які мало піддаються впливу шкідників та хвороб.

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

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

Дослідження середовища методами біоіндикації та біотестування

Фіксація морфологічних відхилень рослин від норми під дією забруднюючих речовин лежить в основі біоіндикації.

Метод біоіндикації базується на адекватному відбитті живим організмом умов середовища, в яких він розвивається і на зміну яких він відповідним чином реагує. Біоіндикацію широко використовують у лісовій типології, фітоценології, а також для визначення забруднення атмосферного повітря за допомогою лишайників (*ліхеноіндикація*), мохів (*бріоіндикація*) та грибів (*мікоіндикація*). Для біоіндикації середовища застосовують і вищі рослини, а також тварин та мікроорганізми.

Біотестування – це оцінка (випробування) дії факторів (фізичні, хімічні, фізико-хімічні) або групи факторів на живі організми шляхом реєстрації змін того чи іншого біологічного

показника (фізіологічного, біохімічного, цитогенетичного та ін.) піддослідного тест-об'єкту (індикатору) порівняно до контролю в чітко заданих (тобто стандартних, лабораторних) умовах.

Таким чином, біотестування – це експериментальне визначення токсичності (шкідливості) середовища за допомогою біологічних об'єктів або процесів. В цьому відмінність метода біотестування від біоіндикації і біомоніторингу середовища, які здійснюються в натурних умовах (в природі). Фактично, біотест – не тест-реакція організму на певний вид забруднення.

Оцінка санітарного стану повітря за допомогою лишайників

Одним з специфічних методів моніторингу є біоіндикація, визначення ступеня забруднення геофізичних середовищ за допомогою живих організмів, біоіндикаторів. При визначенні біоіндикаторів, до них висувають певні вимоги.

Рослини-індикатори повинні бути чутливими і не досить стійкими до забруднення. Необхідно, щоб у них був достатньо довгий життєвий цикл. Важливо, щоб такі рослини були широко розповсюджені по земній кулі, причому кожен вид повинен бути пристосований до певного місцезростання. Цим вимогам повністю відповідають лишайники.

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

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

Слань лишайників може бути забарвлена у сірий, білий, рожевий, жовтогарячий, червоний, оливковий, коричневий, чорний кольори. Під дією SO₂ слань лишайників змінює колір. Крім того, спостерігається деструкція, і організм врешті-решт відмирає. За зовнішньою (морфологічною) будовою слані лишайники поділяють на три основні групи: накипні лишайники, листуваті, кущисті.

Слань **накипних лишайників** має вигляд тонкої, гладкої або зернистої, горбуватої, порошистої корочки, яка щільно зростається з субстратом (грунтом, камінням, корою дерев). Відокремити таку слань без пошкодження неможливо. Зразки таких лишайників збирають разом зі шматочками субстрату. Досить часто присутність такої слані проявляється лише плямистим забарвленням субстрату.

Слань **листуватих лишайників** має вигляд дрібних лусочок або частіше розеткоподібних пластинок, горизонтально розпростертих на субстраті; краї пластинок часто розсічені на лопасті різного розміру і форми. Звичайно така слань прикріплюється до субстрату численними пучками грибних гіф (ризиками) і досить легко відокремлюється від субстрату без значного пошкодження.

Слань **кущистих лишайників** має вигляд тонких ниток або більш товстих розгалужених циліндричних стебелець, що формують кущик; іноді слань може мати вигляд розгалужених, досить м'яких, сплосчених або жолобчасто згорнутих стрічок. Слань таких лишайників прикріплюється до субстрату лише в одному місці своєю основою за допомогою особливої ніжки (гомфа) і росте вертикально до гори від субстрату, вбік від нього або звисає донизу.

Лишайники широко розповсюджені в природі і приймають активну участь у процесах хімічного вивітрювання гірських порід, у формуванні фітомаси (особливо в тундрових та лісових біогеоценозах) і утворенні ґрунтового гумусу. Дернинки лишайників є місцем життя багатьох безхребетних тварин (кліщів, ногохвоток, сіноїдів, листоїдів, павуків, клопів, цикад та

ін.). При яскравому розвитку на корі дерев лишайники слугують своєрідним захистом, такі дерева менш схильні до ураження грибами-руйнівниками деревини.

В екологічному відношенні лишайники можуть заселяти різноманітні субстрати, в тому числі і штучного походження: скло, шкіру, гуму, тканини, шифер, цеглу, залізо. При цьому основною умовою заселення є тривала нерухомість субстрату, що обумовлено дуже повільним ростом лишайників від 1 мм (накипні) до 3 см (кущисті) на рік. В природних умовах лишайники характеризуються вибірково по відношенню до субстрату і утворюють наступні основні екологічні групи:

епіліти - на поверхні гірських порід,

епігеї - на ґрунті,

епіфіти - на корі дерев і чагарників;

крім того, виділяють групи:

епіксилів - на гниючій деревині,

епіфіліів - на хвої і листах вічнозелених рослин,

епібріофіліів - на дернинках мохів.

У практичній діяльності людини лишайники використовуються для визначення віку субстратів, що заселяють (метод ліхенометрії) та як індикатори стану атмосферного повітря (метод ліхеноіндикації).

Метод **ліхенометрії** заснований на тому, що в межах певної кліматичної області річний приріст слані лишайників є постійним; за розміром слані можна визначити як вік самої слані, так і субстрату, на якому вона розвивається. Метод ліхеноіндикації заснований на особливостях водного живлення лишайників: процес поглинання вологи сланню лишайника з повітря є пасивним; при цьому волога доступна у будь-якому вигляді - снігу, дощу, роси, туману і поглинається сланню починаючи від 50% вологості повітря. Зрозуміло, що при пасивному поглинанні вологи до слані потрапляють усі забруднюючі речовини, які містяться в атмосферному повітрі.

Властивість лишайників реагувати на ступінь забрудненості повітря було покладено в основу розробки особливого напрямку індикаційної екології – **ліхеноіндикації**.

Відомо, що лишайники накопичують у слані різні хімічні елементи: літій, натрій, калій, магній, кальцій, стронцій, алюміній, титан, ванадій, хром, марганець, залізо, нікель, мідь, цинк, галій, кадмій, плюбум, ртуть, іттрій, уран, флуор, йод, сульфур, арсеній, селен та ін. Листуваті та накипні види лишайників накопичують політанти на різній відстані від джерела забруднення (електростанції, хімічні заводи та ін.). Зразки лишайників збирають, очищують та аналізують з використанням методів атомно-абсорбційної, рентгенівської та флуоресцентної спектрометрії. Як правило, безпосередньо поблизу джерела забруднення вміст елементів у слані лишайників дуже високий, потім він швидко падає, а по мірі подальшого віддалення від джерела забруднення знижується все повільніше. Відомо, що рівновага між вмістом елементів у лишайниках і у довкіллі встановлюється приблизно через 15 місяців.

По відношенню до забруднення повітря лишайники поділяють на три категорії:

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