МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

В.П. БЕССОНОВА

ФІТОІНДИКАЦІЯ ТА ФІТОМОНІТОРИНГ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

ДНІПРО
2024

УДК 581. 5: 911.2
Б 53

Рекомендовано до друку вченою радою Дніпровського державного аграрно-економічного університету (протокол № 5 від 28 лютого 2024 р.)

Рецензенти:
Пахомов О.Є. – д.б.н., професор Дніпровського національного університету ім. О. Гончара
Домніч В.І. – д.б.н., професор Запорізького національного уціверситету
Лихолат Ю. В. – д.б.н., професор Дніпровського національного університету Ім. О Гончара

Бессонова В.П. Фітоіндикація та фітомоніторинг. Навчальний посібник. Дніпровський державний аграрно-економічний університет.
Дніпро: Герда 2024. 206 с.

У навчальному посібнику розглянуто комплекс питань з фітоіндикації та фітомогіторингу антропогенно порушених наземних екосистем. Наведено матеріали з ліхеноіндикації та дендроіндикації, з фітомоніторингу забруднення оточуючого середовища SO_2, Cl_2, NH_3, фотохімічними оксидантами, фторидіами, важкими металами тощо. Висвітлені питання фітоіндикації антропогенного впливу на фітоценози та ландшафт. Значна увага приділена фітоіндикації природних (непорушених) екосистем: індикації місць зростання рослин за екологічними шкалами та типами лісових ділянок. Викладено матеріали з фітоіндикації ґрунтів.

Навчальний посібник призначений для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 206 Садово-паркове господарство аграрних ВНЗ, екологів, природоохоронців.

ПЕРЕДМОВА

Оцінка якості повітря, ґрунту й води має життєво важливе значення не тільки в теперішній час, але й для прогнозу можливих змін у майбутньому. Одним із підходів для вирішення цих задач є біоіндикація взагалі і фітоіндикація зокрема. Важлива роль у вирішннгі цього питання відводиться методам фітоіндикації. Фітоіндикацію, як науковий напрямок, можна охарактеризувати як визначення зв'язків між певним рівнем впливу чинників середовища і присутністю, чисельністю, структурними і метаболічними особливостями рослинних організмів. Фітоіндикація є складовою частиною фітомоніторингу – системи спостережень за станом природного середовища з метою попередження про критичні ситуації, шкідливі або небезпечні для живої природи. Якість середовища можна контролювати, використовуючи індикаторні види рослин. Основою фітоіндикаційної оцінки слугує екологічна своєрідність видів рослин, які мешкають в певних умовах, володіють високою чутливістю і стабільністю відповідних реакцій на дію різних зовнішніх чинників. Згідно з цим угруповання організмів або окремі організми, життєві функції яких тісно узгоджуються з чинниками довкілля, можуть використовуватися для їх оцінки.

Навчальний посібник «Фітоіндикація та фітомоніторинг» орієнтований на отримання здобувачами вищої освіти знань з фітоіндикації та фітомоніторингу стану довкілля. Він складається з чотирьох розділів. У першому розділі розглядається історія фітоіндикації, поняття фитоіндикації та фітомоніторингу. У другому розділі «Фітоіндикація та фітомоніторинг антропогенно порушених наземних екосистем» висвітлені принципи використання рослин у фітоіндикаційних дослідженнях і оцінка їх реакції на забруднення, розповідається про рівні фітоіндикації. У цьому розділі наведено матеріали з ліхеноіндикації, дендроіндикації, з фітомоніторингу SO_2, Cl_2, NH_3, фотохімічних оксидантів, фторидів. Висвітлені питання фітоіндикації антропогенного впливу на фітоценози та ландшафт. У розділі 3 «Фітоіндикація природних непорушених екосистем» йдеться мова про індикацію непорушених екосистем, місць існування рослинних угруповань та розглянуті питання оцінки місцезростання рослин за екологічними шкалами. У розділі 4 викладено основи фітоіндикації ґрунтового покриву.

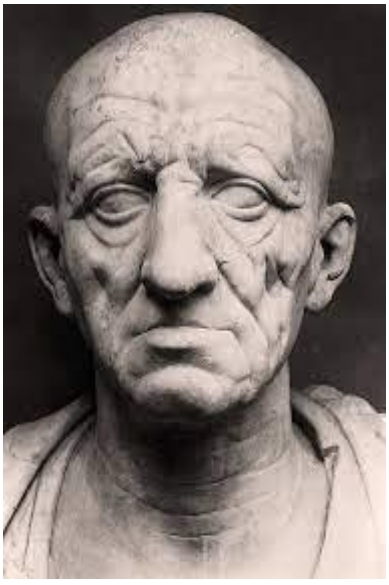
У даному виданні зведено інформацію стосовно використання рослин у фітоіндикації і фітомоніторингу. Навчальний посібник ставить за мету надати майбутньому фахівцю систематизовані знання з предмету, а практичний аспект робить його більш затребуваним у відповідності зі запитами сьогодення.

РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ ФІТОІНДИКАЦІЇ ТА ФІТОМОНІТОРИНГУ

1.1. Історія розвитку фітоіндикаційних досліджень

Фітоіндикаційні дослідження сягають у глибину віків і мають довгу історію. З давнього часу пошук якоїсь рослини чи її вирощування у людини асоціювалися з відповідними екологічними чинниками. Тобто можна констатувати, що індикація на рівні народних прикмет (масової свідомості) існує протягом віків. Наприклад, народні назви «бір», «субір», «діброва» визначають не тільки характер деревостану, а й усього комплексу умов зростання, в значній мірі ґрунтів. Вони застосовуються і в науці майже з однаковим значенням.

У творах стародавніх письменників-учених Китаю, Індії, Греції, Риму знаходимо письмові повідомлення про оцінку земельних угідь з використанням рослин. Так, у трактаті Марка Порція Катона Старшого (234–149 до н.е.) «Землеробство» пропонується для посіву бобових культур підбирати ділянки за густиною травостою.



Марк Порцій Катон Старший
(234–149 р.р. до н. е)

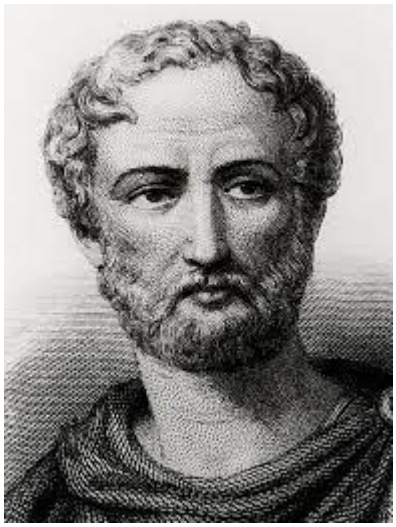
Марк Віттрувій Полліон
(80–19 р.р. до н.е.)

Марк Віттрувій Полліон (80–15 р.р. до нової ери) показав, що за рослинами можна судити про вологість ґрунту, глибину підземних вод. Так, індикаторами води за Віттрувієм є очерет, вільха. У Публія Вергілія (70–19 р.р. до н.е.) кам'янистий і розчленований рельєф вказує на території придатні для вирощування маслин, зарості папоротей типові для земель, що освоюють під

виноградники. Він підкреслював, що різні рослини потребують неоднакових місцезростань: каштан віддає перевагу легкому ґрунту, але не піщаному, верби висаджують у вологому місці, а очерет любить ще більш вологий ґрунт. Отже, Віргілій пише, за якими ознаками треба вибирати ділянки, що придатні для вирощування маслин, винограду, каштану, верб.

Публій Вергілій
(70–19 р.р до н.е.)

Юній Колумелла
(4–70 р.р.)



Пліній Старший
(24–79 р.р.)

У І ст. нової ери римський письменник і агроном Юній Колумелла (4–70 р.р.). рекомендує вибирати місця для створення виноградників за ознакам диких рослин, які зростають на цій ділянці. Він вказує, що за листками дерев, травами, або за плодами, що вже дозріли, можна робити висновок про якості ґрунту і знати, що може на ньому добре рости. Пліній Старший (24–79 р.р.) застерігає від занадто спрощеного уявлення про зв’язок ґрунтів і рослинності, вказуючи, що не завжди високі дерева або пишні луки і високі трави слугують ознакою родючості ґрунтів. Серед декількох ознак родючості він відмічає, зокрема, збільшення товщини стебел злаків. Пліній вважав за можливе встановити такі характеристики ґрунту як родючість та вологість не тільки за зростанням тих чи інших рослин на ділянці, а й за їх загальним виглядом.

На зв'язки між якістю сільськогосподарських угідь і рослинами вказував О.М. Радищев. В його роботі “Опис мого володіння...” (1798) як індикатори ґрунтових умов пропонуються не тільки окремі види рослин (буквиця, дуб, клен, хвощ), але й угруповання (березняк, сосняк).

З розвитком таких наук як ботаніка, географія, геологія, ґрунтознавство фітоіндикація почала набувати наукового рівня. Цьому сприяло виділення таких напрямків ботаніки: біоморфологія рослин, геоботаніка, класифікація,

флористика, біогеографія. В той же час, розвиток фітоіндикаційних досліджень, як і інших наук, визначався практичними потребами використання природних ресурсів. Аналіз рослинного світу здійснювали у різних напрямках. Одночасно із систематикою, фізіологією, анатомією вивчали взаємозв'язок рослин з умовами їх зростання. Дослідження розповсюдження рослин у природі навело на думку, що кожному виду рослин для зростання необхідні певні екологічні умови. При цьому виникло і зворотне питання: наскільки рослини своїми показниками відбивають характер екологічних умов, в яких вони зростають, як за цими показниками можна надати оцінку цим умовам. Відповіді на ці проблеми дає фітоіндикація. Таким чином, фітоіндикація дає можливість оцінити екологічні режими, керуючись певними ознаками видів або їх угруповань, екологічні ж методи допомагають визначити відношення рослин чи їх угруповань до певних умов середовища. І хоча фітоіндикація тісно зв'язана з екологією, її виділяють як окремий напрямок розвитку цієї науки.

У монографії «Фітоіндикація навколишніх факторів» (1994) Я.П. Дідух та П.Г. Плюта в історичному огляді розвитку фітоіндикації виділили **три періоди**.

Перший період – зародження. Цей період тривав майже все XIX століття. Він характеризується виникненням і розвитком наукових основ екології видів.

Наукові основи екології видів започаткував в своїх роботах А. Гумбольдт (1769–1859), який зумів встановити найважливіші закономірності, що поєднують рослинний покрив і найсуттєвіші екологічні чинники. Він зв'язував характер рослинності з фізико-хімічними умовами і висловлювався про приуроченість тих чи інших рослинних форм до певних варіантів клімату. По суті, А. Гумбольдтом (Humboldt, 1805, 1807, 1814) закладено основи екології рослинного покриву (геоботаніки). Крім того, основою розвитку флористики послужили встановлені цим вченим важливі кількісні закономірності стосовно розподілу окремих таксономічних груп рослин у різних зонах.

Вивчення географії рослин почало набувати індикаційний характер. Так, у Північному Тиролі Ф. Унгер (Unger, 1838) поділив рослини на кальцієфіли і сіліціофіли. За ступенем приуроченості до ґрунтів він виділив три групи рослин: 1) ґрунтобайдужі, тобто не залежні від хімічного складу ґрунтів; 2) ґрунтовіддаючі перевагу, тобто переважають певні ґрунти, але зустрічаються також і на інших ґрунтах; 3) ґрунтопостійні, приурочені до певного ґрунту. Дві останні групи рослин він назвав «ґрунтовими показниками».

У 1841 р. А.П. Карпінський запропонував схеми рослин-індикаторів гірничих порід. Він опублікував статтю про те чи можуть живі рослини бути вказівниками гірничих порід і формацій, на яких вони зустрічаються і чи

заслуговують місця їх зростання особливої уваги геогноста («Журнал садівництва»). На питання, що поставлене в назві статті, автор відповів позитивно. Його роботу, що присвячена пристосованості рослин до певних гірських порід, нерідко використовують й досі.

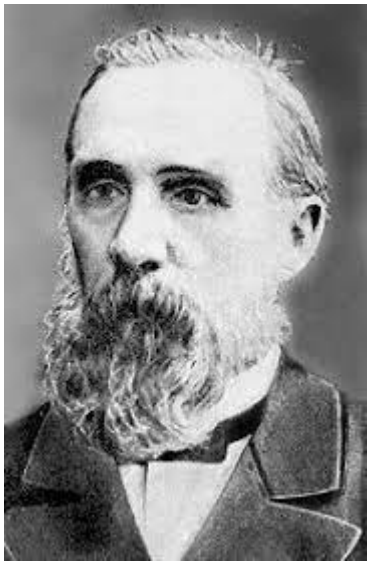
З кінця 60-х років XIX ст. у скандинавських країнах почали часто застосовуватися мохи і лишайники для аналізу забруднення атмосферного повітря. Так, Л.Х. Гріндон (Grindon,1859) у своїй роботі «Флора Манчестера» відмітив суттєве зменшення кількості лишайників внаслідок вирубки старих лісів і розповсюдження фабричного диму.

Продовження ідей А. Гумбольдта знайшло відображення в роботах Л. Поста (Post, 1862) та А. Гризебаха (Grisebach, 1880), які запропонували класифікацію рослинних угруповань, встановили тісну взаємозалежність між ними та екологічними умовами середовища, зокрема ґрунтами.

Класи угруповань ксерофітів, мезофітів, гідрофітів та галофітів, а також екологічні групи видів виділив О. Вармінг (Warming, 1896). Екологічні знання слугували основою для розробки класифікації рослинності А. Шимпером (Schimper, 1898), Л. Дільсом (Diels, 1908, 1910), А. Каяндером (Cajander, 1913) та ін. Слід відмітити роботи К. Раункіера (Raunkiaer, 1907) і О. Друде (Drudle, 1906, 1908, 1911), які на екологічній основі створили систему життєвих форм. О. Друде вперше запропонував біологічні спектри.

А. Гумбольт
(1769–1859)

К. Раункієр
(1860–1938)



П.А. Костичєв
(1845–1895)

Фітоіндикацію ґрунтів активно використовували Ф.І. Рупрехт (1866), Е. Хильгард (1895), П.А. Костичєв (1890), П.А. Осоков (1896). Ф.І Рупрехт навів приклади використання рослин-індикаторів ґрунтів з практичною метою. П.А. Костичєв опублікував роботу «Зв'язок між ґрунтами і деякими рослинними формаціями». П.А Осоков використовував рослинність для складання геологічних карт.

Індикаційні основи геоботаніки найбільш повно виклав у своїх роботах А.М. Краснов (1888). Він розвивав вчення про формації як організовані групи рослин, що приурочені до певних ґрунтів і клімату. Рослинні формації, згідно А.М. Краснову, характеризуються властивими їм факторами середовища:

–рельєфом, ґрунтами, їх водним режимом,

–рівнем ґрунтових вод,

–екологічним типом основних компонентів тощо.

Американський вчений Г. Каулс (Cowles, I901) на початку XX століття, досліджуючи закономірності між трансформацією рослинного покриву та такими екологічними чинниками як вологість і температура повітря, вказав на два екологічні рівні взаємозв'язків: локальний та регіональний. Цей дослідник встановив, що розвиток як гігрофітних, так і ксерофітних рослинних угруповань направлений до мезофітних ценозів, тобто конвергентно.

Важливими для розвитку фітоіндикації визнані роботи з оцінки й картування ґрунтів, розпочаті В.В. Докучаєвим (1885, 1892, 1899). Без концепцій цього вченого неможливою була б постановка питань стосовно індикації одного компонента природи за іншим, використання рослинного покриву як показника природних тіл і природних процесів. Продовженням робіт В.В. Докучаєва були дослідження Переселенського управління і мережі його дослідних станцій. У класичних працях М.О. Дімо і Б.О. Келлера (1907), П.А. Костичева (1908), С.К. Чаянова (1909), Г.М. Висоцького (1914), які були опубліковані у цей період, а також роботами степознавців А.М. Краснова (1886, 1894), Г.І. Танфільєва (1894, 1902) було показано, що основою формування чорноземів є степова рослинність, і кожна з цих складових залежить одна від одної.

Б.О. Келлер (1909) вважав, що дика рослинність є добрим і майже найкращим способом для бонітування ґрунтів, оскільки вона – чутливий показник природного середовища в цілому і ґрунтів зокрема. Важливим було те, що Б.О. Келлером (1912) для одного з районів Східного Казахстану був створений перший визначник, користуючись яким, за зовнішніми ознаками місцевості і особливо за рослинністю, можна було визначати умови

місцезростання. Такий стиль представлення індикаційних даних пізніше був застосований багатьма дослідниками.

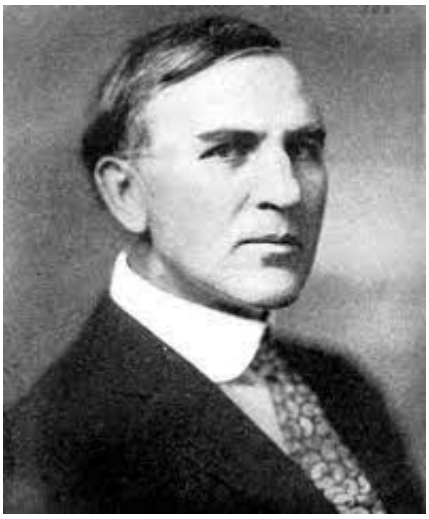
У цей період набули значного розвитку лісотипологічні дослідження. В основу перших класифікацій типів лісу були покладені ознаки екотипу (І.І. Гуторович, 1897, Н.К. Генка, 1902, І.П. Серебреніков, 1904). Були опубліковані перші помітні праці Г.Ф. Морозова, які в подальшому стали базою формування кількох лісотипологічних шкіл.

Отже, на початок XX століття були встановлені загальні взаємозвязки між оточуючим середовищем і змінами рослинного покриву, що дозволило сформулювати положення про можливість індикації екологічних чинників за рослинним покривом. Проте дослідження більшості авторів були широкими, охоплювали велике коло проблем, а спеціалізовані напрямки у фітоіндикації ще майже не визначилися.

Тривалість **другого періоду** розвитку фітоіндикації становила від 10–20-х до кінця 40-х років XX століття. В цей час формуються і розвиваються такі наукові дисципліни: ґрунтознавство, геохімія, геоботаніка, ландшафтознавство, вчення про біосферу та їх окремі напрямки. Здійснювалося становлення і формування основних положень геоботаніки, наприклад класифікації рослинності. У першу чергу, це заслуга Ж. Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1913). Провідна ідея його праць зводилася до того, що класифікація повинна відбивати екологічну специфіку рослинних угруповань. На думку цього вченого, найважливіша властивість асоціації – це її екологічна своєрідність, яка визначається флористичним складом. Характерні види рослин, тобто види з вузькою екологічною амплітудою, є найінформативнішими індикаторами екологічної особливості асоціації.

Концепцію характерних видів Ж. Браун-Бланке розвиває далі у 1915 – 1918 рр. Він пропонує поняття відповідних даному угрупованню видів, які визначають його специфіку. Розвиток уявлень про відображення рослинним покривом умов існування привів вченого до думки, що умови місцезростання найкраще характеризують групи рослин, які формують рослинні угруповання, хоча й окремі види є добрими екологічними індикаторами. Отже, праці Ж. Браун-Бланке демонструють як у часі відбувалося становлення ідей від аутфітоіндикації до синфітоіндикації, які були тісно пов’язані з питаннями класифікації рослинності. Такий зв’язок добре спостерігається і в більш пізніх роботах з питань класифікації рослинності Західної Європи. Ці праці стали фундаментом створення новітніх наукових шкіл з фітоіндикації, які і в теперішній час займають провідне місце у даному напрямку науки.

Ж. Браун-Бланке
(1884–1980)



Ф. Клементс
(1874–1945)

Т.Ф. Морозов
(1867–1920)

У формуванні понять про синфітоіндикацію значну роль мали труди американського вченого Ф. Клементса (1920, 1928, 1973), який вивчав динаміку рослинних угруповань. Ці праці були розвитком робіт Г. Каулса з питань клімаксу. Обґрунтувавши концепцію клімаксу, Ф. Клементс тісно пов’язав це питання з геологічною та геоморфологічною структурою території. Цей вчений встановив, що напрямки розвитку угруповань від піонерного до клімаксового типу обумовлюються такими екологічними чинниками, як кислотність та механічний складу субстрату, обводненість, засолення. Були виділені гідросерії, які були розподілені на псамосерії та серії засолення. Із робіт з біоіндикації першими найбільш фундаментальними і видатними були узагальнення саме цього вченого.

У процесі вивчення різних типів рослинності виникали ідеї синфітоіндикації. Необхідно назвати класифікацію степів О.О. Альохіна (1915), едафо-фітосоціальні ряди лісів В.М. Сукачова (1927, 1938), координаційну схему лісів Г.Ф. Морозова (1926). Однак, незважаючи на те, що ці праці з геоботаніки піднімали безпосередньо питання фітоіндикації, їх автори не ставили на головне місце цю проблему.

У 1929 р. П.С. Погребняк надіслав доповідь до Міжнародного конгресу науково-дослідних лісових станцій, який відбувався у Стокгольмі (липень–серпень). Доповідь була присвячена методиці *досліджень умов місцезростання у зв'язку з типами лісу*. Вона була зачитана та опублікована у матеріалах конгресу. В ній викладені підсумки досліджень з типології лісів в Україні за три останні роки, *запропоновано підхід до встановлення типу місцезростання* за багатством її ґрунту та загальним водним балансом лісової ділянки. Тип лісу

встановлювався з врахуванням рівня трофності і гідрофільності конкретного лісового угруповання. Так виникла едафічна сітка, яка є загальновизнаною. Для встановлення типу лісорослинних умов (тип місцезростання) необхідно спиратися на ряд таких показників: рівень ґрунтових вод, склад надґрунтового покриву, деревна порода, її ріст. Надані також екологічні фігури, які характеризують продуктивність порід дерев у різноманітних типах лісорослинних умов. Для індикації лісових ділянок запропоновані певні види рослин, які можуть бути індикаторами багатства ґрунту елементами живлення та особливостей його зволоження.

П.С. Погребняк покращує класифікацію Є.В. Алексєєва, надаючи їй відповідної зручності та чіткості. Він поєднує ліси по мокрому і по суходолу в одну класифікаційну схему, а групу суборів (за Алекєєвим), розділяє, а саме – на групу суборів та групу складних суборів (судібров, сугрудків). Внаслідок здійснення творчої роботи П.С. Погребняк створив чітку класифікацію ґрунтів за їх трофністю (хімічною родючістю) та вологістю.

Положення про залежність рослинних угруповань від екологічних умов відстоював Л.Г. Раменський (1929). Він запропонував методи оцінки екологічних режимів за чинниками багатства й зволоження ґрунту, його змінності, засолення та пасовищної дигресії. Для здійснення такої оцінки було використано великий табличний матеріал з характеристиками амплітуди толерантності кількох тисяч видів рослин, приймалось до уваги їх проективне покриття. Л.Г. Раменського слід вважати основоположником теорії та методики синфітоіндикації. Цим вченим розроблено серію нових методик (екологічної оцінки ценозів, екологічних рядів, побудови екологічних шкал та координатних синекологічних діаграм). Такі нові підходи на багато років випередили загальний теоретичний розвиток синфітоіндикації та суттєво визначили цей розвиток.

Проте публікація основної роботи Л.Г. Раменського (1956) супроводжувалася жорсткою і, як потім з’ясувалося, часто не обґрунтованою критикою. Критика його робіт зводилася головним чином до необхідності уточнення екологічних характеристик видів, до того ж вказувалося, що кінцеві результати виражені не в конкретних показниках (фізичних або хімічних) величинах (наприклад, коливання вологості ґрунту в мм або %, рівні ґрунтових вод, кількості солей в ґрунті та ін.), а в умовних ступенях (балах) мінерального багатства, зволоження, пасовищної дигресії тощо. Проте пізніше ідеї Л.Г. Раменського мали значний вплив на розвиток теорії та практики фітоіндикації

Деякі вчені (Міркін, Розенберг, 1978) неодноразово намагалися виразити градації за шкалами Л.Г. Раменського в конкретних фізичних або хімічних одиницях. Але для цього необхідно охопити екологічними дослідженнями всі місцезростання того чи іншого виду рослин, що робить цей процес надзвичайно трудомістким. Крім того, як було показано Я.П. Дідухом та П.Г. Плюта (1994), це не є конче необхідним.

В,М. Сукачов
(1880–1967)

Л.Г. Раменський
(1884–1953)

П.С. Погребняк
(1900–1976)

Отже, в даний період були розроблені важливі теоретичні питання фітоіндикації. Одночасно формуються напрямки, пов'язані з фітоіндикацією певних екологічних чинників, які набувають широкого практичного використання,

Третій період розвитку фітоіндикації розпочався у 60-х роках минулого століття і триває до наших днів. На цьому етапі фітоіндикація відмежовується як самостійний науковий напрямок, відбувається подальша його диференціація, узагальнення й аналіз робіт у цій галузі. В даний період активно розвиваються нові методи дослідження з оцінки екологічних чинників та їх динаміки, розробляються різні екологічні шкали, що надає можливість здійснювати фітоіндикацію більш складних закономірностей не тільки локального, але й ландшафтного, регіонального і навіть глобального рівня. Ці питання докладно розглянуто в монографіях В.С. Вікторова зі спів. (1962) та Б.В. Виноградова (1964). Застосування рослинності як індикатора умов середовища С.В. Вікторов виділяє в особливий напрямок геоботаніки і називає його «індикаційною геоботанікою». Б.В. Виноградов (1964) застосовує інший термін – «вчення про рослинні індикатори». Індикаційними функціями рослин, згідно цього автора, є

кліматоіндикаційні, педоіндикаційні, гідроіндикаційні, літоіндикаційні.

У 1962 р. вийшла книга С.В. Вікторова, Є.О. Востокової, Д.Д. Вишивкіна «Уведення в індикаційну геоботаніку», в якій надаються основи теорії і методів цієї науки, розкриті її основні напрямки. А.А. Корчагін напрямок індикаційних досліджень запропонував назвати «фітоіндикацією» (Викторов, Чикишев, 1990). Пізніше С.В. Вікторов сформулював поняття про «фізіономічний елемент», під яким розумів ділянки місцевості, які розрізняються за розмірами, формами, забарвленням та іншими зовнішніми ознаками. Наприклад, ектояруси, завдяки своїй добрій видимості на космічних і аерофотознімках, дуже широко застосовуються в даний час для індикації (Булохов, 1996; Викторов, Ремезова, 1988). Значна увага приділяється питанням удосконалення екологічних шкал. Екологічні шкали, що запропоновані Д.Н. Цигановим (1983), є діапазонними (амплітудними) шкалами. Екологічні шкали Е. Ландольта (Landolt,1977) і Г. Елленберга (Ellenberg et al.,1974, 2010) – бальні, або точечні. Вони містять оцінки екологічних оптимумів видів рослин у балах і широко використовуються у Західній Європі. Одним із показників стійкості видів і рослинних угруповань до антропогенних чинників середовища є оцінка гемеробії рослин, що була запропонована рядом авторів (Sukopp,1972, Frank, Klotz, 1990).

Книга Дж. Меннінга й У.А. Федера (1985) присвячена питанням моніторинга забруднення атмосфери за допомогою рослин. Вона допомагає об’єктивно оцінити дані, що були отримані методом фітоіндикації у нашій країні і за кордоном, і виявити можливості ефективного використання рослин. Зроблена спроба оцінити як переваги, так і недоліки фітомоніторингу.

У монографії Я.П. Дідуха і П.Г Плюта (1994) розглянуті принципи застосування фітоіндикаційних підходів при градієнтному і ординаційному аналізах, оцінці диференціації екосистем та прогнозуванні їх розвитку, побудові тематичних екологічних карт. Авторами розроблені нові практичні аспекти використання методу фітоіндикації.

На сучасному етапі у формуванні методології фітоіндикації суттєву роль набуває системний підхід. Застосовуються нові методики, які тісно пов'язані з використанням комп'ютерних програм, без чого неможливо досягти сучасного наукового рівня. Здійснюється подальша диференціація напрямків фітоіндикації залежно від особливостей рослин-індикаторів і умов зростання, а також чинників, які індикуються. Останнім часом умови довкілля оцінюються зі застосуванням даних ботанічних, фенологічних, анатомічних, фізіологічних, цитогенетичних й біохімічних досліджень тощо. Для того, щоб одержати

новітні результати важливо використовувати комплекс методів: біологічних, хімічних, фізичних, географічних й геологічних. Необхідно володіти методикою дешифрування матеріалів дистанційних зйомок, вміти працювати з комп'ютерними програмами. Особливістю третього етапу є розвиток дистанційної фітоіндикації (аеро- та космічної), використання безпілотних літаючих апаратів для моніторингу лісових і сільськогосподарських угідь, а також оновлення математичного апарату. Використання аеро- і космічної фітоіндикації включає її дешифрування – розпізнавання природних об'єктів або їх індикаторів, що вивчаються, за тоном, кольором, структурою рисунка фотозображення, його розмірами і поєднанням з іншими рисунками. Для дешифрування рослинного покриву достовірні результати отримують при використанні спектрозональних космічних знімків. Дистанційнаі методи знайдуть широке використання у багатофункціональних системах екологічного моніторинга ландшафтів для діагностики стану рослинних об'єктів, вирішення різноманітних практичних задач. Це – перспективний напрям розвитку фітоіндикаційних досліджень.

Контрольні запитання

1. Які елементи фітоіндикації ми знаходимо у працях філософів стародавнього Риму?
2. Коли фітоіндикація почала набувати наукового рівня?
3. Скільки періодів у розвитку фітоіндикаційних досліджень виділяють Я.П. Дідух та П.Г. Плюта?
4. Чим характеризуються перший період розвитку фітоіниkаційних досліджень?
5. Хто перший запропонував схеми рослин-індикаторів гірничих порід?
6. Які головні здобутки другого періоду розвитку фітоіндикаційних досліджень?
7. Розкажіть про особливості розвитку третього періоду фітоіндикаційних досліджень.
8. Які дослідники писали у своїх роботах про фітоіндикацію ґрунтів?
9. У чому суть праць Ф. Клементса?
10. Хто розробляв систему життєвих форм рослин ?
11. Який вчений розвивав ідею про екологічну своєрідність як найголовнішу властивість асоціації, яка визначається у флористичному складі? Розкажіть про це докладніше.
12. В чому суть едафічної сітки П.С. Погребняка?
13. Кого вважають основоположником теорії та методики синфітоіндикації?

14. В працях яких вчених розглянуті питання стосовно використання рослинного покриву як індикатора умов середовища?
15. Охарактеризуйте нові підходи до проведення фітоіндикації.

1.2. Основні поняття фітоіндикації

Принципи фітоіндикації забруднення середовища та стану екосистем

Визначення зв'язків між присутністю, чисельністю, структурними або метаболічними особливостями організмів і певним рівнем впливу чинників середовища – так коротко можна охарактеризувати біоіндикацію як науковий напрямок. ***Біоіндикація*** – це використання добре помітних і доступних для спостереження біологічних об'єктів з метою визначення компонентів, які не так легко спостерігати (наприклад, різних впливів або забруднювачів). Перші (біологічні об'єкти рослинного або тваринного походження) називаються *індикаторами*, другі (фактори впливу або різні забруднювачі) – *індикатами*. Слово біоіндикація утворене від грецького *bios* – життя і латинського *indicare* – вказувати. Встановлено, що якість довкілля можна контролювати, використовуючи практично будь-які види, починаючи від вірусів і мікроорганізмів і закінчуючи людиною, і на всіх рівнях організації живої матерії від молекулярного до екосистемного. Стихійно і історично у вирішенні проблем біоіндикації якості середовища (атмосферне повітря, ґрунт, вода) визначився антропоцентричний підхід. Однак збереження умов для життя людини можливе тільки при забезпеченні необхідного екологічного режиму для всієї біоти і біосфери в цілому. Для отримання біогеохімічних циклів у біосфері та її гомеостазу потрібно в першу чергу забезпечити оптимальні умови для діяльності продуцентів (рослинності). Це важливо тому, що вони стоять на початку трофічного ланцюга і від їх продуктивності залежить колообіг матерії та енергії в біосфері. У наземних екосистемах майже у всіх лісорослинних зонах (за винятком, можливо, пустель) біомаса продуцентів становить 90 % і більше, тому вони визначають багато важливих параметрів екосистем. Отже, якість середовища і особливо повітря слід визначати в першу чергу за реакціями на забруднювачі автотрофних організмів-продуцентів. У зв'язку з цим слід виділяти як самостійну систему або частину екологічного моніторингу – фітомоніторинг, а головний і найважливіший метод індикації якості середовища за допомогою рослинності – фітоіндикацію. ***Фітоіндикація*** – входить як розділ до дисципліни біоіндикація. Вона розробляється для оцінки чинників довкілля з використанням рослинності. Це – визначення умов

середовища за станом рослинності та її характером. Метод фітоіндикації стану довкілля особливо часто використовується у фітоценології, в лісовій типології, а також для встановлення ступеня забруднення компонентів довкілля (атмосферного повітря, ґрунту тощо) зі застосуванням як вищих, так і нижчих рослин. Висока чутливість продуцентів визначається наявністю в них високочутливого до будь-яких впливів фотосинтетичного апарату, якого немає у консументів і редуцентів. Саме тому автотрофний блок виступає основою структури і функціонування екосистеми та є найчутливішим індикатором. Екологічна специфіка видів рослин, які зростають тільки в певних межах зміни будь-якого екологічного чинника, слугує основою фітоіндикаційної оцінки.

Кожен організм характеризується відносно певного діючого на нього чинника унікальним фізіологічним діапазоном стійкості, який був набутим у процесі філогенетичного розвитку і який є генетично детермінованим. У межах цього діапазону даний чинник є для нього стерпним. За оптимальних значень фактора спостерігаються найкращі показники життєдіяльності рослин. По обидві зони від оптимума знаходяться зони песімума, або пригнічення. Крайні значення фактора – критичні точки. За їх межами настає загибель організму. Відстань між межами показує ступінь витривалості організма до змін даного чинника, або його толерантність. І оптимуми, і песімуми відносно конкретного чинника можуть бути зсунуті за дії іншого чинника. На різних стадіях розвитку організму фізіологічний діапазон толерантності зазвичай неоднаковий. Він також різниться у всіх особин даної популяції. Організми називаються стенопотентними, якщо вони мають вузьку амплітуду толерантності, і евріпотентними – широку.

Отже, у відповідності з цими положеннями рослинні організми або угрупування організмів, життєві функції яких тісно взаємопов’язані з певними чинниками довкілля, можуть використовуватись для їх оцінки, називаються ***фітоіндикаторами***. Це визначення застосовують і до індикації природних умов існування за наявністю рослин, які характерні для певного екотопу, наприклад, у лісовому та сільському господарствах.

На думку Ван Штраалена (1998), можна виділити, принаймні, три випадки незамінності біоіндикації.

- Фактор не може бути виміряним. Прикладом такого ствердження можуть бути роботи з реконструкції клімату минулих епох. Так, за результатами досліджень за тривалий період пилку рослин у Північній Америці встановлено зміну вологого і теплого клімату на сухий прохолодний, а далі заміну лісових угруповань на трав’янисті. Другий приклад: за співвідношенням

базофільних і ацидофільних видів залишків діатомових водоростей показано, що в давнину в озерах Швеції вода за цілком природними причинами мала кислу реакцію.

- Фактор важко виміряти. Вихідну концентрацію деяких пестицидів не можливо виявити в ґрунті, так як вони швидко деградують. Так, інсектицид дельтаметрин зберігає активність протягом лише декількох годин, але негативна його дія на ряд видів ґрунтової фауни зберігається декілька тижнів.

- Фактор легко виміряти, але важко пояснити. Показники вмісту в довкіллі різноманітних забруднювачів у не занадто високих концентраціях не дають розуміння про ступінь їх небезпечності для живих організмів. Біоіндикація надає можливість встановити й оцінити рівень негативних змін оточуючого середовища за антропогенного впливу.

Екологічний підхід у питанні визначення якості довкілля вказує на необхідність визнання та обліку таких основоположних, корисних і важливих принципів для розробки нормативів допустимого забруднення середовища та фітоіндикації його якості:

1) реєстрація змін і порушень у організмів і популяцій повинна здійснюватися за допомогою об'єктивних і точних методик із використанням сучасних приладів;

2) якість (оптимальність) умов середовища має встановлюватися за найчутливішими організмами для всієї біоти (видами) і процесами;

3) в якості діагностичних ознак для оцінки якості середовища і стану екосистем повинні використовуватися найбільш чутливі й тому інформативні процеси і функції на клітинному, тканинному і організменому рівнях;

4) якість (чистоту) середовища слід оцінювати за довгостроковою дією забруднювачів (середньорічних концентрації інгредієнтів) і таким же чином за часом порушень і змін у продуцентів.

Ці принципи були розроблені при визначенні ГДК забруднення повітря для людини і для рослинності.

Для виявлення рівня зв’язку біоіндикаторів з окремими об’єктами індикації (***індикатами***) використовують такі показники як достовірність, розповсюдженість і значимість індикатора. *Достовірність* (Д) і *розповсюдженість* (Р) індикатора виражають у частках від одиниці або відсотках відношення кількості випадків знаходження індикатора на об’єкті індикації (Т) до загального числа зустрічальності індикатора (R) і індиката (S). Отже, Д = T/R; P = T/S. *Значимість* індикатора (Z) встановлюють шляхом співставлення показників його достовірності і розповсюдженості. Кількісно

вона може бути оцінена у частках від одиниці як добуток достовірності на розповсюдженість у тому ж вимірі, а у разі необхідності виражена у відсотках: $Z = Д \times Р$, або $Z = T^2/(RS)$. *Абсолютні* індикатори зустрічаються майже виключно сумісно з об'єктом індикації, їх достовірність і розповсюдженість перевищують 90–95 % , а значущість – 0,8. У *добрих індикаторів* ці показники складають відповідно 80–95 %, 75–90 % і 0,6–0,8; *у задовільних* – 60–80 %, 50–75 % і 0,3–0,6; у сумнівних– 50–60 %, 20–50 % і 0,1–0,3 відповідно.

Типи фітоіндикаторів

Поняття індикації у більшості випадків відносне. Так, ботанічні індикатори, як правило, виявляють свої властивості у межах певних природно-територіальних комплексів. За ступенем стійкості зв'язку з індикатом вони поділяються на *панареальні* (зберігають зв' язок з індикатом на всій території ареалу), *зональні* (мають індикаційне значення в межах географічних зон і підзон), *регіональні* (зберігають своє значення в межах однієї або декількох областей з подібними фізико-географічними умовами), *локальні* (виявляють зв'язок з індикатом в одному фізико-географічному районі).

При фітоіндикації слід враховувати, що зміни біологічної системи можуть бути викликані як антропогенними, так і природними чинниками довкілля. Ця система відповідає на вплив оточуючого середовища взагалі відповідно своїм властивостям, таким як генетично контрольована стійкість, вік, особливості живлення, а також порушеннями, які виникли. *Чутливі фітоіндикатори* відповідають суттєвим порушенням життєвих функцій, відхиленням їх від норми. *Акумулятивні фітоіндикатори*, навпаки, у більшості випадків акумулюють антропогенні впливи без швидкого прояву порушень. *Неспецифічна фітоіндикація* це така, коли різні антропогенні чинники викликають однакові реакції. При *специфічній фітоіндикації* ті чи інші зміни, що спостерігаються, можна пов'язати тільки з одним чинником. Інформативним індикатором буде той вид, який характеризується вузькою амплітудою екологічної толерантності за відношенням до якого-небудь чинника. Це відноситься перш за все до рослин, оскільки вони не можуть активно переміщатися. Згідно з класифікацією, що була запропонована Ю. Рабе, натурні біоіндикаційні дослідження за методом проведення поділяють на *пасивні* і *активні*. У першому випадку у вільноживучих організмів фіксують видимі чи приховані пошкодження та відхилення, що є ознаками дії стресорів різної етіології. При активному моніторингу намагаються виявити аналогічні впливи, але тест-організми перебувають у стандартизованих умовах.

Індикація екологічних умов здійснюється не тільки з врахуванням даних зі зміни видового багатства організмів в тій чи іншій місцевості, але й за здатністю акумулювати елементи та речовини, які надходять із забрудненого довкілля, тобто за зміною їх хімічного складу. Наприклад, оцінка стану довкілля за зміною чисельності видів пов'язана з тим, що найбільш чутливі з них до тих чи інших полютантів зникають з біоценозу (лишайники в промислових центрах) або кількість деяких видів, навпаки, зростає (масове розмноження синьо-зелених водоростей внаслідок надходження забруднюючих речовин у водойми з сільськогосподарських угідь).

Зв'язок між індикатором і індикатом називається індикаційним. В залежності від характеру індикаційного зв'язку індикатори поділяють на прямі і непрямі. За *прямої біоіндикації* антропогенний чинник діє на біологічний елемент безпосередньо. *Непряма біоіндикація* стає можливою тільки після зміни стану під впливом інших безпосередньо займаних елементів (через проміжний ланцюг). Прямі індикатори надійніші, ніж непрямі, але вони зустрічаються не часто. В аридних районах прикладом прямих індикаторів можуть слугувати угруповання з переважанням рослин, які постійно зв'язані коренями з грунтовими водами (чий – *Achnatherum splendens*, види верблюжої колючки – *Alhagi*). А у піщаних пустелях Середньої Азії зарості аристиди (*Aristida pennata*) слугують непрямим індикатором верховодки, так як ця рослина є піонером-псамофітом і вказує на слабку закріпленість піску, що обумовлює добру аерацію і проникнення опадів, котрі сприяють утворенню верховодки.

На рівні організму проявляється певне підпорядкування реакцій, які з'являються на дію якого-небудь антропогенного чинника. Основу для первинної біоіндикації створює перша реакція, наступна – для вторинної.

Фітоіндикація може здійснюватися шляхом спостережень за окремими рослинами-індикаторами, популяцією конкретного виду рослин і станом фітоценозу в цілому. На рівні виду зазвичай виконують специфічну індикацію якогось одного забруднювача, а на рівні популяції або фітоценозу – загального стану екосистеми.

Ю. Одум (1986) надає деякі суттєві зауваження, які варто враховувати, виконуючі фітоіндикаційні дослідження.

- Стенотопні види, зазвичай, є кращими індикаторами, ніж евривиди. Наприклад, такий виражений мезофіт як копитняк (*Asarum europaeum*) зустрічається в діброві, де вказує на багаті умови.

- Крупні види є кращими індикаторами, ніж дрібні. Це пов'язано з тим,

що на даному потоці енергії може підтримуватися більша біомаса, і ця біомаса розподіляється між крупними організмами. Так, такий вид дібровних умов зростання як анемона дібровна рясно репрезентована у буковому лісі лише у час цвітіння (весняний аспект). Проте вже в червні відшукати її сліди неможливо. Крупний вид – бук, який є індикатором родючих бучин, завжди буде представлений і може бути використаний як індикатор у будь-який час.

- Популяції і цілі угруповання слугують кращими індикаторами, ніж невелика група особин, оскільки частина гірше відображує загальну суму умов, ніж ціле. Наприклад, зарості кропиви дводомної (*Urtica dioica*) вказують на багаті на азот ґрунти. Діброви свідчать про багаті ґрунти і смриятливий клімат. Чисті угруповання сосни високих бонітетів є індикаторами свіжих борових та субборових пісків.

Фітоіндикацію рекомендується виконувати за наступною схемою:

-визначення чинника, що обмовлює мету індикації – індикату;

-вібір методу і масштабу вимірювань його величини або зміни;

-пошук індикатора на підставі логічних доказів його зв’язку з даним чинником;

-розробка шкали вимірювань індикаційних ознак;

-встановлення ступеня зв’язку між зміною чинника і індикатора, а також визначення методу його відображення.

Контрольні запитання

1. Що таке фітоіндикація? Які найголовніші її задачі?
2. Які організми називаються фітоіндикаторами?
3. Яка фітоіндикація називається специфічною, а яка неспецифічною?
4. Чим відрізняються пасивні і активні фітоіндикаційні дослідження?
5. Охарактеризуйте пряму і непряму фітоіндикацію.
7. Чому рослини є дуже чутливими індикаторами стану довкілля?
8. Назвіть основні причини проведення фітоіндикаційних досліджень.
9. Охарактеризуйте достовірність, значимість і розповсюдженість індикатора.
10. На які групи поділяють фітоіндикатори за ступенем зв’язку з індикатом?
11. Які попередні визначення треба виконати для здійснення кількісної оцінки забруднення за допомогою рослин-моніторів?
13. Як розраховують достовірність і значимість індикатора?
14. Які положення, на думку Ю. Одума, варто враховувати, виконуючи фітоіндикаційні дослідження ?
15. З яких операцій складається процес фітоіндикації?

1.3. Основні поняття моніторингу та фітомоніторингу

Систему повторюваних спостережень одного або кількох елементів довкілля в просторі і в часі, з певною метою і заздалегідь підготовленою програмою, було запропоновано називати моніторингом.

Термін «***моніторинг***» (від латинського monitor – той, що наглядає, нагадує, спостерігає) виник перед проведенням Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища (Стокгольм, 5–16 червня 1972 р.). Перші пропозиції з системи моніторингу були запропоновані експертами спеціальної комісії SCOPE у 1971 р. Вперше головні положення моніторингу як системи викладені Р. Манном (R. Mann, 1973). У розвитку наукових основ сучасного моніторингу довкілля значна роль належить працям І.П. Герасимова (Герасимов, 1975, 1976) і Ю.А. Ізраеля (Ізраель, 1984). Ці дослідники сформували і головні положення системи екологічного моніторингу. У їх роботах частково відображені також міжнародні проблеми глобальної системи моніторингу. Перед першою міжурядовою нарадою з моніторингу обговорення питань системи моніторингу значно активізувалось. Нарада відбулася в Найробі (Кенія, лютий 1974 р.). Вона була скликана Радою керуючих Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP – United Nation Environment Program). У матеріалах наради були сформульовані цілі та основні питання програми глобальної системи моніторингу довкілля. Особлива увага приділялась формулюванню застережень щодо змін стану природного середовища, які обумовлені забрудненнями, а також застереженням про небезпеку здоров'ю людини, загрозу стихійних лих і про назрівання інших екологічних проблем. На другій сесії Ради керуючих UNEP більшість рішень цієї наради були визнані і прийняті. На міжнародному симпозіумі з комплексного глобального моніторингу забруднення довкілля, який відбувся в грудні 1978 р. у Ризі, були всебічно розглянуті головні завдання моніторингу й різні питання, пов'язані з обґрунтуванням та реалізацією його систем. Ю.А. Ізраель підкреслював, що якщо термін «контроль» включає спостереження і одержання інформації, то «моніторинг» має на увазі ще й елементи активних дій, тобто елементи управління (control – англійською означає як контроль, так і управління). Отже, цей термін з’явився на противагу терміну «контроль». У нашій науково-технічній літературі термін «контроль» передбачає тільки одержання та аналіз інформації і не передбачає активних дій.

Отже, основним завданням моніторингу є збереження оптимального режиму екологічного стану на Землі. Вимоги до якості довкілля необхідно

встановлювати й аналізувати обов’язково з урахуванням умов життя всіх живих організмів. Тільки в цьому випадку будуть забезпечені умови для збереження і розвитку життя. Виходячи з цього, біомоніторинг є важливішою складовою частиною моніторингу взагалі та екологічного моніторингу зокрема.

Моніторинг тісно пов’язаний з вирішенням наступних задач управління природокористуванням:

-зі спостереженням стану природних середовищ і фіксацією змін, що відбуваються;

-з інструментальним або іншим кількісним контролем виконання екологічних нормативів природокористувачами;

-з отриманням інформаційної основи для ведення кадастрів природних ресурсів і здійснення державного обліку природних ресурсів;

-з виявленням і оцінкою несприятливих тенденцій у стані природних ресурсів і оточуючого середовища в цілому, а також прогнозом їх розвитку за існуючого або змінного рівнях навантаження на природні екологічні системи й використання природно-ресурсного потенціалу;

-з оцінкою відповідності стану кожного з об’єктів моніторингу заздалегідь встановленій нормі та прийняттям відповідних управлінських рішень зі зміни режимів природокористування.

За сучасними уявленнями ***моніторинг*** це система спостережень й контролю за станом навколишнього середовища і запобігання впливу природних та антропогенних чинників, шкідливих чи небезпечних для здоров'я людини, існування рослин і тварин.

Виділяють такі головні ступені моніторингу:

1. ***Моніторинг глобальний*** – спостереження за загальносвітовими процесами та явищами в біосфері Землі та її екосфері, включаючи всі екологічні компоненти, та попередження про виникнення екстремальних ситуацій.

2. ***Моніторинг регіональний*** – спостереження за процесами та явищами в межах якогось регіону, де ці процеси та явища можуть відрізнятися як за природним характером, так і за антропогенним впливом від базового фону, характерного для всієї біосфери.

3. ***Моніторинг локальний*** – моніторинг локальних антропогенних впливів на окремих територіях.

Розрізняють також *моніторинг довкілля и біологічний моніторинг. Моніторинг довкілля включає* систему спостережень, оцінки та контролю за станом навколишнього середовища для розробки дій відносно його охорони,

раціонального використання природних ресурсів та запобігання критичних ситуацій, які можуть зашкодити природі в цілому та здоров'ю людини зокрема. ***Біологічний моніторинг*** – система спостережень за біологічними об'єктами (біорізноманіттям, наявністю інвазійних видів, взаємовідносинами видів в екосистемі, їхнім станом, тощо) або оцінка стану довкілля з використанням біологічних об'єктів (біоіндикаторів). Різновидністю біологічного моніторингу є фітомоніторинг. ***Фітомоніторинг*** включає нагляд за станом оточуючого середовища та чинниками дії, а також прогнозування зміни оточуючого середовища та оцінку його майбутнього стану з використанням рослин.

Є чимало підходів до здійснення класифікації систем моніторингу за різноманітними показниками. Один із підходів відображено в табл. 1.

Таблиця 1. ***Узагальнена схема класифікації систем моніторингу***

Принцип класифікації	Існуючі або перспективні системи моніторингу
За універсальністю системи	Глобальний, включаючи фоновий та палеомоніторинг. Національний, «міжнародний» (моніторинг транскордонного переносу забруднюючих речовин), регіональний
За реакцією основних складових біосфери	Геофізичний моніторинг, біологічний моніторинг (в тому числі генетичний), екологічний моніторинг (включаючи геофізичний і біологічний
За основними складовими біосфери	Моніторинг антропогенних змін в атмосфері, гідросфері та літосфері
За джерелами впливу	Моніторинг джерел забруднень, інгредієнтний моніторинг (окремих забруднюючих речовин, радіоактивних випромінювань, шумів тощо)
За факторами впливу	Біотичний та абіотичний
За рівнем гостроти та глобальності	Моніторинг океану, клімату Землі, моніторинг озоносфери тощо
За методами спостережень	Аерокосмічний моніторинг (дистанційні методи). Моніторинг за фізичними, хімічними та біологічними показниками
За системністю підходу	Медико-біологічний або санітарно-гігієнічний (стану здоров'я населення), біоекологічний, кліматичний. Варіанти: біо-, геоекологічний, біосферний, природно-господарський та ін.

Загальноприйнята також така класифікація видів моніторингу**:**

1. загальний моніторинг;

2. фоновий моніторинг;
3. ландшафтний моніторинг;
4. моніторинг природних комплексів;
5. моніторинг лісових екосистем;
6. лісопатологічний моніторинг;
7. моніторинг зелених насаджень;
8. моніторинг біорізноманіття;
9. моніторинг родючості ґрунтів;
10. агрокліматичний моніторинг;
11. моніторинг стану поверхневих вод суші;
12. моніторинг морів і океанів;
13. моніторинг джерел забруднень (імпактний);
14. медичний моніторинг.

Отже, в літературі і в офіційних документах зустрічаються різні класифікації моніторингу.

Розрізняють чотири основних частини моніторингу:

а) спостереження за довкіллям і антропогенними чинниками;

б) аналіз й оцінка стану оточуючого середовища;

в) передбачення зміни стану оточуючого середовища;

г) управління природно-антропогенними процесами з метою їх оптимізації

Сучасні актуальні завдання моніторингових досліджень:

1) оцінка екологічного стану ґрунтів, стеження за їх змінами з метою відновлення родючості та охорони;

2) вивчення стану вуличних, паркових та лісових насаджень, що зазнають значного антропогенного впливу;

3) аналіз в межах еталонних та ландшафтних екополігонів стану поверхневих вод та донних покладів;

4) оцінка якості та змін властивостей атмосферних опадів у часовому та просторовому вимірах:

5) аналіз радіаційної безпеки та взаємозв'язків з рівнем радіоактивного забруднення природно-територіальних комплексів;

6) дослідження стану оточуючого середовища картографічними засобами та розробка методичних принципів його відображення;

7) розвідування екологічно чистих територій та виконання екологічної паспортизації природних ресурсів.

Основні методи моніторингових досліджень. Плідне здійснення моніторингових досліджень залежить від того, які використовують методи

визначення екологічної ситуації, їх різноманітності, повноти зібраної інформації та підсумків досліджень наукових організацій.

О.П. Ольхович і М.М. Мусієнко (2005) до найважливіших методів, які використовують для досліджень екологічних проблем, відносять:

1. *Статистичний метод*. Обробка даних про викиди токсичних речовин в оточуюче середовище, об'єми скидання спрацьованих неочищених й очищених вод, захоронення відходів, результатів спостережень у межах промислових комплексів, санепідемстанцій та метеостанцій за останні 5–10 років. На підставі отриманих даних про об'єми шкідливих викидів здійснюється класифікація територій за ступенем токсичності.

2. *Картографічний метод*. Застосовується для визначення масштабів природно-антропогенних деградаційних процесів і включає аналіз:

- ходу розвитку несприятливих природних процесів та ознак деградації;

-територіального поширення шкідливих речовин як результат діяльності промислових та сільськогосподарських підприємств;

- загально-географічних карт територій, які підлягають обстеженню;

- спеціальних картографічних матеріалів (обводнення, зрошення, осушення, заліснення), їх зміни за період використання території;

Екологічні карти можна об'єднати в три групи в залежності від того, на основі чого їх складають:

1) за площинними експедиційно-польовими та лабораторними дослідженнями;
2) за проектною документацією та статистичними даними про забруднення довкілля, які зібрані у природоохоронних організаціях;
3) за матеріалами стаціонарних польових та лабораторних досліджень.

При створенні атласу моніторингу забруднень оточуючого середовища використовують всі три типи карт.

3. ***Лабораторні методи*.** Це важливіші методи моніторингових досліджень. Їх використовують наукові заклади для того, щоб отримати первинну інформацію.

4. ***Аналіз кліматичних факторів*.** Виконують для того, щоб узгодити дані, що отримані науковими установами, з метеорологічними показниками. Так, аналіз розподілу напрямків вітрів протягом року має суттєве значення для встановлення зв'язку захворювань людини із територіями розповсюдження газоподібних токсикантів, важких металів, отрутохімікатів та інших отруйних забруднювачів довкілля.

Екологічні моніторингові дослідження за тривалістю поділяють на чотири типи:

а) *рекогносцирувальні, або* ознайомлювальні – під час досліджень відзначають лише можливий рівень забруднення оточуючого середовища, виявляють точки відбору проб, а також загальну їх кількість, встановлюють методи досліджень тощо;

б) *короткочасні* (сезонні або однорічні) – беруть зразки рослинності, ґрунтів, донних покладів, проби вод та біологічних об'єктів для аналізів у лабораторних дослідах або виконують польові дослідження за змінами кількісного видового складу та за реакціями біоти і оцінюють рівень забруднення;

в**)** *довготривалі* (не менш як трирічні) – досліджують посезонні або річні зміни стану забруднення, визначають можливості відтворення вивчаємих екосистем;

г**)** *стаціонарні* (багаторічні) – передбачають організацію стаціонарних наукових станцій з метою відбору зразків на постійних дослідних ділянках.

До моніторингових досліджень відносять лише стаціонарні та довготривалі дослідження.

Контрольні запитання

1. Що таке моніторинг? Коли виник термін «моніторинг»?
2. Назвіть три головних ступеня моніторингу. Розкажіть про них.
3. Що таке біологічний моніторинг, фітомоніторинг?
4. Які існують види моніторингу?
5. Розкажіть про актуальні завдання моніторингових досліджень.
6. Охарактеризуйте основні методи моніторингових досліджень.
7. На які типи поділяються екологічні моніторингові дослідження за тривалістю?

РОЗДІЛ 2. ФІТОІНДИКАЦІЯ ТА ФІТОМОНІТОРИНГ АНТРОПОГЕННО ПОРУШЕНИХ НАЗЕМНИХ ЕКОСИСТЕМ

2.1.Типи забруднення довкілля та критерії оцінки рівня забруднення

Відомо, що атмосферне повітря складається із суміші газів: 21% – кисню, 78% – азоту, 0,03% – вуглецю, близько 1% аргону та водяної пари. Викиди як антропогенного, так і природного походження забруднювали атмосферу мільйони років.

Джерела надходження забруднюючих атмосферу речовин можна розташувати в такому порядку: 1) стаціонарні джерела (згоряння палива); 2) рухомі джерела (транспорт); 3) чорна металургія; 4) кольорова металургія; 5) хімічна промисловість; 6) видобування корисних копалин (не металів); 7) нафтопереробні заводи; 8) целюлозно-паперова промисловість; 9) харчова та фуражна промисловість.

Слово забруднення стало занадто вживаним і звичним у нашому житті.

Забруднення – надходження в оточуюче середовище або виникнення в ньому нових, зазвичай не характерних хімічних і фізичних чинників й біологічних речовин, які завдають шкоду людині та природним екосистемам. Класифікація видів забруднення оточуючого середовища представлена на рис.1.

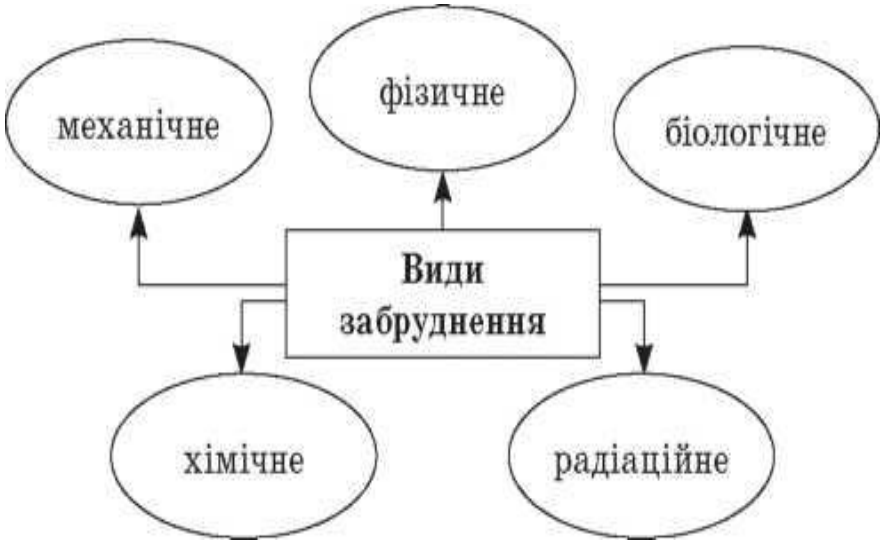


Рис. 1. Класифікація видів забруднення оточуючого середовища

Виділяють *антропогенне* та *природне* забруднення. Антропогенне – є наслідком людської діяльності (промислові підприємства, теплоенергетика, транспорт, сільське господарство та ін.). Воно за ступенем впливу може перевершувати природне, яке є результатом потужних природних процесів, що виникають незалежно від діяльності людини (пожежі, вулканічна діяльність, пилові бурі тощо). Всі відомі види забруднення розподіляють на такі основні: фізичне, хімічне та біологічне.

Фізичне забруднення викликається змінами хвильових, радіаційних й температурно-енергетичних показників довкілля. Так, тепловий вплив визначається в порушенні теплового режиму поверхні Землі, що впливає на умови життя людей. На території міст осередками теплового забруднення є: теплотраси (50–150 °С), підземні газопроводи промислових підприємств (140–160°С), збірні колектори і комунікації (35–45 °С) та ін. Фізичним забрудненням можна вважати електромагнітне випромінювання (антени теле- і радіокомунікаційних станцій, високовольтні лінії електропередач, електропідстанції, ряд електроприладів), а також вплив шуму. Визначено, що тривала дія електромагнітних полів та шум викликають навіть у здорових людей почуття апатії, перевтому, головний біль та ін.

Хімічне забруднення – зростання кількості хімічних речовин у оточуючому середовищі, а також надходження в нього не властивих йому хімічних речовин, або в кількостях вищих за норму. Хімічне забруднення для людини і природних екосистем є найнебезпечнішим. Воно отруює довкілля різноманітними токсичними речовинами (діоксини, детергенти, важкі метали, пестициди, пластмаси, газоподібні сполуки: аміак, оксид сірки, сірководень, хлор та ін.). У наш час у оточуючому середовищі, за даними спеціалістів, знаходиться 7–8,6 млн. різноманітних хімічних речовин, чисельність яких зростає на 250 тис. нових сполук щорічно. Значна кількість хімічних речовин діють як мутагени та канцерогени. За списком, що був запропонований експертами (ЮНЕСКО), найнебезпечнішими є 200: азбест, бензпірен, бензол, важкі метали (найбільш хром, ртуть, кадмій, свинець), пестициди, харчові добавки і фарбники тощо.

Біологічне забруднення – пов'язане з діяльністю людини або випадкове привнесення в екосистеми не властивих їм видів живих організмів (рослин, тварин і мікроорганізмів). Масове розмноження нових видів організмів часто спричиняє небажані ефекти.

Джерелами біологічного забруднення довкілля є м’ясокомбінати, побутові стоки, підприємства промислового біосинтезу, які виробляють ферменти,

антибіотики, сироватки, вакцини, біоконцентрати, кормовий білок, та ін. У викидах цих підприємств є живі клітини мікроорганізмів. Надмірне поширення деяких синантропних живих організмів також віднять до біологічного забруднення. Наприклад, накопичення побутових відходів у містах, наявність звалищ призвели до суттєвого зростання чисельності голубів, комах, ворон, щурів та ін.

Забруднювач – будь-який антропогенний або природний фізичний чинник, хімічна речовина або біологічний вид, який потрапляє в природне середовище або виявляється в ньому в кількостях, що перевищують фонову, і призводить до забруднення середовища. Виділяють стійкі забруднювачі, які залишаються в середовищі тривалий час і накопичуються в трофічних ланцюгах.

Забруднювачі реагують з компонентами атмосферного повітря. Між газоподібними речовинами промислово-транспортних викидів і атмосферним повітрям відбуваються складні реакції синтезу і розпаду, відновлення й окиснення. Деякі з них починаються з моменту надходження в атмосферу, інші при виникненні для цього сприятливих умов – необхідних реагентів, сонячного світла та інших чинників.

Надходження різноманітних забруднювачів у природне середовище, як правило, може мати несприятливі наслідки. Так, забруднення спричиняє:

- шкоду рослинному і тваринному світу (падіння продуктивності культурних рослин, лісів і вимирання тварин);
- зниження стійкості природних екосистем;
- шкоду майну (корозія металів, руйнівний вплив на архітектурні споруди та ін.);
- небезпеку здоров'ю людини тощо.

Розглянемо негативний вплив забруднювачів на здоров'я людини. *Діоксин* – найбільш токсична й добре вивчена речовина. Визначена її тератогенна, мутагенна і канцерогенна дія. Негативно впливає на здатність до народження дітей. Високі концентрації діоксину викликають важке захворювання шкіри – хлоракне. *Оксиди сірки* – викликають подразнення і пошкодження слизових оболонок у людини і тварин, спазми бронхів і кашель внаслідок подразнення дихальних шляхів. Тривалий вплив призводить спочатку до почервоніння язика, потім до запалення і набряку легенів, до перебоїв серцевої діяльності, порушенню кровообігу і зупинці дихання. За дії *оксидів нітрогену* виникають гострі захворювання органів дихання. При гострому отруєнні може розвиватися набряк легенів. Ознаки хронічного отруєння – головний біль, безсоння, кашель, виразки слизових оболонок. *Вуглеводні* з невеликим числом атомів (гексан,

метан, бензин, пентан) – володіють наркотичною дією. Вони провокують запаморочення, головний біль. Ненасичені вуглеводні – сильні канцерогени (бутадієн). Гексан може викликати важкі ураження нервової системи. *Формальдегід* призводить до алергічних реакцій, подразнює очі, слизові горла і носа, припускають його канцерогенну дію. *Фотооксиданти* виникають за дії сонячного світла із оксидів азоту і вуглеводнів (озон, пероксіацетилнітрат та ін.). Вони викликають у людини запаленні слизових оболонок, ушкоджують дихальну систему, тканину легенів. Зазвичай вимірюють концентрації лише озону як найбільш розповсюдженого з фотооксидантів. Симптоми хронічного отруєння *свинцем* – головний біль, порушення функцій шлунка і кишечника, анемія, нервозність, затримка розвитку. У дітей спостерігається зниження рівня інтелекту, здатності до навчання, відхилення у поведінці. *Ртуть* – найбільш токсичні органічні сполуки ртуті. Симптоми: збуджений стан, роздратованість, нерішучість, депресія, носові кровотечі, ураження очей, вегетативної та центральної нервових систем, пошкодження розуму. *Кадмій* – проявляє мутагенні, канцерогенні і тератогенні властивості. Шкідливо впливає на ембріогенез. Перш за все уражує нирки. Можливі такі прояви його дії як високий кров'яний тиск; ушкодження легенів, анемія. *Пестициди* – можливі захворювання кровотворних органів, центральної нервової системи, шлунково-кишкового тракту, печінки, імовірність онкологічних захворювань тощо. *Нітрати* – за дії бактерій, що живуть в організмі людини, перетворюються на нітрити, які дуже отруйні (блювання, втрата свідомості). Маленьким дітям загрожує ціаноз (метгемоглобінія). З нітритів в організмі людини утворюються сильні канцерогени – нітрозаміни. Перетворення нітратів на нітрити може відбуватися в продуктах під час їх розігрівання та збереження. *Радіонукліди* – спричиняють променеве ураження, генетичні мутації, лейкоз, онкологічні захворювання, променеве безпліддя. *Тверді і завислі частки* – ослаблюють легеневу функцію, провокують бронхіти, вірогідне скорочення середньої тривалості життя.

Отже, оцінка якості довкілля є надзвичайно важливою задачею. Для *кількісної оцінки ступеня забруднення* довкілля застосовують такі показники: індекс забруднення, гранично допустима, фонова і токсична концентрації.

Індекс забруднення (ІЗ) – показник, який якісно і кількісно вказує на рівень забруднюючих речовин у об’єктах довкілля і ступінь його впливу на живі організми.

Гранично допустима концентрація (ГДК) – максимальна кількість токсичної речовини в оточуючому середовищі, яка майже не оказує впливу на

здоров'я людини за певний проміжок часу або при постійному контакті. Показники ГДК для забруднюючих речовин були затверджені в багатьох країнах як нормуючі величини. Вони встановлювалися для природних середовищ (ґрунти, води, рослини, атмосферне повітря) і для продуктів харчування.

Розроблена система ГДК призначена для конкретних забруднювачів, проте не враховує дію комплексу різноманітних полютантів, тобто вона ще недостатньо інформативна. Відомо, що одночасний вплив декількох речовин буде значно відрізнятися від їх комплексної дії. Так, сумісна дія органічних комплексів важких металів суттєво змінює визначені експериментально ГДК для кожного окремого важкого металу**.**

Фонова концентрація – показник вмісту речовини в об'єкті довкілля, який відповідає середнім умовам, що властиві даним територіям.

Токсична концентрація це – такий вміст токсичної речовини в об’єкті, що призводить внаслідок дії на живі організми протягом 30 діб до їх загибелі. За іншим визначенням це – концентрація шкідливої речовини, яка викликає токсичний ефект у живих організмів.

Розрізняють забруднювачі первинні, які надходять безпосередньо з джерела забруднення (етилен, альдегіди, вуглеводні тощо) і вторинні, що виникають як результат розкладу первинних або внаслідок хімічних реакцій (фотохімічні оксиданти – діоксид азоту, озон, пероксіацетилнітрати).

Негативна дія фотохімічних оксидантів на рослинні організми суттєвіша, порівняно з первинними забруднювачами. Їх кількість у атмосферному повітрі визначається часом доби, метеорологічними умовами та концентраціями первинних забруднюючих речовин. Мінімальна їх концентрація спостерігається в ранкові часи. В цей період викиди промислових газів найменші, а в дві–три години дня вони – максимальні. Як вже відмічалося, озон є найнебезпечнішим серед фотооксидантів. Встановлено, що його концентрація в повітрі визначається співвідношенням NO_2/NO і сонячним світлом. На другому місці за шкідливим впливом знаходиться забруднювач атмосфери етилен, який в рослинному організмі викликає незворотні процеси вже в концентрації 10^{-9}.

На прояв реакції рослин на дію фотооксидантів оказують вплив такі чинники:

- ступінь зрілості рослини, її вік;

- фізіологічні реакції в онтогенезі, межі ушкоджень, що обумовлені генетично;

- умови вирощування (тип ґрунту, його вологість, відносна вологість повітря та температура, освітлення тощо), а також поживні ресурси;

- вміст забруднювача у повітрі і довгочасність дії (специфічний прояв «доза-відповідь»), як наслідок гостра або хронічна дія;

- метеорологічні чинники (кількість опадів, інтенсивність сонячного освітлення, напрямок і швидкість вітру та ін.).

Всі вищенаведені фактори інтегруються рослиною, яка певним чином реагує на вплив забруднюючої речовини.

Розробляючи систему фітомоніторингу, необхідно приймати до уваги всі вищенаведені чинники. За дію на рослини полютантів можна прийняти ушкодження, які викликають деякі фізичні, хімічні та біологічні чинники. Важливо вміти розпізнавати ушкодження рослин шкідниками і хворобами і відрізняти їх від дії забруднювачів довкілля. Чинники, які заважають проведенню фітоіндикаційних досліджень через те, що їх вплив на рослини викликає симптоми, що схожі з дією повітряних полютантів:

1) біологічні (генетичні аберації, віруси, бактерії, нематоди, комахи, кліщі, гриби);

2) фізичні і хімічні (вітер, механічні пошкодження, температура, посуха, світло, вода, пестициди, засолення ґрунту, pH ґрунтового розчину та ін.).

Дія забруднювачів на рослини, зазвичай, неспецифічна, проте, їм можуть бути притаманні і специфічні реакції.

Найчастіше за дії на рослини повітряних полютантів відбуваються такі *неспецифічні реакції*:

- падіння загальної життєвості;

- зменшення стійкості до шкідників і хвороб;

- перерозподіл продуктів фотосинтезу на відновні процеси організму після ушкодження;

- зміна активності головних енерготрансформуючих процесів дихання та фотосинтезу;

- порушення денного ходу інтенсивності транспірації.

Проводячи дослідження характеру впливу *на рослини* повітряних полютантів, слід надавати оцінку їх дії за зростанням величин концентрацій. При цьому розрізняють наступні концентрації:

1) *фонова концентрація* – допустима за ГДК кількість речовин;

2) *мала концентрація* – незначно перевищує фонові значення, викликає невеликі зміни основного метаболізму, які можна назвати адаптивними (сукупність реакцій які підтримують функціональну стійкість рослини за зміни

умов довкілля, що її оточують). Рослина завжди має здатність до певних перебудов і широко їх використовує під час адаптацій до незначних коливань стану довкілля);

3) *середня концентрація* – більша за фонову в 10 – 100 разів, її негативна дія проявляється і викликає накопичувальний ефект, що призводить до падіння продуктивності;

4) *висока концентрація* – оказує токсичну дію, пригнічує життєві функції рослин, призводить до порушень репродукції, нездатності виду до розмноження, зникненню цього виду з екосистеми, при цьому коефіцієнт розмноження особини виражається числом меншим за одиницю, відтворення виду стає неможливим, навіть якщо будуть відсутні такі екосистемні чинники як вплив хвороб, конкуренція та ін.;

5) *летальна концентрація* – викликає гострі ураження, насамперед, ушкодження асиміляційних органів, їх пожовтіння, виникнення некрозів, часткове або навіть повне обпадання, всихання пагонів і кінець кінцем до загибелі рослини.

У тісному зв'язку з безпосередньою індивідуальною чутливістю рослин до тих чи інших токсикантів знаходяться умови довкілля. Так, рослина схильна до негативного впливу забруднюючої речовини у більшому ступені у тому випадку, якщо вона зростає на малородючому ґрунті або одночасно страждає від шкідників. Крім того, забруднювачі повітря сильніше впливають на рослину, якщо вона зростає у несприятливій з точки зору орографії місцевості, як, наприклад, на крутих схилах. У цьому випадку чутливість і здатність витримувати навантаження у одного й того ж виду рослини в окремих випадках можуть бути різними.

Ступень пошкодження рослини залежить головним чином від двох чинників – концентрації токсичної речовини і тривалості її дії. Тривалий вплив концентрацій шкідливих речовин, що лежать набагато нижче граничної норми, є причиною «*хронічних пошкоджень*», які, як наслідок негативних змін у обміні речовин і повільного накопичення отруйних речовин в рослинах, призводять до зниження врожайності. На противагу цьому, високі концентрації шкідливих речовин викликають «*гострі ушкодження*» – значні ушкодження рослинності навіть за дуже короткочасної дії.

У дослідженнях зі здатності рослин поглинати токсичні гази, важливо розрізняти поняття інтенсивності і ємності газопоглинання. *Інтенсивність поглинання* – це кількість газу, що поглинається певною площею листка або рослиною за одиницю часу, а *ємність поглинання* – це кількість газу, яку

рослина поглинає за весь період вегетації. В листках рослини може відбувається асиміляція деяких поглинутих речовин і відтік асимілятів в інші органи.

Контрольні запитання

1. Назвіть джерела надходження забруднюючих атмосферу речовин.
2. Розкажіть про основні види забруднення довкілля.
3. Охарактеризуйте джерела фізичного і біологічного забруднення довкілля.
4. У чому полягають небажані наслідки надходження різних забруднювачів у природне середовище?
5. Як впливають на здоров'я людини хімічні забруднювачі атмосфери?
6. Які використовують критерії кількісної оцінки рівня забруднення навколишнього середовища?
7. Назвіть неспецифічні реакції рослин на забруднення атмосферного повітря.
8. Які виділяють концентрації забруднюючих речовин за наростанням інтенсивності негативної дії на рослини?
9. Які використовують критерії кількісної оцінки рівня забруднення навколишнього середовища?
10. Які фактори змінюють відповідну реакцію рослини на вплив фотооксидантів?
11. Назвіть фактори, дія яких на рослину подібна до дії забруднюючих повітря речовин.

2.2. Рослини як монітори й індикатори забруднення довкілля

Принципи використання рослин у моніторингових дослідженнях

Методи фітоіндикації широко застосовуються у системі моніторингу. Поряд із терміном «рослина-індикатор» У. Менінг та У. Федер (1985) використовують поняття «*рослина-монітор*» для позначення біологічного об'єкту, здатного давати якісну й кількісну оцінку стану навколишнього середовища та відображати залежність «доза-ефект». ***Рослина-монітор*** – це рослина, симптоми ушкодження в якої виникають під впливом на неї токсичної концентрації однієї забруднюючої речовини або суміші речовин. Цей термін застосовується у фітомоніторингу. Рослина-монітор повинна бути не лише індикатором забруднення довкілля, але й забезпечити отриманя кількісної

оцінки, оскільки при здійсненні моніторингу надається в першу чергу кількісна, а не якісна оцінка.

Вищі та нижчі рослини застосовують у якості біомоніторів забруднення довкілля у випадках, якщо вони акумулюють забруднюючі речовини в своїх тканинах у суттєво вищих концентраціях порівняно з концентраціями цих речовин у середовищі або, якщо їх сприйнятливість до дії певних полютантів сильно різниться від чутливості інших рослин. Саме завдяки цим особливостям застосування цих видів рослин як біомоніторів є достатньо перспективним для здійснення швидкого оперативного контролю забруднення, особливо тоді, коли визначення концентрацій забруднюючих речовин, а також різних параметрів реакції рослин, відносно прості.

Використання рослинних організмів як тест-систем має ряд переваг стосовно тестування на інших організмах, найважливіші з них такі:

• вищі рослини – еукаріоти, що надає можливість екстраполювати отримані з тестування дані на інші еукаріотичні організми, включаючи й людський організм;

• тести порівняно дешеві, прості у використанні, відрізняються великою чутливістю; не потребують багато часу у виконанні;

• для них створені, апробовані і стандартизовані відповідні методики;

• вони виконуються без застосування складного лабораторного обладнання, тому за участі рослинних тест-систем широко виконуються фітомоніторингові дослідження і у країнах, що розвиваються;

• можна здійснювати тестування різноманітних окремих речовин і складних сумішей за змінних умов довкілля, температури, pH тощо;

• вищі рослини сприятливі до дії канцерогенних чинників.

У скринінгу мутагенів серед інших еукаріотичних організмів важливе місце займають вищі рослини. Дуже чутливими вважаються їх корені, які безпосередньо вступають у контакт із забруднювачами ґрунту. Такі ферменти кореневих клітин як оксидази змішаних функцій ініціюють перетворення промутагенів у мутагени. Саме через це клітини кореневої меристеми характеризуються значною чутливістю до впливу мутагенних чинників. Завдяки придатності тест-систем рослинних організмів виявляти промутагени їх використання для передбачення віддалених наслідків впливу окремих забруднювачів довкілля на біологічні об’єкти є дуже актуальним. Деякі дослідники вважають, що прості і оперативні рослинні тести *in vitro* для визначення ініціаторів канцерогенезу більш надійні порівняно зі значно тривалішими тестами з використанням лабораторних тварин.

Для забезпечення високоефективного біомоніторингу важливим є дотримання ряду принципів.

1. До пріоритетних належить *принцип простоти аналізу*. Р.Т. Карабань зазначає, що найбільш ефективними є методи індикації з *використанням простих тестів*, які дозволяють швидко оцінити екологічний стан великих територій малою кількістю людських та інших ресурсів.

2. Другим принципом є пріоритетне використання рослинних організмів, які, виконуючі роль первинних ланок трофічних ланцюгів, *поглинають увесь спектр наявних у довкіллі забруднювачів* і постійно зазнають їх впливу. За А. Постхумусом, індикаторними є рослини, у яких можуть з'являтися явні симптоми пошкодження, що свідчать про присутність у повітрі однієї чи кількох забруднюючих речовин. Подібне трактування й у монографії У.Менінга й У.Федера. На їх думку, *рослина-індикатор* – це своєрідний хімічний сенсор, що реагує на дію фітотоксичної концентрації однієї забруднюючої речовини чи їх суміші. Ці автори ставлять ряд вимог до рослин, що використовуються для біоіндикації, а саме: значна чутливість до низьких концентрацій забруднюючих речовин, генетична однорідність, еврібіонтність, стійкість до захворювань та ентомошкідників тощо.

3. Третій принцип – *обов'язковість порівняння* при здійсненні досліджень з біоіндикації стану живих організмів на моніторингових територіях з їх станом на фонових (*еталонних*).

Дія забруднення на рослини може змінити інтенсивність ростових процесів, прискорити процес цвітіння, знизити репродуктивний потенціал, урожайність і продуктивність. Будь-який з цих показників можна застосовувати як індикаторний.

Рослини-монітори мають переваги перед приладами, які полягають у тому, що вони:

- дешеві;
- легко відтворюються;
- швидко розмножуються;
- мають типову відповідну реакцію на вплив.

Для кількісного визначення рівня забруднення з використанням рослин-моніторів потрібно спочатку встановити певні зв'язки між реакцією рослини на дію забруднювача і вмістом цієї речовини в оточуючому середовищі. Для цього рекомендується:

1. Зіставити рівень ушкодження рослини з визначеною кількістю полютанта в середовищі її існування.

2. В тканинах рослини, яку використовували як живий колектор, визначити концентрацію забруднювача. Так, мох *Hyphum cupressiforme* здатний поглинати важкі метали (свинець, нікель, мідь, кадмій, марганець, цинк) та акумулювати їх у своїх тканинах у кількостях більших у десятки разів, ніж в оточуючому середовищі.

3. Встановити концентрацію забруднювача (або метаболіту, який виник у рослинній клітині внаслідок пошкодження) та порівняти отриманий показник з кількістю полютанта в довкіллі.

Види і сорти рослин по-різному відповідають на дію полютантів внаслідок їх генетичної неоднорідності. Одні види взагалі не реагують, або їх реакція проявляється дуже слабо. Інші види дають певну відповідь лише на дію однієї забруднюючої речовини, а деякі – на вплив двох або декількох забруднювачів. Отже, для моніторингу необхідно використовувати такі види або сорти рослин, які проявляють типову конкретну відповідну реакцію.

За особливостями акумулювання певних хімічних елементів рослинами їх поділяють на *концентратори* і *деконцентратори*. Поглинання рослинами не концентраторами певних елементів у великих кількостях часто викликає характерні морфологічні й фізіологічні зміни, які можуть бути використані як індикатори забруднення. У моніторингових дослідженнях слід приймати до уваги, що деякі забруднювачі, накопичуючись у рослині, можуть *піддаватися детоксикації*, змінюючи реакцію. Знешкодження відбувається таким чином:

1) деякі токсичні речовини зв'язуються цитоплазмою клітин рослини, вони стають неактивними;

2) забруднювачі зазнають змін у рослинах, перетворюючись на нетоксичні речовини, які можуть приймати участь у загальному обміні речовин рослинних клітин;

3) деякі токсичні речовини, які були акумульовані надземними органами рослин, можуть виділяти їх корені, наприклад сірковмісні сполуки.

Оцінка реакцій рослин на забруднення довкілля.

Виділяють такі поняття як біоіндикація і біотестування (Кавелєнова, 2003). Вважають, що під ***біоіндикацією*** слід розуміти оцінку довкілля за аналізом результатів експерименту, що поставила сама природа. ***Біотестування*** же включає активний момент. Серед біоіндикаторів, що використовують у контролі техногенного забруднення, виділяють індикатори-концентратори й індикатори-сенсори.

Широко розповсюджена практика пошуку *рослин-концентраторів* для оцінки рівня забруднення оточуючого середовища різними групами речовин (важкі метали, органічні і неорганічні сполуки). Використання цих рослин частіше спрямовано на оцінку аерального надходження забруднювачів. При цьому аналізується як маса забруднювача, що акумульована органами і тканинами, так і забруднюючі речовини, які осаджені на поверхні листків, кірки, поглинені кутикулою. В останньому випадку орган рослини виступає як планшет, який осаджує, а маса забруднювача в значному ступені визначається зовнішніми умовами. Рослини, які є живими колекторами забруднюючих речовин, можуть успішно використовуватися для моніторингу важких металів, SO_2 та ряду сполук. Так, мох *Hypnum cupressiforme* здатний поглинати такі важкі метали як свинець, нікель, мідь, кадмій, цинк і магній. Метали не тільки поглинаються його тілом, але й акумулюються в тканинах. Шляхом збирання рослин, висушування, зважування та подальшого хімічного аналізу висушених тканин можна визначити кількість поглиненого металу. Змінюючи проміжки часу між зборами, можна порівняти вміст металу в тканинах з концентрацією металу або металів у навколишньому повітрі. Мохи можуть бути взяті з природних середовищ існування або вирощені в «чистому середовищі» і розміщені на обраних дослідних майданчиках для подальшого збору і аналізу.

Як акумулятори різних сполук використовують лишайники. Їх можна застосовувати для контролю вмісту SO_2 в оточуючому середовищі. Здатність до акумулювання SO_2 лишайниками залежить від їх виду. Поєднання методів приладового моніторингу зі спостереженнями за виживанням і видозміною лишайників дозволить встановити залежність між ростом і/або здатністю до виживання лишайників і концентрацією SO_2 в навколишньому середовищі. Якщо ступінь забруднення визначається за поглинанням забруднюючої речовини, то слід вимірювати або кількість забруднюючої речовини, або кількість метаболіту забруднюючої речовини. Наприклад, вміст сульфату в тканинах слід співвідносити з концентрацією SO_2 в навколишньому середовищі. Для визначення накопичення в тканинах рослин забруднюючих речовин широко використовуються гравіметричні, фотометричні методи, полярографічний метод, атомпоглинальна спектроскопія. Для зіставлення результатів, що отримані різними дослідниками, необхідна ретельна стандартизація методів збору й обробки рослинного матеріалу та приладів, які використовували.

Є рекомендації висаджувати як рослини акумулятори хімічних речовин *Phaseolus vulgaris*, інші вважають більш придатними для цієї мети *Rosa*

centifolia, Lupinus angustifolium, рослини родів *Polygonum, Phleum, Lilium* (Десслер,1984).

У *рослин-сенсорів* реакціями на техногенне забруднення слугують морфологічні, анатомічні, фізіолого-біохімічні зміни. Найбільш часто застосовують структурно-функціональні зміни листків, появу хлорозів і некрозів. На рівні фізіолого-біохімічних показників розглядаються зміни фотосинтетичного пігментного апарату, активність ферментів, накопичення стресових метаболітів тощо. Детально це питання висвітлено в даному навчальному посібнику в розділі «Рівні фітоіндикації».

Застосування того чи іншого методу кількісної оцінки даних залежить від рослинного матеріалу, забруднюючої речовини і вимірюваних параметрів. Ступінь пошкодження листя трав'янистих і деревних рослин (бронзове забарвлення, зернистість, некрози, плямистість або інші види пошкоджень), як правило, встановлюють візуально, визначаючи площу ураженої поверхні (у %). Специфічні фітоіндикатори на певні види забруднювачів застосовують у період їх найбільшої чутливості. Наприклад, рослини квасолі необхідно використовувати до появи трилопатевих листків третього порядку, рослини тютюну – до стадії цвітіння і навіть після, при видаленні квіток у міру їх утворення; гладіолуси – тільки протягом одного сезону, в той час як сосну Веймутова і виноград можна використовувати протягом усього їхнього життя.

Дані, що отримали внаслідок досліджень, можна об'єднати за такими групами: 1) площа пошкодження листкової поверхні (у %); 2) площа нових пошкоджень кожної рослини за будь-який визначений період часу або її листкової поверхні. У разі аналізу ураження хвойних рослин дані повинні включати: 1) довжину хвоїнок; 2) колір хвої; 3) форму хвої; 4) вік хвої; 5) кількість пошкоджених хвоїнок на гілку (у %). З використанням лінійних графіків можна відобразити залежність пошкодження листків рослин від тривалості впливу та дози полютанту. Отримані криві можна порівняти з кривими «доза – відповідна реакція», одержаними в лабораторних дослідах. Таким чином можна встановити якісний склад повітря за певний період. Якщо відповідна реакція визначається за показниками росту і продуктивності рослин, то необхідно встановити: 1) швидкість росту; 2) число листків і/або площу листкової поверхні; 3) дату формування бруньки; 4) дату початку цвітіння; 5) співвідношення числа квіткових бруньок і квіток; 6) кількість плодів або шишок, їх розміри; 6) співвідношення квіток і плодів; 7) кількість насіння на

плід, його масу; 8) співвідношення маси пагонів і коренів (у трав'янистих рослин); 9) загальний вихід (або біомаса).

Для дерев необхідно також знати наступне: 1) число гілок; 2) довжина гілок; 3) діаметр гілок; 4) діаметр стовбура в даній точці над рівнем ґрунту; 5) швидкість росту стовбура.

Напрямком ***біотестування*** може бути аналіз забруднення повітря, води, ґрунту як окремими забруднювачами, так і комплексом речовин**.** Біотести являють собою як структурно автономні об'єкти (рослини, насіння, проростки, пилкові зерна), так і органи рослин (висічки листків, корені, пагони). Пропонується оцінювати якість пилку, а також рівень хромосомних аберацій.

Залежно від тривалості часу до прояву і особливостей біоіндикаційних реакцій розрізняють шість *типів чутливості*.

I тип: біоіндикатор протягом певного часу не реагує на дію (відсутність ефективного рівня), після чого дає сильну одноразову реакцію і втрачає чутливість (вище верхнього ефективного рівня).

II тип: реакція миттєва і сильна, але триває деякий час, після чого різко зникає.

III тип: з моменту появи ушкоджуючого впливу біоіндикатор реагує протягом тривалого проміжку часу з однаковою інтенсивністю.

IV тип: миттєва сильна реакція змінюється її припиненням, яке спочатку відбувається швидко, а потім повільніше.

V тип: поява ушкоджуючого впливу супроводжується реакцією, інтенсивність якої зростає до максимальної величини, після чого поступово припиняється.

VI тип: багато разів повторюється реакція V-го типу; характерна осциляція показників біоіндикації.

Контрольні запитання

1. Які переваги застосування рослинних тест-систем порівняно з тестами на інших організмах?
2. Яких принципів необхідно дотримуватися для забезпечення високоефективного біомоніторингу?
3. У чому різниця понять «рослина-індикатор» і «рослина-монітор»?
4. Назвіть переваги рослин-моніторів перед приладами в оцінці стану довкілля.

5. Які залежності між реакцією рослини на забруднення і концентрацією цієї речовини в довкіллі необхідно попередньо визначити для кількісної оцінки забруднення за допомогою рослин-моніторів?
6. У чому специфіка використання для фітоіндикації рослин-концентраторів і рослин-сенсорів?
7. Якими основними способами відбувається детоксикація шкідливих речовин у рослині ?
8. Які застосовують показники, якщо як тест-об’єкти для фітоіндикації використовують дерева?
9. Які структурно автономні об’єкти і органи рослин використовуються у біотестуванні?
10. Які показники необхідно визначити при оцінці стану довкілля за ростом і продуктивністю деревних рослин?
11. Скільки типів чутливості біоіндикаторів можна виділити в залежності від часу розвитку біоіндикаційних реакцій?

2.3. Рівні фітоіндикації

Фітоіндикацію здійснюють на основі дослідження змін біологічних систем на наступних рівнях організації: біохімічному і фізіологічному, анатомічному, цитологічному, генетичному, біоритмічному, флористичному, ценотичному, біогеоценотичному, ландшафтному. Дослідження на цих рівнях, між тим, не можна строго розмежувати. На нижчих рівнях організації живої матерії переважають прямі і специфічні види біоіндикації, що пов'язані з впливом якогось певного стресора. У міру збільшення рівня організації біологічних систем зростає складність взаємодії їх внутрішніх компонентів і різноманітність взаємозв'язків зі зовнішніми факторами середовища існування, тому вищі рівні біологічних систем дозволяють здійснювати непряму біоіндикацію. У викладенні матеріалу дотримувалися широко відомої класифікації (Weinert u. a.,1988).

Біохімічні та фізіологічні методи фітоіндикації забруднення довкілля

Багато фізіологічних процесів у зелених рослин мають високу чутливістю до промислових забруднювачів. Вплив великої групи кислих (SO_2, NO_x, Cl_2, HF,

озон) і деяких інших (NH_3, CH_2O та ін.) газів, як правило, подібний , і тому він є неспецифічним.

Біохімічні та фізіологічні реакції протікають в організмі в дуже вузьких *діапазонах умов*. Внаслідок цього дані реакції досить чутливі до пошкоджуючої дії незначних концентрацій стресорів. До виникнення видимих пошкоджень в організмах в першу чергу змінюється *обмін речовин*. При незначному впливі стресора ця зміна має оборотний характер і в міру настання сприятливих умов обмін речовин відновлюється, так як він має здатність до саморегуляції, дана реакція характеризується як відхилення від норми. Незворотні видимі зміни, наприклад відмирання тканин органів, є результатом глибокого порушення обміну речовин, що позначається як пошкодження.

Впливи антропогенного стресора, наприклад SO_2, на молекулярному і клітинному рівнях можуть протікати в такій послідовності. Клітини надземних органів поглинають SO_2, що призводить до її розчинення в міжфібрилярній воді клітинних оболонок і утворення іонів SO_3^{2-} або HSO^{3-}. Ці іони руйнують зовнішню клітинну мембрану. Проникнення сірчистої кислоти в протопласт клітини створює додаткове навантаження на її буферну ємність, яка захищає цитоплазму від зрушень pH.

Оскільки активність ферментів проявляється при певних pH середовища, зменшення буферної ємності цитоплазми призводить до значних ***порушень в діяльності ферментів***, а отже, до патологічної зміни ходу реакцій, які вони каталізують. Регуляція функціонування ферментів здійснюється також присутністю неорганічних іонів і низькомолекулярних речовин, вміст яких зсувається від оптимуму в результаті пошкодження мембран. У кінцевому підсумку все це веде до порушення обміну речовин клітини. Внаслідок таких патологій змінюються функції структурних компонентів клітини, і настає нестабільність її життєдіяльності, що призводить до передчасного старіння, загибелі клітин, хлорозу листків і некрозу органів.

Токсичний вміст SO_2 в атмосфері також змінює хімічний склад ґрунту, що діє як додаткове стресове навантаження на процес поглинання поживних елементів і води з ґрунтового розчину клітинами коренів. В сукупності такі негативні зміни обміну речовин і клітинних структур надземних органів і кореневої системи викликають зниження швидкості *росту,* а також кількості та якості наростаючої деревини і продуктів життєдіяльності рослини.

Оскільки обмін речовин пов'язаний з макромолекулярними і субклітинними структурами і регулюється діяльністю ферментів, то як біоіндикаційні показники на цьому рівні доцільно визначати активність і

кількість найбільш чутливих *ферментів.* Найчастіше використовують наступні ферменти: пероксидаза, глюкозо-6-фосфатдегідрогеназа, амінотрансфераза.

Пероксидази відносяться до класу ферментів оксидоредуктаз, що окислюють пероксид водню (H_2O_2), розкладаючи його з утворенням води. Вони беруть участь в окисленні поліфенолів, амінів і жирних кислот, грають важливу роль у диханні і чутливо реагують на будь-який вплив на організм. Будучи свого роду «аварійними ферментами», вони відіграють велику роль у забезпеченні захисних реакцій організму. Простежується кореляція між впливом стресора, посиленням утворення токсичних пероксидів, зокрема H_2O_2, та підвищенням активності пероксидази. Активність пероксидази зростає при дії газодимового стресу, наприклад у рослин, що ростуть поблизу алюмінієвих заводів, де під впливом фторидів і сірчистого газу зростає активність пероксидаз у листках і хвої. Підвищення активності пероксидази одночасно слугує показником старіння рослин. Визначення активності пероксидази дозволяє виявити порушення в обміні речовин, що виникають за дії газодимових викидів, фтористих сполук, викидів автотранспорту, що містять SO_2 або O_3 (Коршиков та ін., 1991, Долгова, 2004 та ін.). Вказується на можливість використання зміни активності поліфенолоксидази у листках як показник негативної дії забруднення діоксидом сірки, аміаком (Рачковская, Ким, 1980)

Ключовим ферментом дихального окислення глюкози через пентозофосфатний шлях (гексозомонофосфатний шунт), в якому беруть участь п’ятивуглецеві цукри є *глюкозо-6-фосфатдегідрогеназа.* Основне призначення пентозофосфатного шляху окислення глюкози полягає в активізації пластичного обміну речовин клітин, пов'язаного з активізацією синтезу нуклеїнових кислот, відновлювальних еквівалентів NADPH, ліпідних компонентів мембран, фенольних сполук, клітинних оболонок. У нормальних умовах у рослин в якості початкового етапу дихання переважає гліколіз. Активність ферменту глюкозо-6-фосфатдегідрогенази підвищується у відповідь на дію двоокису сірки, озону, фтористого водню, вірусних інфекцій, борошнистої роси, поранень і інших хвороб.

Антропогенні стресори впливають на *ферменти амінокислотного обміну.* Під дією стресорів знижується синтез білка і посилюється його розпад, вивільняються амінокислоти, в клітинах зменшується вміст білка. Зростає активність ферментів, що відповідають за трансамінування або дезамінування амінокислот. Наприклад, *амінотрансферази з*дійснюють перенесення α-аміногруп амінокислот на α-кетокислоти шляхом трансамінування

(перенесення α-аміногрупи від однієї кислоти на іншу). Індикатором стресу є збільшення кількості в клітинах вільної імінокислоти *проліну*, яка крім участі в синтезі білків, у вільному стані виконує ряд захисних функцій. Пролін накопичується при водному стресі. Його кількість у листках рослин залежить від рівня забруднення довкілля.

Стресори викликають ряд інших змін обміну речовин рослинних організмів, які використовують для визначення їх реакції на несприятливі чинники, в особливості на забруднення повітря. Під дією сірчистого газу відбувається зміна ***метаболізму вуглеводів***, що веде до підвищення вмісту в клітинах розчинних цукрів: глюкози і фруктози (це ж спостерігається при екстремально низьких температурах). Вміст олігоцукрів сахарози і рафінози в листках тису і в корі гіркокаштана звичайного зазнає помітних змін стосовно контролю. Проте, тривалий вплив високих концентрацій забруднювачів атмосферного повітря викликає зниження концентрацій основних вуглеводів у рослинних тканинах.

Забруднюючі речовини призводять до зміни складу ***жирних кислот*** омилюємих ліпідів. За дії стресорів підвищується вміст *лінолевої й ліноленової кислот*, які відносяться до поліненасичених жирних кислот з двома подвійними зв'язками, що мають у порівнянні з насиченими жирними кислотами нижчу температуру плавлення. Більшою мірою це спостерігається під впливом вихлопних газів автотранспорту. Кислі гази викликають зниження синтезу галактоліпідів, зменшують вміст пальмітинової кислоти і моноальдегіду.

Стрес викликає зниження виділення рослинами фітонцидів.

У процесах старіння і в стресових реакціях організмів беруть участь ***фітогормони***. Кислі гази підвищують вміст етилену, етану і абсцизової кислоти. *Абсцизовій кислоті* належить важлива роль у механізмах стресу, а також старіння. Вона виробляється за посухи, надлишку солей, бору, при нестачі мінеральних речовин. Інший фітогормон – *етилен* в найбільшій мірі синтезується в старіючих листках і дозріваючих плодах, він також продукується у великій кількості при стресі. Наприклад, сірчистий газ підсилює інтенсивність виділення етилену хвоєю сосен і модрин. Утворення *інгібіторів росту* в клітинах сприяє прояву механізмів адаптації до забруднення.

Внутрішньоклітинні структури також пошкоджуються промисловими газами у чутливих до них рослин. Так, O_3 впливає спочатку на *хлоропласти*, а потім на *тонопласт* і *плазмалему*. При цьому, наприклад, у квасолі в палісадній паренхімі листка спочатку з'являється гранулювання цитоплазми і підвищення її щільності, а потім агрегація уламків хлоропластів. Подібний ефект

викликають і інші окиснювачі, наприклад пероксіацетилнітрат. Такі пошкодження посилюються присутністю важких металів кадмію, цинку, нікелю навіть у концентраціях, які не впливають на ріст рослин

За дії багатьох забруднювачів спостерігається ***пригнічення фотосинтезу***, який дуже чутливий до зміни факторів довкілля. Так, у дерев, що ростуть у місті, рівень цього процесу може бути в два рази нижчим, ніж у дерев у лісі. Зниження інтенсивності фотосинтезу під впливом полютантів пов'язано з цілою низкою змін фотосинтетичної системи. Зменшується дифузія CO_2 і H_2O через продихи, а також розчинність CO_2 у підкисленому SO_2 розчині клітинного соку. *Виникає конкуренція між* SO_2 і CO_2 за транспорт в хлоропласти через більшу розчинність у воді SO_2. Змінюються реакції фосфорилування при синтезі АТФ з АДФ і фосфат-іона; низькі концентрації сірки стимулюють цей процес, високі – інгібують.

Кислі гази викликають трифазну зміну фотосинтезу (I фаза – слабке пригнічення; II фаза – активація; III фаза – стійке і глибоке пригнічення). У польових умовах зазвичай фіксується тільки пригнічення фотосинтезу. На підставі цього явища (пригнічення фотосинтезу) був розроблений метод визначення фізіологічних ГДК допустимого забруднення повітря для рослинності і визначені нормативи ГДК для рослин за одинадцятьма інгредієнтам. Так як фотосинтез у продуцентів є одним з найбільш чутливих фізіологічних процесів до дії будь-яких екологічних та антропогенних факторів, то ступінь його пригнічення, гальмування фотолізу води, транспорта електронів від фотосистеми II до фотосистеми I застосовують як метод біоіндикації чистоти повітря.

В якості біоіндикаторної ознаки використовували зниження вмісту зелених пігментів у пластидах. Хлорофіл може перетворюватися на феофітин, при цьому спектральні характеристики зсуваються. Відбуваються зміни в хлоропластах, зменшується відношення хлорофілів *a*/*b,* що може бути використано як індикатор ступеня забруднення повітря. Проте не можливо здійснити чітку біоіндикацію, оскільки ці процеси не є специфічними і відбуваються за дії різних стресорів. Так, спостерігається подібна дія оксиду сірки і фотоокиснювачів.

Кислі гази викликають спочатку активацію, а потім пригнічення ***дихання*** листя рослин і зміну хімізму дихання. Активація дихання викликана окисненням продуктів фотосинтезу, так як майже всі гази є сильними окиснювачами, а пригнічення дихання викликано повною витратою дихального субстрату клітини і припиненням фотосинтезу. Разом з тим сучасні методи

визначення дихання не дозволяють використовувати ці порушення для біоіндикації забруднення повітря. Порушення фотосинтезу і дихання рослин навіть на перших етапах дії газів викликає зміни їх хімізму. Багато промислових газів спричинюють зміни метаболізму вуглецю при фотосинтезі: збільшення синтезу C_4-продуктів, аланінний ефект, зниження синтезу дицукрів і полімерних вуглеводів (сахароза, крохмаль). Відбувається деструкція білків, яка веде до накопичення вільних амінокислот і органічних кислот.

Промислові забруднювачі викликають руйнування продихових клітин, що призводить до ***порушення водного режиму***. Відбувається «параліч» замикальних клітин, котрі втрачають здатність регулювати ширину продихової щілини, що посилює транспірацію. Знижується загальне обводнення тканин і вміст вільної води. Забруднюючі речовини впливають *на кутикулярний і воскової шар* епідерми, підвищують кутикулярну транспірацію органів. У зв'язку з окислювальним руйнуванням біомембран клітин рослин газами листя і хвоя швидше втрачають вільну воду. Тому в промислових регіонах і великих містах з високим рівнем забруднення повітря листя і хвоя рослин мають меншу обводненість (відсоток вмісту води у свіжих листках). Разом з тим, сам показник обводнення листя і хвої недостатньо стабільний і надійний як фітоіндикатор у природних умовах, так як залежить від багатьох екологічних умов.

Отже, забруднення повітря викликає цілий ряд негативних змін життєдіяльності клітин, пов’язаних зі старінням. До них належать такі порушення: посилюється гідролітична діяльності ферментів і ослаблюються процеси синтезу речовин; знижується інтенсивність обміну речовин, що пов'язано з підвищенням в'язкості цитозоля; пригнічується інтенсивність фотосинтезу і дихання, що призводить до ослаблення синтезу АТФ; поглинання мінеральних елементів; зменшується обводнення тканин; підвищується осмотичний тиск у клітинах; гальмуються ростові процеси. Як правило, збільшується кислотність клітинного соку. В кірці лип кислотність сильно корелює з вмістом в ній сірки.

Газостійкість рослин залежить від швидкості поглинання ними токсикантів. Пошкодження рослин прямопропорційно швидкості поглинання і накопичення ними летальної дози забруднюючих речовин. У діапазоні низьких концентрацій оксидів азоту і сірки підвищення їх вмісту до певного рівня активізує біохімічні процеси, а подальше збільшення – пригнічує.

В цілому, проведення біоіндикаціних досліджень на фізіолого-біохімічному рівні досліджень є передумовою здійснення ранньої діагностики

екологічного стану урбопромислових комплексів, коли видимі пошкодження тест-організмів ще не виявляються (Rabe, Kreeb,1979). Це дозволяє своєчасно визначати негативні наслідки та вживати необхідні заходи щодо попередження настання криз.

Біофізичні методи фітоіндикації забруднення атмосферного повітря

Деякі дослідники встановили, що кислі гази викликають зниження pH, Eh і rH, а лужні гази (NH_3) збільшення їх (Ніколаєвський, 1979; Сергейчик, 1984; Гетко, 1989). Використання твердих голчастих електродів дозволяє проводити масові польові дослідження окисно-відновного потенціалу тканин рослин під впливом промислових забруднювачів. Встановлено, що електроопір камбію деревних порід і тканин хвої, біопотенціали і відповідна біоелектрична реакція листя рослин на імпульсне засвічення можуть характеризувати рівні забруднення повітря і стан рослин. Під впливом промислових емісій у деревних рослин збільшується електроопір тканин з 80–100 мОм до 200–500 у ослаблених і більше 500 мОм у відмираючих дерев. Отже, цей метод дозволяє оцінити як довготривалі рівні забруднення повітря, так і стан лісових екосистем (Гранатовска, Раман, 1986).

Так як більшість газів – окиснювачі і проникнення їх в клітину відбувається через біомембрани, то окиснення їх полегшує екзоосмос з клітини в дистильовану воду катіонів та аніонів. Метод визначення зміни проникності клітинних мембран листя і хвої рослин за зміною електропровідності дистильованої води після 2–4 годинного перебування в ній висічок з листя досить простий і доступний для масових досліджень з біоіндикації забруднення повітря.

Швидка і уповільнена флуоресценція надійно характеризує вплив будь-яких екстремальних умов на фотосинтезуючі органи рослин і стан, продуктивність рослин. Використання цих методів у дослідженнях показало, що швидка флуоресценція хлорофілу збільшується або зменшується залежно від чутливості виду, токсичності газу і швидкості його зв'язування. Уповільнена флуоресценція на початку дії газів активується, а потім пригнічується, як і фотосинтез. У польових умовах за допомогою фосфороскопа можна реєструвати порушення сповільненої флуоресценції і фотосинтезу, і після методичного доопрацювання вийти на визначення рівнів забруднення повітря і стану рослин.

Змінюється *флуоресценція хлоропластів* за рахунок пригнічення транспорту електронів (флуоресценція – спонтанне випромінювання світла

хлоропластами в реакціях фотосинтезу). Як показник використовують наступне співвідношення: Fm/Fo, де Fm – вихід флуоресценції за закритих реакційних центрах фотосинтезу; Fo – вихід флуоресценції за відткритих реакційних центрах фотосинтезу. Розвиток флуоресценції хлоропластів, що модулюється перемиканням світлових і темнових фаз, загальмовується під дією токсикантів. Чим ближче до джерела забруднення, тим це співвідношення буде меншим, так як зменшується квантова активність фотосинтезу за рахунок пригнічення транспорту електронів (Моніторинг…, 1986).

Пошкодження рослин прямопропорційно швидкості поглинання і накопичення ними летальної дози забруднюючих речовин. У діапазоні низьких концентрацій оксидів азоту і сірки підвищення їх вмісту до певного рівня активізує біохімічні процеси, а подальше збільшення – пригнічує.

Анатомо-цитологічні методи фітоіндикації

Тривалий або постійний вплив промислових газів на рослинність викликає серйозну зміну анатомічної будови листя і хвої рослин зі ***збільшенням ксерофітизації***. У містах і промислових центрах у рослин більш дрібне листя і дещо товстіше на поперечному зрізі, з дрібнішими клітинами. Воно має меншу товщину верхнього епідермісу, кутикули, меншу товщину і кількість шарів палісадної тканини, більше продихів на 1 мм^2 поверхні. Під впливом промислових газів зменшується апертура продихів протягом дня. Ступінь описаних порушень в анатомічній будові асиміляційних органів залежить від концентрації і токсичності газів, а також тривалості їх дії і чутливості видів. Всі ці показники використовуються для індикації забруднення повітря. Проте у газостійких рослин відзначена більш товста кутикула, є восковий наліт, опушення на листках, більш щільне складання клітин асиміляційної паренхіми і зниження газообміну. Це необхідно враховувати під час проведення фіто-індикаційних досліджень.

Під дією сірчистого газу збільшуються розміри клітин смоляних ходів хвої у сосен, зменшуються розміри клітин епідерми, руйнується клітинна оболонка.

Характерно, що забруднення промисловими викидами викликає потовщення перидерми у однорічних пагонів *Fraxinus excelcior* (Юсипіва, 2005), видів роду *Acer* (Голікова, 2011), *Caragana arborescens* за дії NO_2 та SO_2 (Юсипіва, Грицай, 2014), а також під впливом комплексу полютантів у *Quercus rubra* (Бессонова, Криворучко, 2017) (рис. 2). Такі ж зміни товщини передерми в умовах аерогенного забруднення атмосфери виявлені і у однорічних пагонів

ряду інших рослин, що вказує на можливість використання цього показника як тест-параметра.

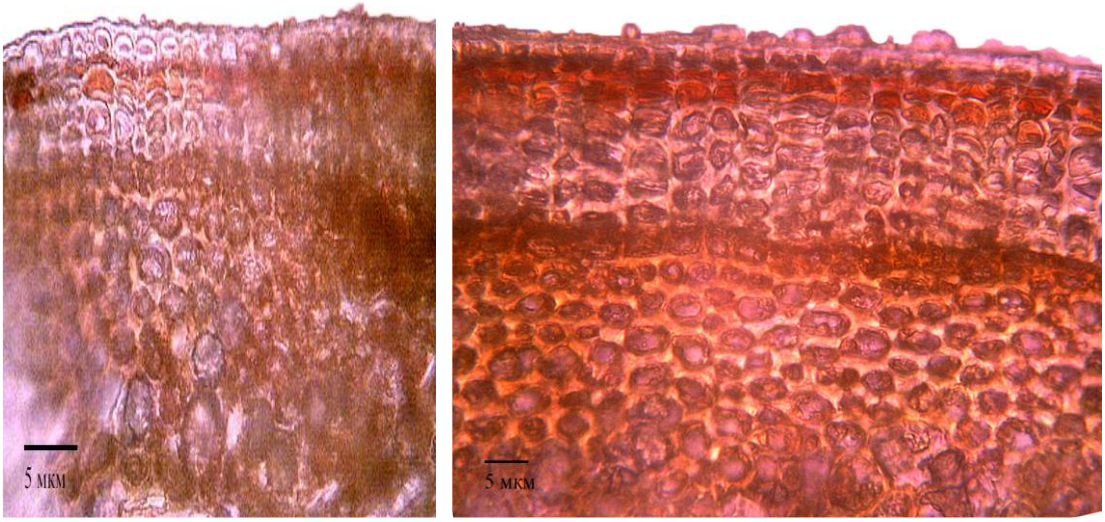


Рис. 2. Вторинна покривна тканина (перидерма) та коленхіма однорічних пагонів *Quercus rubra*. 1 – ботанічний сад. 2 – Комплексне забруднення атмосферного повітря (Бессонова, Криворучко, 2017)

Однією з перших ознак клітинних пошкоджень є набрякання і деформація тилакоїдів – основних структур мембранної фотосинтезуючої системи хлоропластів. Спочатку хлоропласти набувають неправильної форми, їх мембрани стають тоншими, потім відбувається деградація структурних елементів. Спостерігається розширення хлоропластів у листках деревних порід. Можуть виникати кристалічні включення в хлоропластах, що спостерігається в клітинах квасолі під дією хлоридів. ***Наявність ультраструктурних порушень*** відзначається навіть за відсутності візуальних симптомів пошкоджень листків.

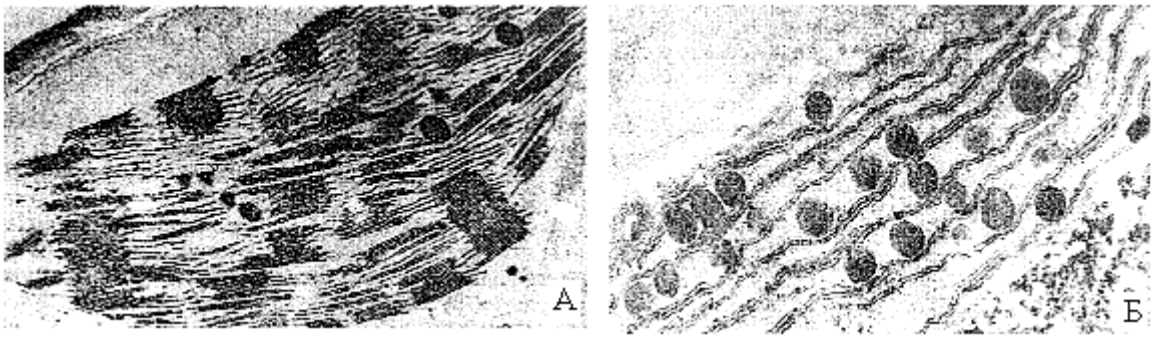


Рис. 3. Ультраструктура хлоропластів бузку звичайного: А – контроль; Б – аеротехногенне забруднення повітря NO_2 і SO_2 (Сергейчик та ін., 1998)

Хлоропласти непошкоджених листків мають щільно спакований гранулярно-сітчастий комплекс, щільний і дрібнозернистий матрикс,

малочисельні дрібні пластоглобули і крупні крохмальні зерна. У хлоропластах рослин за дії SO_2 і NO_2 порушується гранулярна структура, у них більш набряклі мембрани, матрикс їхній більш крупнозернистий, збільшуються кількість і розміри пластоглобул (рис. 3), що є індикаторною ознакою сильного забруднення повітря.

Відбувається *блокування плазмодесм*, які з'єднують протопласти сусідніх клітин. Розширюються цистерни ендоплазматичного ретикулума. Відзначено виникнення гранульованості в цитоплазмі. Спостерігаються зміни характеру плазмолізу. На фонових об'єктах переважає опуклій плазмоліз, в забруднених районах – довготривалий угнутий. Ці порушення використовують як біоіндикаторні ознаки у вищих рослин за дії полютантів.

Забруднюючі речовини діють на проникність мембран, порушуючи потоки іонів через них. В якості індикаторного показника використовується *проникність мембран для катіонів калію* – K^+ в листках і пагонах. Для визначення проникності мембран 100 г подрібненого листя або пагонів поміщають в 100 мл деіонізованої води і спеціальними іономірами вимірюють концентрацію K^+, що виходять з листків і пагонів. Чим ближче до джерела забруднення, тим вище вихід K^+, тобто проникність мембран для катіонів калію збільшується. Змінюється також проникність мембран для *катіонів водню – H^+*. Для виявлення цієї зміни один грам подрібненого листя поміщають у дистильовану воду і визначають вихід H^+ з наважки через 1,2,3,4 хв. У більш пошкоджених дерев збільшується проникність мембран для катіонів водню.

Генетичні методи фітоіндикації забруднення середовища

Важливим результатом багаторічного періоду досліджень впливу хімічних забруднювачів на рослини був доказ генетичної природи їх газостійкості (Николаевский, 1989]. Разом з тим, до сих пір генетики ще недостатньо цікавляться генетичними наслідками впливу атмосферних забруднювачів.

Описано більше сотні тест-методів для виявлення генотоксичності, що проводяться на біологічних об’єктах різних таксономічних рангів – від бактеріофагів до ссавців. Регулярно застосовуються менш ніж 20 з них, а деякі доступні тільки спеціалізованим лабораторіям. Ці методи відрізняються за чутливістю та можливістю ектраполювати отримані дані з одних тест-об’єктів на інші, в тому числі на людину. Зручними тест-об’єктами для генетичних досліджень є вищі рослини, при цьому широко застосовуються ***цитогенетичні методи***. Вони мають такі переваги:

1) їх результати легко екстраполюються на людину;

2) безпосередньо вивчаються хромосомні мутації, які можуть бути і опосередкованим показником у відношенні індукції генетичних мутацій;

3) можна спостерігати весь геном разом.

Рослинні тест-об’єкти дають змогу дослідити цито- і генотоксичність води і ґрунту, поєднати швидку зміну поколінь із великою кількістю нащадків та універсальністю коду. Перевагою є й те, що ці методи виконуються порівняно швидко і з відносно скромними витратами. Анафазно-телофазний аналіз кількості і типів хромосом вважається найбільш достовірним і зручним (рис. 4).

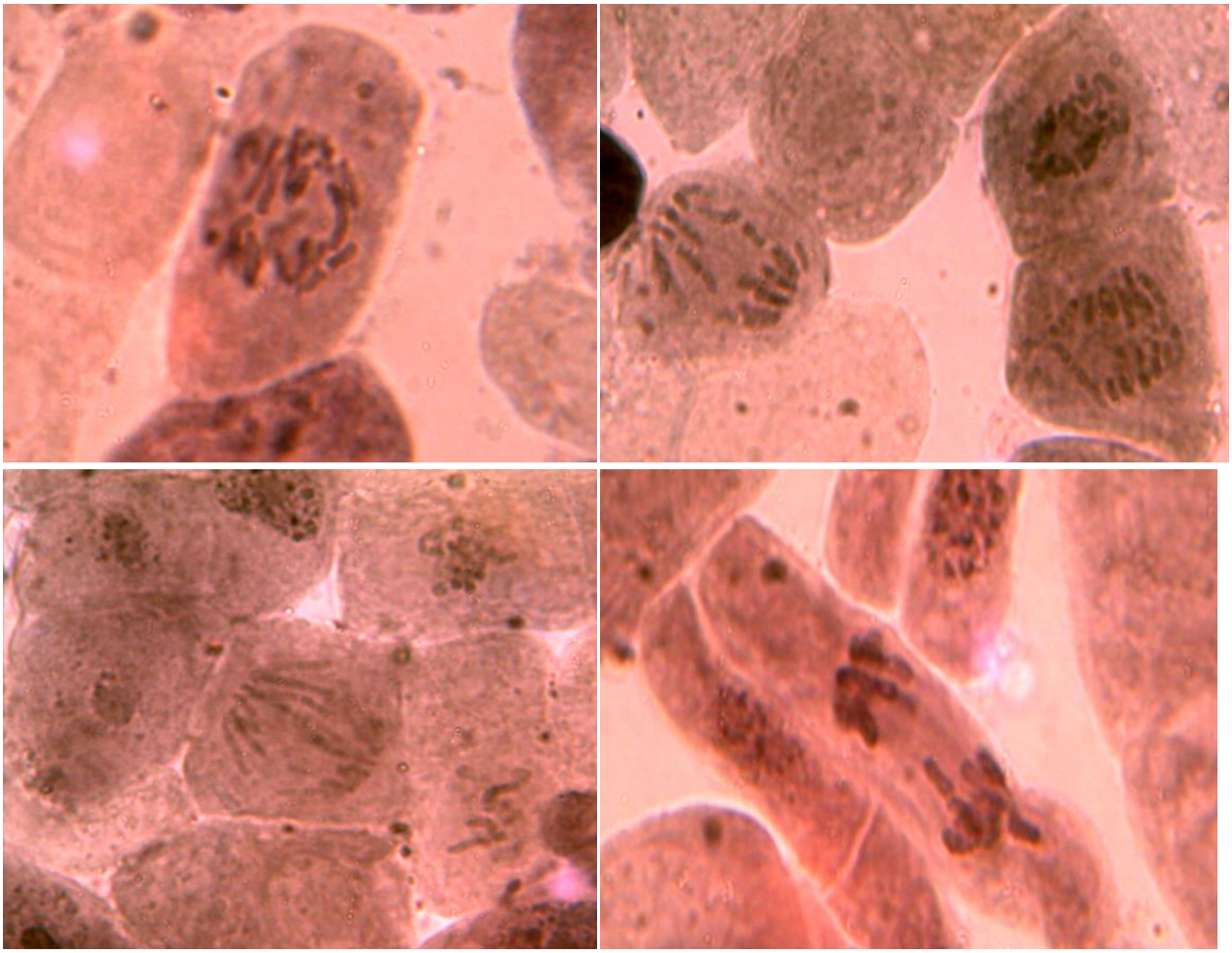


Рис. 4. Хромосомні аберації в клітинах *Vicia faba*. Тест на забруднення ґрунту поблизу промислової зони (Бессонова, 2015)

Під впливом атмосферних забруднювачів падає мітотична активність, збільшується частота хромосомних аберацій, зростає відсоток хроматидних мостів, з'являються багатополюсні мітози (рис. 4). Показано, що зміни активності проліферації клітин, частоти і спектра хромосомних аберацій меристем і зародкових листочків деревних рослин можуть бути використані як

критерії забруднення середовища газами і важкими металами. Виявлені найбільш чутливі види рослин для цитогенетичної біоіндикації (береза повисла, бузок звичайний).

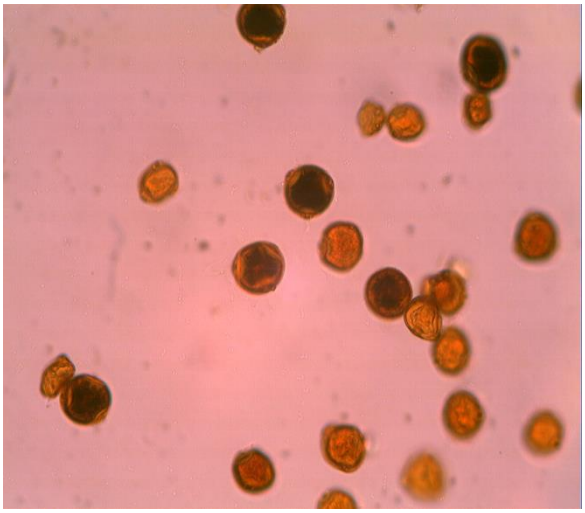
Для моніторингу забруднення довкілля мутагенами серед рослинних тестових систем часто використовується ***Allium*-тест**, завдяки якому можна швидко здійснити тестування біологічно небезпечних речовин. Встановлено, що коренева система цибулі (*Allium cepa* L.) є високочутливою до токсичної дії забруднюючих речовин ґрунту. Для цитогенетичного скринінгу цей тест-об'єкт є дуже зручним, оскільки має великі розміри клітин, невелику кількість хромосом (n=8) та чітку їхню морфологію.

Уповільнення росту коренів цибулин *Allium cepa* та їх морфологічні зміни, а також наявність хромосомних аберацій, визначених в клітинах меристеми кореневого апекса, свідчать, що тестовані сполуки є потенційно токсичними й мутагенними. Використання даної тестової системи показує, що у дії на макроскопічному та мікроскопічному рівнях відзначається чітка кореляція. Однак макроскопічний ефект (гальмування росту коренів) є більш чутливим показником. Мікроскопічні дослідження дозволяють визначити аберації хромосом та дефекти поділу клітин, що надає додаткові відомості відносно ступеня шкідливої дії досліджуваної речовини або її потенційної мутагенності. Завдяки *Allium*-тесту можна визначити навіть такі потенційно небезпечні речовини, які виявляють свою генотоксичну дію опосередковано внаслідок виникнення небезпечних метаболітів.

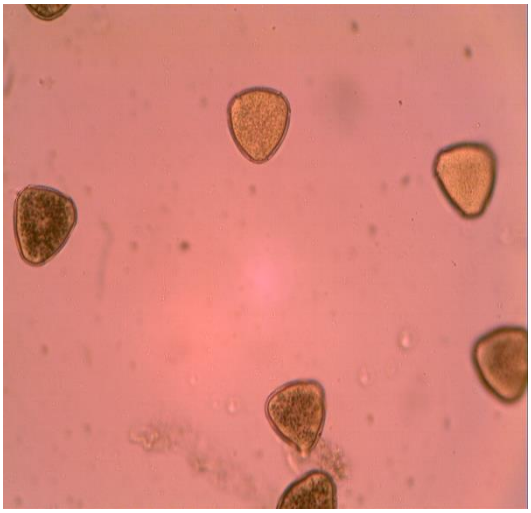
Для більшості рослинних тестів, включаючи й *Allium*-тест, не властиві негативні артефакти. Отже, тестовані речовини, які при обстежені зі застосуванням *Allium*-тесту показують негативні результати, вважаються надійно не мутагенними. Дані, які отримані зі застосуванням *Allium*-тесту, можуть бути перенесені на різноманітні біологічні об'єкти, в тому числі й на організм людини. *Allium*-тест використовується в широких межах значень pH тестуємих розчинів (3,5–11,0) без якої-небудь явної дії на процеси росту кореня. Тому pH корекція не є необхідною при тестувані хімічних розчинів та водних зразків з помірно кислими або лужними значеннями pH. За проведення класичного *Allium*-теста рекомендується для дослідів використовувати додаткові корені цибулин через те, що вони в основному одного віку й розміру, а це зручно для статистистичної обробки. У скринінгу цитотоксичності й потенційної мутагенності застосовують корінці проростків цибулі, що зумовлено їх більшою чутливістю до забруднювачів ґрунту. Така зміна *Allium*-тесту зробила його зручнішим і дешевшим для виконання досліджень. Клітини

апікальної меристеми корінців проростків діляться інтенсивніше і більш синхронізовано, що є ще однією перевагою порівняно із використанням коренів цибулин. Біотестування забруднення ґрунту і води за допомогою *Allium*-тесту використовували ряд дослідників (Чихачев, 1990).

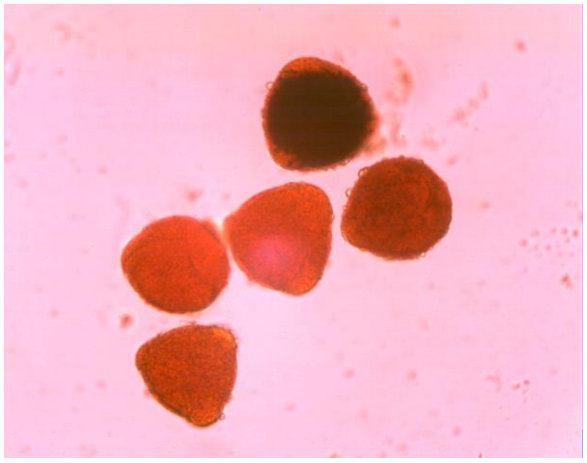
Існує низка вітчизняних і закордонних публікацій, які свідчать про можливість використання ***паліноіндикації*** як елементу системи моніторингу довкілля. Тестом на забруднення атмосферного повітря є стерильність пилку (рис. 5).



Береза повисла



Робінія звичайна



Абрикос звичайний

Гіркокаштан звичайний

Рис. 5. Пилок дерев в урботехногенних умовах зростання (не забарвлені пилкові зерна – стерильні) (Бессонова та ін., 2013)

Стерильність – неспроможність або знижена здатність організму формувати нормальні гамети, розмножуватися статевим шляхом. Відомо, що *стерильність* (нежиттєздатність) пилкових зерен викликається

забруднювачами навколишнього середовища. Внаслідок їх дії на рослини знижується *фертильність* пилку (від лат. *фертиліс* – родючий), що негативно може вплинути на життєстійкість всієї популяції рослин.

Спостерігається залежність між рівнем забруднення атмосферного повітря і зниженням фертильності пилку. Існують шкали визначення якості середовища за рівнем стерильності пилку рослин. За дії на рослини промислових полютантів виявляється також морфологічна різноякісність пілку, значне варіювання його розмірів, що пояснюється порушенням процесів росту і поділу при утворенні первинних клітин археоспорію, а також при утворенні тетрад мікроспор.

Біоіндикація за морфологічними ознаками рослин

Найчастіше методи біоіндикіції, що застосовують на практиці, визначають морфологічні зміни вищих рослин. Для ряду стресових чинників підібрані морфологічні індикатори, за допомогою яких здійснюють як коротко-, так і довгострокову індикацію за різної напруженості дії забруднювачів (низькі і високі дози). Головна увага приділяється стандартизації тест-матеріала і умов його використання. У ряді країн морфологічні індикатори застосовуються в національній системі моніторингу. За допомогою методів біоіндикації, що засновані на морфології рослин, отримана більша частина картосхем антропогенного впливу (Weinert u.a., 1988).

Зміни забарвлення органів рослин. Макроскопічні зміни, які пов'язані зі змінами забарвлення листя, являють собою в більшості випадків неспецифічну реакцію на різні стресори (часто перші стадії некрозів мають схожість з морозними ушкодженнями, а також явище сріблястого забарвлення поверхні листя). Зміни кольору можна визначати і кількісно за спеціальними таблицями.

Надлишок тих чи інших елементів у природному середовищу може змінювати забарвлення листя, квіток і плодів, а також викликати ряд інших макроскопічних змін органів. Забарвлення листя, як вже відмічалося, найчастіше представляє собою неспецифічну реакцію на дію стресорів і може набувати наступний характер змін.

Хлороз – бліде забарвлення листя між жилками, іноді зворотне у молодого листя. Хлороз листя виникає внаслідок руйнування хлорофілу за дії кислих газів. Він може бути викликаний надлишком у ґрунті алюмінію, міді, цинку. Проте хлороз може бути наслідком нестачі азоту, заліза, марганцю в ґрунті.

Почервоніння – накопичення антоціану у вигляді плям, наприклад на листках смородини, гортензії під дією SO_2.

Побронзовіння або побуріння – у листяних дерев є початковою стадію важких ушкоджень, пов'язаних з відмиранням тканин. У хвойних така зміна забарвлення може слугувати симптомом для далекої розвідки зон димових ушкоджень.

Зміна забарвлення, при якій листки набувають прозорість, як ніби вони просочені водою, подібну до ушкодження морозом, слугує першою ознакою відмирання тканин. Цьому передує також поява сріблястих плям на поверхні.

Як відмічалося, під впливом деяких газів може змінюватися забарвлення генеративних органів і листя (гесперіс жіночий, барбарис звичайний), ослаблення осіннього забарвлення листя перед листопадом.

Зустрічається велике різноманіття симптомів пошкоджень органів рослин забруднювачами довкілля, що залежить від виду рослин, шкідливих речовин і умов та тривалості їх впливу.

Некроз – відмирання обмежених ділянок тканини, яке часто набуває специфічний вигляд під дією різних стресорів (рис. 7). Некроз відносяться до важливих симптомів пошкоджень при біоіндикації.

Під час розвитку некрозів на листках спочатку відбуваються зміни в забарвленні. Так, під впливом SO_2 зазвичай з'являються брудно-зелені плями, O_3 – металево блискучі, пероксіацетилнітрату – як би просочені водою плями, хлоридів – хлорози.

Коли клітини гинуть, пошкоджені ділянки осідають, висихають і завдяки утворенню дубильних речовин можуть набувати бурого кольору (часто у дерев) або через декілька днів вицвітати і ставати білуватими (гладіолуси, тюльпани, цибуля, зернові культури та інші однодольні). Краї некротичних плям часто темні, особливо у дводольних. У місці некрозу пізніше можуть виникати розриви, переважно на соковитому ніжному листі – у коренеплодів, салату. які схожі на пошкодження градом або виїдання. Некрози можуть також вражати цілу бруньку (при радіоактивному опроміненні).

Кількісна оцінка некрозів найчастіше відбувається шляхом визначення відсоткової частки пошкодженої листкової поверхні, для чого можуть бути використані спеціальні таблиці. Розрізняють крапкові і плямисті некрози, що викликані відмиранням тканин листкової пластинки у вигляді крапок або плям, наприклад, після впливу озону на тютюн сорту Bel W3, кропиву (*Urtica urens*) і бегонію (*Begonia semperflorens).*

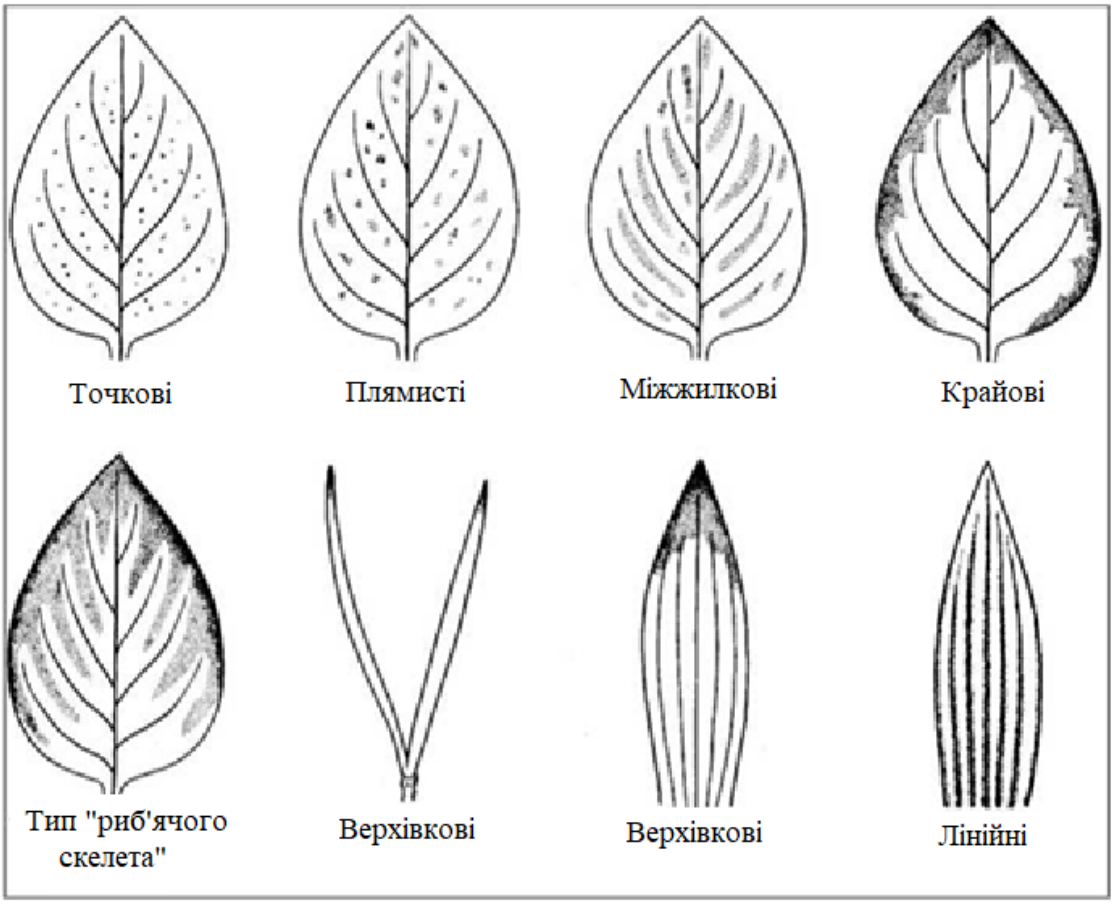


Рис. 6. Типи некрозів на листках дводольних, однодольних і хвойних рослин (за Weinert u. a., 1988.)

Міжжилкові некрози характеризуються відмиранням листової пластинки між бічними жилками першого порядку часто при впливі SO_2.

Крайові некрози виникають зокрема на листках у лип, пошкоджених NaCl , який застосовується для танення льоду. Поєднання міжжилкових і крайових некрозів викликає рисунок типу «риб'ячого скелету» (рис. 6, 7).

Верхівкові некрози характерні для однодольних і дводольних рослин і являють собою темно-бурі, різко обмежені некрози кінчиків хвої у сосни і ялівця після впливу SO_2, або знебарвлені білі некрози верхівок листків у гладіолуса (сорт '*Snow Princess'*) під впливом HF. Некрози оплодня виникають у плодів зерняткових, особливо поблизу квіток**,** після впливу SO_2

Крім безпосередньої дії стресових факторів на клітини і тканини листка, вони також впливають на наявність або відсутність певних хвороб рослин. Сірка відома як ефективний фунгіцид, тому навіть при малих концентраціях SO_2, які викликають тільки слабкі пошкодження рослин, розвиток багатьох хвороб знижується.

Верхівковий і крайовий некрози | Плямистий некроз

Крайовий некроз | Міжжилковий хлороз

Рис. 7. Типи некрозів листків деревних рослин (Бессонова, 2014)

Спостерігали, що іржастий гриб (*Crontarium ribicola*) на хвої сосні Веймутовій майже повністю зникає у внутрішній зоні з високою концентрацією SO_2, наприклад поблизу Садбері - Онтаріо, Канада (за Меннинг, Федер, 1985). Звичайне захворювання декількох видів клена – смолиста плямистість, яка утворює чіткі рельєфні блискучі чорні плями діаметром до 2 см на верхній поверхні листка. Кожна пляма представляє строму гриба *Rhystima acerinum* (Pers.) Fried. При середньорічній концентрації SO_2 <25 мг/см^3 на клені несправжньоплатановому (*Acer pseudoplatanus* L.) в районі Ліверпуля (Великобританія) спостерігаються плями на всіх листках, багато плям на кожному листку, а при високій концентрації SO_2> 85 мг/см^3 плямистості немає,

листя чисте (Мэннинг, Федер, 1988). Аналогічна смолиста плямистість зустрічається в деякі роки на листі клена гостролистого, у вуличних насадженнях промислового району м. Дніпра.

Передчасне в'янення спостерігається в теплицях, де під дією етилену не розкриваються квітки гвоздики і в'януть пелюстки орхідей; зворотно в'януть листки малини при впливі SO_2.

Обпадання листя (дефоліація) найчастіше відбувається після появи некрозів або хлорозів. З цим явищем пов'язано зменшення тривалості життя хвої ялини, ялиці (Knabe, 1981)), вона осипається. Перелічені порушення помітно швидше проявляються у хвойних порід з великою тривалістю життя хвої (ялина), дещо повільніше у сосни. У листяних порід, які щорічно скидають в помірно-континентальному кліматі листя, ці ж порушення проявляються при відносно більшому рівні забруднення повітря (7–10 ГДК і більше). Спостерігається також передчасне обпадання листя у агруса і смородини під впливом SO_2. Передчасне обпадання листя у лип і гіркокаштана звичайного відбувається під впливом солей, які застосовуються для танення льоду. Дефоліація обумовлює зменшення асимілюючої площі листків, що призводить до скорочення біомаси, а іноді до несвоєчасного розкривання бруньок та утворення пагонів.

Зміни розмірів органів. Наслідком забруднення довкілля може бути зміна розмірів органів, їх форми, кількості та положення, зміни напрямку, форми росту і розгалуження приросту та зменшення плодючості рослин. Зміни приросту здебільшого неспецифічні, однак широко застосовуються для індикації, так як є більш чутливим параметром, ніж некрози, і дозволяють безпосередньо визначати зниження продуктивності рослин, що використовуються людиною. Вимірюють головним чином зміну радіального приросту деревних стовбурів, приросту в довжину пагонів і листя, довжину коренів, а також діаметра талому лишайників. Промислові гази в певному діапазоні концентрацій (від 1 ГДК і вище) викликають у рослин зменшення лінійного росту пагонів, кількості та розмірів асиміляційних органів на річних пагонах (деревні рослини) або на стеблах (трав'янисті рослини), зменшення площі, сирої і сухої ваги листя, однорічного пагона (ксерофітизація). Відбувається зниження віку хвої у хвойних порід, більш інтенсивно йде зниження охвоєння (кількість хвої на 1 см пагона) річних відрізків пагонів, прискорення всихання нижніх гілок у насадженні (ялина, ялиця), скорочення термінів життя дерев. У міру акумуляції забруднюючих речовин при розвитку листкової пластини спостерігається гальмування її росту, деформація листків.

На деревах, які зазнають високе техногенне навантаження, гальмується формування листкових пластинок. Їх площа менша, ніж на деревах, які зростають у більш сприятливих екологічних умовах (Дружкина, Лебедь, 2010, Бессонова, Чонгова, 2022).

Зміна показників флуктуіруючої асиметрії листків. Найбільш простий і доступний спосіб оцінки стабільності розвитку – розрахунок флуктуіруючої асиметрії білатеральних морфологічних ознак (Боголюбов, 2002). Флуктуіруюча асиметрія – один з видів білатеральної асиметрії. Вона характеризується статистично незначним відхиленням різниці величин правої і лівої частин гомологічної білатеральної симетричної ознаки при нормальному розподілі цієї різниці (Palmer, Strobeck, 1992).

Величина флуктуіруючої асиметрії білатеральних морфологічних структур листків деревних рослин широко використовується для оцінки рівня забруднення навколишнього середовища (Тиходєєв, 2013; Баякин та ін., 2012; Скляренко, 2018). В якості тест-об'єкту використовують листки таких рослин як береза повисла, клен гостролистий, тополя канадська, липа дрібнолиста та ін. Методи збирання матеріалу і оцінок описані в роботах (Palmer, Strobeck, 2003, Graham et al.2010, Kozlov, Zvereva, 2015). В них вирішується питання про рівень мінливості морфометричних параметрів листкової пластинки і прояву флуктуіруючої асиметрії.

За дії будь-яких стресових факторів середовища, які призводять до посилення онтогенетичного шуму, спостерігається порушення стабільності морфогенезу листка, і як наслідок, збільшення його асиметрії. Розроблено шкали, які допомагають оцінити ступінь відхилень морфометричних параметрів від норми. До теперішнього часу такі бальні системи оцінок вчені створили для ряду видів рослин, риб, земноводних і ссавців. Цей підхід дуже корисний для оцінки наслідків антропогенних впливів і для фонового моніторингу в природних умовах (Реймерс, 1992).

Відомо, що морфогенез листкової пластинки у дводольних рослин відбувається на основі полімеризації, олігомеризації, інтеркалярного, акро- і базипітального росту, паралельного і дивергентного способів закладання бокових елементів. У модель морфогенеза листкової пластинки дводольних деякими авторами вводиться до восьми факторів, які модулюють розвиток, підсумком чого стає морфогенетична рухомість зачатка листка, що виражається в здатності формувати в різному ступені інтегровані структури. Тому нестабільність розвитку листкової пластинки, яка видбивається у вираженості флуктуіруючої асиметрії, справедливо співвідносити виключно з інтенсивністю

техногенного впливу тільки на фоні однакових інших умов зростання (Кавелєнова, 2003). Запропонована бальна оцінка якості середовища існування живих організмів за показниками флуктуіруючої асиметрії листків вищих рослин (табл. 2).

Таблиця 2. ***Бальна система якості середовища існування живих організмів за показниками флуктуіруючої асиметрії листків вищих рослин (за Стрельцовим, 2003)***

Види	Бал				
	1	2	3	4	5
Береза повисла	<0,055	0,056–0,060	0,061–0,065	0,065–0,070	>0,070
Всі види рослин	<0,0018	0,0019–0,0089	0,0090–0,022	0,022–0,04	>0,04

Бали відповідають таким характеристикам середовища існування живих організмів: 1 – чисто; 2 – відносно чисто («норма»); 3 – забруднено («тривога»); 4 – брудно («небезпечно»); 5 – дуже брудно («шкідливо»).

Отже, використання ранньої індикації в оцінці несприятливої дії різноманітних чинників на рослинні організми доводить, що за одержаними даними щодо динаміки і величини стресових впливів на морфологічні зміни органів і тканин рослин можна доволі точно оцінити біологічні наслідки техногенного забруднення міських екосистем та запобігти незворотній їх трансформації.

Зміни форми, кількості та положення органів. Аномальна конфігурація листя відзначена, наприклад, у листяних дерев після радіоактивного опромінення. Внаслідок некрозів на окремих ділянках листків відбувається їх потворна деформація, видовження або перетягування. За дії радіоактивного опромінення, забруднюючих речовин, гормональних гербіцидів виникають викривлення пагонів або фасціація, розщеплення або зрощення окремих органів, зміни в числі частин квітки (збільшення або зменшення), з'являються напливи, нарости та інші аномалії розвитку. Спостерігаються зміни морфології лишайників у результаті зниження здатності видів-симбіонтів до утворення талому в атмосфері великих міст.

Дослідниками сформульовано і обґрунтовано методичні вказівки за правилами відбору насаджень, модельних дерев і проб з них для аналізів,

методів розрахунку показників. Так, при високих рівнях забруднення повітря морфобіометричні виміри для отримання достовірних відмінностей у варіантах дослід і контроль можна у хвойних порід проводити в 10-кратній, а у листяних порід – 20-кратній повторності, а при низьких рівнях забруднення повітря у хвойних порід у 20 і більше кратній повторності. Як модельні краще відбирати дерева 1 класу Крафта.

Феноритми і біоритми рослин у індикації стану довкілля

Біоритми є ритміко-циклічними (добові, сезонні та ін.) коливаннями інтенсивності і характеру біологічних процесів і явищ, що дають організмам можливість пристосовуватися до змін навколишнього середовища. У рослин існує тимчасова інтеграція організму, яка здійснюється системою взаємопов'язаних коливань – осциляцій, таких як фізіологічні та морфогенетичні ритми, які перетворюються в точках росту – апексах у закономірне чергування закладення листя, пазушних бруньок і міжвузлів. Ритми одного порядку входять складовою частиною в ритми іншого порядку, утворюючи ієрархію осциляцій, яку розглядають як біологічні часи. Ритм в домінуючих центрах рослин – меристемах пагонів і коренів, слугує для тимчасової синхронізації фізіологічних процесів у цілій рослині. В якості тих, що задають час і синхронізують процеси, можуть діяти багато екологічних факторів – освітленість, температура, вологість та інші, які періодично змінюються.

Антропогенні стресори впливають на динаміку сезонного розвитку рослин. У місті, як правило, настання фенологічних фаз розвитку відбувається раніше, ніж в передмістях, особливо поблизу теплотрас, де раніше тане сніг і з'являються зелені смуги молодої трав'янистої рослинності. Влітку в цих зонах швидше завершується життєвий цикл рослин, які утворюють яскраво-жовті смуги, оточені зеленим травостоєм, що ще вегетує.

У місті існує велика мозаїчність мікроумов проживання рослин, тому фенофази їх розвитку настають не одночасно. Спочатку розгортаються бруньки на деревах, що ростуть на освітленій стороні вулиць, де температура повітря на 3–5^{o}С вища, ніж на затіненій. Наприклад, у центрі міста, весняні фази розвитку рослин настають на 10–14 днів, а літні – на 6–8 днів швидше порівняно з його північними районами. На одному і тому ж дереві на гілках, розташованих біля стін і асфальту весняні фенофази відбуваються на 2–4 дні раніше, ніж в інших частинах крони.

У міських умовах спостерігається прискорення сезонного розвитку рослин, листя жовтіє і обпадає раніше, іноді вже в середині літа. Причиною цього є високі температури, забруднення ґрунту і повітря. Іноді через раннє обпадання листків передчасно розкриваються бруньки, з яких молоді пагони звичайно розвиваються навесні наступного року. У лип, гіркокаштана і у трав'янистих багаторічників спостерігається *несвоєчасне пагоноутворення*. У тополі повторне пагоноутворення забезпечує стійкість до сірчистого газу. Поряд з цим у дерев, що ростуть поблизу ліхтарів освітлення, через збільшення довжини світлового дня, відзначається більш пізнє осіннє забарвлення листя і більш пізній листопад. У міських умовах також змінюються терміни і інтенсивність цвітіння рослин. Довгоденні рослини зацвітають раніше; у короткоденних рослин цвітіння затримується. Іноді пагони на деревах не визрівають повністю до осені і обмерзають. При забрудненні повітря *порушується циркадний* (добовий) ритм роботи продихів. Також може скорочуватися тривалість життя окремих органів або всієї рослини в цілому. Вторинне цвітіння часто є наслідком порушення умов зростання і розвитку, що може бути пов'язано зі забрудненням повітря. (рис.8). Таким чином, відбувається мобілізація життєвих сил рослин на подолання наслідків несприятливих умов. Квітки яблунь при повторнорму цвітінні часто бувають махровими.

Рис. 8. Повторне цвітіння рослини *Catalpa bignonioides* у придорожному расадженні. На дереві є квітки й сформовані плоди (Бессонова, 2022)

Газостійкість рослин залежить від тривалості вегетаційного періоду і термінів цвітіння. Для стійких видів характерно: а) уповільнене розпускання бруньок; б) швидке формування листя; в) тривалий період вегетативного росту і короткий період цвітіння; г) знижена інтенсивність метаболізму. У нестійких видів спостерігається швидке проходження всіх фенологічних фаз розвитку, раннє і тривале цвітіння, висока інтенсивність обміну речовин. І.І Коршиков,

(2004) вказує, що для більшості рослин характерний незавершений, нетривалий онтогенез зі швидким переходом до сенільного періоду.

В екосистемах лук виникають біологічні форми, ритміка розвитку яких пов'язана з термінами сінокосіння. Наприклад, у видів роду дзвінець є дві форми: одна плодоносить до сінокосу, інша – після нього. Випасання худоби обумовлює більш раннє настання фаз цвітіння, зменшує число квітучих видів. Підвищення концентрації забруднюючих речовин у ґрунті зсуває фази сезонного розвитку на більш пізні строки. За характером сезонного розвитку рослин можна судити про ступінь антропогенного навантаження.

Флористичний метод фітоіндикації забруднення атмосферного повітря

У районах дії великих промислових підприємств чітко виділяються 3–5 зон рівнів забруднення повітря і дигресії насаджень. Тут за зонами можна чітко простежити зміну рівня забруднення повітря та розпаду, загибелі насаджень. Спочатку дії газів і пилу й при низьких рівнях забруднення повітря гинуть і зникають найбільш чутливі лишайники *Usnea*, *Alectoria*, *Bryopogon* (середньобагаторічна концентрація SO_2 – 3 мкг/м^3; HF –1 мкг/м^3), а потім більш стійкі лишайники і мохи (*Hypogymnia*, *Parmelia*, *Sphagnum*) – концентрація SO_2 – 3–7 мкг/м^3; HF – 1–3 мкг/м^3. Потім пошкоджуються і всихають хвойні породи (сосна, ялина) і лише при високих середньобагаторічних концентраціях газів спочатку чутливі, а потім менш чутливі листяні породи. Останні гинуть (I зона) при концентрації SO_2 і HF 3–5 і більше ГДК.

Таким чином, зміна флористичного складу рослинності, зникнення в першу чергу лишайників, підросту хвойних порід, може застосовуватися для біоіндикації забруднення повітря та стану наземних екосистем. Для цих цілей рекомендують ряд флористичних показників: індекс видового різноманіття, щільність покриття поверхні ґрунтів, індекс життєвого стану та ін.

Деякі автори наводять списки особливо чутливих видів рослин до окремих забруднювачів. Штучний посів таких чутливих видів на різних відстанях від джерела емісій і постійний морфобіометричний контроль можуть дозволити виявити рівні забруднення повітря і критичні або порогові рівні забруднення. Разом з тим, флористичні методи біоіндикації більш суб'єктивні і менш надійні, ніж інші описані вище методи.

Контрольні запитання

1. На яких рівнях організації біологічних систем здійснюють фітоіндикацію?
2. Активність і кількісні зміни яких ферментів найбільш чутливі до дії промислових газів?
3. Збільшення кількості яких жирних кислот є індикатором забруднення атмосферного повітря?
4. Які показники фотосинтеза можуть використовуватися як метод біоіндикації чистоти повітря?
5. Розкажіть про біофізичні методи фітоіндикації забруднення атмосферного повітря.
6. Які структурні елементи анатомічної будови органів рослин можуть бути використані для індикації стану довкілля?
7. Які порушення ультраструктури рослинної клітини використовують як біоіндикаторні ознаки у вищих рослин на дію полютантів?
8. В чому суть досліду, в якому як індикаторний показник забруднення довкілля використовується проникність мембран і форма плазмолізу клітин?
9. Які пошкодження ультраструктури хлоропластів є індикаторною ознакою сильного забруднення повітря?
10. Які переваги при застосуванні в якості тест-об'єктів вищих рослин мають цитогенетичні методи?
11. Які рослині тест-об'єкти найчастіше використовують для моніторингу забруднення довкілля мутагенами?
12. У чому переваги використання *Allium*-тесту у моніторингу забруднення довкілля мутагенами порівняно з іншими рослинними об'єктами?
13. Розкажіть про використання пилку рослин у фітоіндикації забруднення довкілля.
14. Які зміни забарвлення органів рослин відбуваються за дії атмосферного забруднення?
15. Охарактеризуйте некрози листя рослин як важливіші симптоми пошкоджень, що застосовують при біоіндикації забруднення довкілля.
16. Що таке флуктуіруюча асиметрія листків рослин? Як цей показник застосовують для фітоіндикації забруднення оточуючого середовища?
17. Які показники феноритмів і біоритмів рослин використовуються в індикації стану довкілля?
18. У чому суть флористичного метода фітоіндикації забруднення атмосферного повітря?

2.4. Ліхеноіндикація

В останні роки серед методів оцінки навколишнього середовища певне і достойне місце набула ***ліхеноіндикація*** – біоіндикація забруднення повітря за допомогою лишайників. Ця група організмів відрізняється високою чутливістю до зміни хімічного складу атмосферного повітря. Порівняно з аерохімічними методами ліхеноіндикація має ряд позитивних моментів:

1) це швидкий і дешевий метод картування хімічних навантажень на великих територіях;

2) метод дозволяє фіксувати стан повітряного середовища за тривалі терміни.

Разом з тим, цей метод можна використовувати тільки в тих місцях і лісових екосистемах, де є лишайники. В теперішній час вивчена чутливість великої кількості видів лишайників до ряду забруднювачів, визначена їх полеотолерантність.

Лишайники – це організми, які являють собою симбіоз гриба (мікобіонта) та водорості (фікобіонта). Ці організми традиційно відносять до нижчих рослин. Вони характеризуються вільними морфологічними типами й своєрідними фізіолого-біохімічними процесами. Лишайники відіграють істотну роль у кругообігу речовин у біогеоценозах, утворюючи в них значну біомасу. У них відсутня кутикула, тому газообмін відбувається вільно через всю поверхню талому. Вони вбирають воду, в якій концентруються забруднювачі, не мають періоду спокою, здатні рости навіть взимку; не можуть позбавлятися від пошкоджених частин, мають слабку здатність до регенерації, більш чутливі до низьких концентрацій сірчистого газу, ніж вищі рослини.

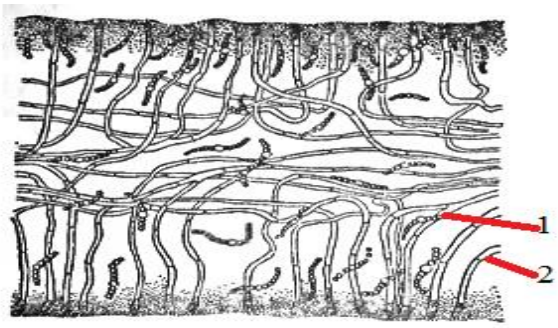


Рис. 9. Поперечний розріз гомеомірного талому

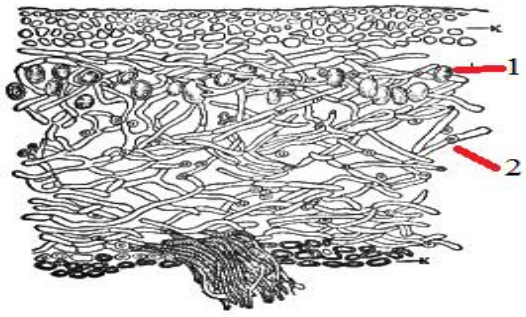


Рис. 10. Поперечний розріз гетеромірного талому

(1 – клітини водорості, 2 – гіфи гриба)

Вегетативне тіло лишайника – ***талом,*** або ***слань***, утворене переплетенням гіфів гриба і клітин водорості, останні розкидані безсистемно серед грибних гіфів за всією товщиною талому (гомеомірний талом) (рис. 9) або створюють окремий диференційований шар (гетеромірний талом) (рис. 10).

Взаємини грибного та водоростевого компонентів організму лишайника дуже складні, побудовані на паразитизмі, який сильніше проявляється у гриба. Він також використовує відмерлі клітини водорості, будучи в даному випадку сапрофітом. Фікобіонт, у свою чергу, паразитує на грибі, при цьому паразитизм помірніший. Талом лишайників сильно різниться за будовою, формою, розмірами та забарвленням. Забарвлення талому різноманітне – сіре, біле, жовто-зелене, оранжеве, коричневе тощо. Виділяють три основних морфологічних типи лишайників за ознаками їх зовнішнього вигляду.

Рис. 11. Накипний лишайник леканора (*Lecanora allophana*) з плодовими тілами грибів

1. ***Накипні, або коркові***. Їх слань має вигляд скоринки, яка міцно закріплена зі субстратом (поверхнею каміння, кіркою дерева) (рис. 11). Ці лишайники без ушкодження відокремити від субстрату неможливо. Зазвичай, їх слані невеликих розмірів, їхній діаметр варіює від декількох міліметрів до декількох сантиметрів (рідко до 20–30 см).

2. ***Листуваті***, їх слань подібна до листоподібних пластинок або лусочок (рис. 12). Найпростіший талом листуватих лишайників виглядає як одна округла велика листоподібна пластинка, діаметр якої досягає 10–20 см. Розрізняють монофільну пластинчасту слань, яка складається з однієї листоподібної пластинки. Зазвичай до субстрату вона прикріплюється тільки за допомогою товстої короткої ніжки, яка називається гомфом. Більш складним за

будовою є листуватий талом, який розсічений на велику кількість дрібних лопатей. Зазвичай, вони утворюють округлі розетки, але інколи формують слані, що мають велике різноманіття невизначених форм. Особливою рисою листуватих лишайників є те, що на їх нижній поверхні майже завжди формуються особливі органи, за участю яких вони прикріплюється до субстрату. Ці лишайники зазвичай слабко зв'язані з субстратом, тому, як правило, їх можна легко відділити від нього у протилежність накипним лишайникам, слань яких міцно зростається із субстратом,

А Б

Рис. 12. Листуваті лишайники: А – пармелія; Б – цетрарія

3. ***Рунисті*** (***кущисті***). Їх слань має вигляд гілочок або звисаючих «борід» (рис. 13). Цей морфологічний тип лишайників за рівнем організації слані являє найвищий етап її розвитку. Рунисті лишайники характеризуються вертикально спрямованим ростом гіфів і верхівковим ростом сланей, які піднімаються догори або звисають зверху вниз, якщо вони прикріплені до стовбурів дерев, а накипним і листуватим формам лишайників притаманний горизонтальний ріст гіфів. Рунисті лишайники прикріплюються до субстрату, як правило, лише малою частиною нижньої ділянки слані. Прямостоячі рунисті лишайники прикріплюються до ґрунту найчастіше тонкими *ризоїдами* (грец. *rhiza* – корінь й *eidos* – вид) – нитковидними утвореннями, які виконують функцію закріплення талому а також поглинання води та живильних речовин. Лишайники не мають будь-яких пристосувань, що обмежують проникнення в їхні слані різноманітних полютантів.

А Б

Рис. 13. Рунисті лишайники: А – кладонія; Б – уснея

Нагромадження забруднюючих речовин у слані лишайника відбувається дуже швидко, оскільки кутикула відсутня. Ці полютанти не можуть також виділитися назовні. Накопичуючись у слані, вони викликають деградацію хлоропластів водоростей, порушується рівновага між компонентами організма лишайника, що призводить до загибелі. Тому на територіях зі значно забрудненим атмосферним повітрям швидко зникає багато видів лишайників.

Отже, лишайники є досить інформативним об'єктом для біоіндикації стану атмосферного повітря. За чутливістю до чистоти повітря їх можна ранжувати так: «накипні → листуваті → рунисті». Тобто, накипні лишайники є найвитривалішими і найстійкішими. Середній ступінь чутливісті до забруднення повітря виявляють листуваті лишайники, а рунисті – найчутливіші, вони гинуть за незначного забруднення. Метод визначення рівня забруднення атмосферного повітря з використанням лишайників отримав назву ***ліхеноіндикація***. В ліхеноіндикації застосовуються методи як пасивного, так і активного спостереження. За *пасивного спостереження* у природному біотопі аналізують чисельність лишайників та їх видів, а також визначають площу покриття лишайниками поверхні субстрату. За *активного спостереження* рівень забруднення атмосферного повітря забруднювачами встановлюють за показниками ушкодження слані (% від загальної її площі) і за кількістю полютантів у таломі лишайника

За стійкістю до дії атмосферного забруднення виділено три групи лишайників.

1. Стійкі (відносно стійкі) – *Bacidia spp.., Cladonia spp*., *Parmliopsis ambigua Lecidea flexuosa*.

2. Малостійкі – *Hypogymnia physoides, Cetraria sepincola*.

3. Нестійкі – *Brioria spp., Usnea spp., Cetraria pinastri, Pseudoevernia furfuraceae*.

Перелік деяких лишайників-індикаторів забруднення повітря SO_2

Гіпогімнія (*Hypogymnia* sp.). Гіпогімнія роздута (*Hypogymnia physodes*) – один із звичайних лишайників, які ростуть на корі стовбура і гілках листяних (частіше берези) і хвойних порід (наприклад, ялини). Їх гілки часто суцільно вкриті цим видом. На корі дерев талом має вигляд округлих попелясто-сірих листоподібних розеток, на гілках – сильно витягнутих в одному напрямку. В деяких місцях вони щільно зростаються з субстратом (рис.14). Нижній бік голий, зморшкуватий, чорний або коричнево-чорний, до країв світлішає. Кінці лопатей піднімаються над таломом і злегка загортаються на верхню сторону.

А Б

Рис. 14. Гіпогімнія роздута (*Hypogymnia physodes*): А – талом; Б – талом із сорédіями

Ксанторія (*Xanthoria* sp.). Ксанторія настінна (*Xanthoria patietina*) зустрічається на корі листяних дерев (тополь, осик). Часто поширена на обробленій деревині (дахи, паркани, стіни). Талом має вигляд майже правильних жовто-помаранчевих розеток діаметром більше 3 см (рис. 15). На яскравість забарвлення впливає освітленість. На сонці вони помаранчеві, в затіненні стають сірувато-зеленими.

Уснея (*Usnea* sp.). Види уснеї звисають з гілок дерев як довгі сіруваті, сірувато-зелені або коричневі пасма, що складаються з тонких розгалужених

ниток і нагадують бороду (рис. 16).

Рис. 15. Ксанторія настінна (*Xanthoria patietina*)

Рис. 16. Уснея хохлата (*Usnea comosa*)

Евернія (*Evernia* sp.). Евернія сливова (*Evernia prunastri*) – «дубовий мох». Один із широко поширених звичайних лишайників, що мешкає на корі різноманітних листяних дерев і їх гілках.

Рис. 17. Евернія сливова (*Evernia prunastri*)

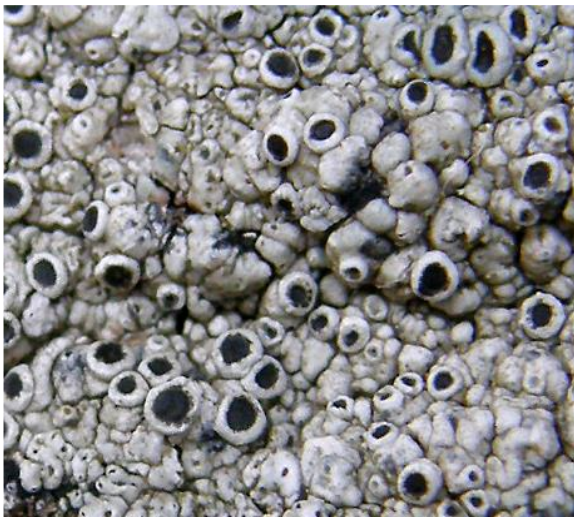


Рис. 18. Леканора (*Lecanora gangaleoides*)

На відміну від уснеї і інших рунистих лишайників сланеві порожнини еверніі не округлі, а мають вигляд дихотомічно розгалужених стрічок, м'яких на дотик (рис. 17). Зверху вони білувато- або сірувато-зелені, знизу світліші, з рожевим відтінком. Краї лопатей зазвичай загортаються на нижню поверхню.

Леканора (*Leconora* sp.). Талом накипний, однорідний, гладкий, інколи зернистий або бородавчастий, часто малопомітний, щільно зростається з субстратом (корою дерева, камінням і т. п.). Плодові тіла (апотеції) сидячі, дископодібні (рис. 18). Видова приналежність визначається важко.

Пармелія (*Parmelia* sp.) – пармелія борозниста (*Parmelia sulcata*), п. оливкова (P. *olyvacea*), п. козлина (P. *caperata*). Талом розрізано-лопатевий, листяний, подібний до великих розеток, які прикріплені до субстрату ризоїдами, інколи вільні (рис. 19). Має різноманітні лопаті: широкі або вузькі, мало- або сильногіллясті, плоскі або опуклі, роздільні або тісно зімкнуті. Забарвлення верхнього боку – від білувато-сірого і жовтуватого (*P. caperata*) до коричневого і чорного, матове або блискуче (*P. olyvacea*); з нижнього боку – від білого або світло-коричневого до чорного. Зустрічається на корі дерев, рідше на замшілих ґрунтах і скелях, на оголеній деревині.

Рис. 19. Пармелія борозниста (*Parmelia sulcata*)

Рис. 20. Алекторія (*Alectoria sarmentosa*)

Алекторія (*A1ectoria bryoria* sp.). Талом кущистий, прямостоячий або повислий; з волосоподібними або іноді сплюсненими головними гілочками (рис.20). До субстрату прикріплюється центральним гіфом, який з віком відмирає, і тоді талом стає вільним. Поселяється в основному на стовбурах дерев, рідше на моховитому ґрунті і скелях.

Рис. 21. Рамаліна борошниста (*Ramalina farinacea*) із сораліями

Рис.22. Калоплака (*Caloplaca saxicola*)

Рамаліна (*Ramalina* sp.). Рамаліна борошниста (*Ramalina farinacea*). Талом у вигляді прямостоячих кущиків, сірувато- або коричнево-зелений, м'який, 5–6 см завдовжки (рис 21). Лопаті плоскі, до кінців трохи тоншають, по краях покриті великими голівчастими білими соралями. Мешкає на корі і обробленій деревині.

Калоплака (*Caloplaca* sp.). Талом накипний, завжди у вигляді зернисто-горбкуватої скоринки. однорідний по краю. Забарвлення помаранчеве, жовтувато-оранжеве, рідше темно-коричневе (рис. 22). Кора талому розвинена погано, краї не бувають листуватими. Зустрічається на деревині, корі, каменях, рідше на ґрунті.

Фісція (*Physcia* sp.). Фісція припудрена (*Physcia pulverulenta*) часто посіляється на корі осик, має вигляд округлих, витончених, правильної форми розеток темно-коричневого або оливкового кольору діаметром до 15 см. До субстрату прилягає щільно. Складається з вузьких або широких, плоских, досить розгалужених лопатей, зверху покрита рясним сизуватим нальотом, від чого і здається попелясто-сірою (рис. 23). На верхньому боці слані утворюються досить великі плодові тіла з червонувато-коричневим диском. Нижній бік слані темний, майже чорний, з густими темно-сірими або чорними ризоїдами.

Анаптіхія (*Anapthychia* sp.). Анаптіхія війчаста (*Anapthychia ciliaris*) найбільш поширена в парках, в світлих листяних лісах, на придорожніх деревах. Рідше її можна зустріти на скелях і деревині. Попелясто-сіра або коричнево-сіра слань має вигляд лежачих на субстраті кущиків (рис. 24).

Рис. 23. Фісція припудрена (*Physcia pulverulenta*)

Рис. 24. Анаптіхія війчаста (*Anapthychia ciliaris*)

Графіс (*Graphis* sp.). Графіс письмовий (*Graphis scripta*) часто посіляється на гладкій корі листяних порід (липи, вільхи, особливо горобини і черемхи). Слань цього лишайника занурена в субстрат (кору), тонкокоркоподібна, сірувато-білувата, іноді слабо помітна. Дуже щільно вростає в субстрат, і про його існування можна судити лише за деякою зміною забарвлення субстрату – білястими плямами на корі, та за плодовими тілами – апотеціями. Апотеції у вигляді неправильно розгалужених звивистих чорних штрихів утворюють на корі гарний візерунок, що нагадує східні письмена (рис. 25).

Рис. 25. Графіс письмовий (*Graphis scripta*)

Лишайники, що стійкі до дії антропогенних факторів, здатні накопичувати в своїх слоєвищах порівняно з вищими рослинами в 5 разів більше заліза, в 2–3 рази більше свинцю, кадмію, ртуті та інших речовин.

За концентрації SO_2 в повітрі 0,08–0,11 мг/м^3 в лишайниках знижується вміст хлорофілу і зменшується кількість живих клітин водоростей. У зонах забруднення повітря скорочується видове різноманіття епіфітних лишайників.

За дії пилу, що складається із сполук азоту (у невеликій концентрації), в лишайниках збільшується вміст хлорофілу («ефект добрива»). При вмісті SO_2 у повітрі більше 0,3 мг/м^3 епіфітні лишайники зникають, утворюється «лишайникова пустеля». При концентрації SO_2 0,05–0,2 мг/м^3 зустрічаються витривалі лишайники: ксанторія настінна, леканора, види фісції, анаптіхії. Якщо концентрація SO_2 менша 0,05 мг/м^3 (в районах з досить чистим повітрям), поширені види лишайників родів алекторія (*Alectoria*), ксанторія (*Xanthoria*). На лишайники також згубно впливають оксиди азоту, оксиди вуглецю, важкі метали, фториди та інші забруднювачі.

Існують наступні ***методи ліхеноіндикації***:

1. Вивчення змін, що відбуваються в будові і життєвих функціях лишайників під дією забруднюючих речовин.
2. Опис видового складу лишайників у районах з різним ступенем забруднення атмосфери.
3. Вивчення лишайникових угруповань у забруднених районах і картографування лишайникової рослинності.
4. Кількісне визначення вмісту забруднюючих речовин в слані лишайника.

Під час проведення біомоніторингу за допомогою лишайників здійснюють їх морфометричну оцінку на модельних деревах. Для цього на висоті грудей з північного боку на стовбур накладається палетка 10×10 см, розграфлена з кроком 1 см по горизонталі та вертикалі. З її використанням за числом вузлів решітки визначається площа покриття кори лишайниками всіх видів і кожного виду окремо. Можна оцінювати лишайники за життєвими формами. Для кожного дерева вказується загальна кількість видів, у тому числі наявність кущистих, листуватих і накипних лишайників, а також ступінь покриття ними деревного стовбура. Рекомендується також проведення оцінки лишайників біля основи стовбура.

Активний біомоніторинг здійснюють із використанням дерев'яних планшетів зі заглибленнями, в яких лишайники закріплюються спеціальним стрижнем і при необхідності можуть з них вилучатись. Планшети розташовуються на стовбурах дерев у досліджуваних на предмет антропогенного забруднення районах.

Активний моніторинг за допомогою лишайників проводиться також шляхом пересаджування (трансплантації) слані з частиною субстрату з фонового об'єкта в умови забрудненого повітря. З цією метою диски кори діаметром 3,5 см і товщиною 1,5 см з лишайниками спеціальним буром

зрізають з дерев у районі з чистим повітрям і пересаджують в отвори того ж діаметру на дерева забрудненої території. Для моніторингу підбирають неушкоджені таломи однакового розміру і стану розвитку. Цей метод широко використовується в США і Німеччині.

Перевага пересаджування лишайників полягає в тому, що створюється можливість розміщення на різних об'єктах достатньої кількості зразків однорідного матеріалу, зібраного в місцевості з відомими умовами середовища. Однак реакція індикаторів на забруднення в нових умовах не завжди може співпадати з реакцією видів, котрі зростають тут постійно. Тому попередньо необхідно проводити переселення лишайників-індикаторів у мікроклімат, схожий з ділянкою індикації, але не підпадаючих під дію забруднюючих речовин та інших стресових чинників. Індикатори повинні пройти період акліматизації протягом 4–5 місяців у стандартизованих умовах, які подібні до місця майбутнього зростання лишайників.

Ступінь забруднення повітря з використанням лишайників можна визначити за табл. 3.

Таблиця 3. ***Визначення ступеня забруднення повітря за життєвою формою лишайників***

Зона	Ступінь забруднення	Життєві форми лишайників		
		кущисті	листуваті	накипні
1	Забруднення відсутнє	+	+	+
2	Слабке забруднення	-	+	+
3	Середнє забруднення	-	-	+
4	Сильне забруднення	-	-	-

Індивідуальні реакції окремих видів використовують на основі шкал полеотолерантності, за допомогою яких, враховуючи наявність або відсутність цих видів, можна встановити ступінь забруднення повітря (табл. 4). З цією метою за ступенем впливу антропогенних факторів на різні види лишайників виділяється 10 класів (за Х.Х. Трассом, 1985). Вид відноситься до певного класу полеотолерантності в залежності від того, за яких антропогенних умов він найбільш часто зустрічається, має найвищі показники покриття і життєвості, тобто він є індикатором цих умов. До першого класу відносяться природні середовища існування, а до десятого – міські і індустріальні умови існування з сильним антропогенним впливом і високим вмістом діоксида сірки в повітрі.

Таблиця 4. ***Класи полеотолсрантності і типи місцезростань епіфітних лишайників (за Трассом, 1985)***

Класи палео-толерантності	Типи середовищ існування лишайників і їх частота зустрічальності	Види рослин
I	Природні, без відчутного антропогенного впливу	*Lecanora abietina*, *Parmeliella*, найбільш чутливі види роду *Usnea*
II	Природні (часто) і сильно антропогенно змінені (рідко)	*Evernia divaricata, Lecanora coilocarpa, Parmeliopsis aleurites, Ramalina calicaris*
III	Природні (часто) і сильно антропогенно змінені (часто)	*Bryoria fuscescens, Hypogymnia tubulosa, Pertusaria pertusa, Usnea subfloridana*
IV	Природні (часто) і сильно (часто) й помірно антропогенно змінені (рідко)	*Cetraria pinastri, Graphis scripta, Armeliopsis ambigua, Usnea filipendula*
V	Природні і слабо й помірно антропогенно змінені з рівною зустрічальністю	*Caloplaca pyracea, Lecanora subfuscata, Parmelia olivacea, Physcia aipolia*
VI	Природні (порівняно рідко) і помірно антропогенно змінені (часто)	*Evernia prunastri, Hypogymnia physodes, Lecanora allophana, Usnea nitra, Hypocenomyce scalaris, Pertusaria discoidea*
VII	Помірно (часто) і сильно (рідко) антропогенно змінені	*Lecanora varia, Parmelia sulcata, Pertusaria aniara, Physcia ascendens*
VIII	Помірно і сильно антропогенно змінені (з рівною зустрічальністю)	*Caloplaca cerina, Physconia grisea, Ramalina pollinaria*
IX	Сильно антропогенно зміненні (часто)	*Phacophyscia orbicularis. Xanthoria parictina*
X	Дуже сильно антропогенно зміненні (зустрічальність видів низька)	*Lecanora conizaeoides, Scoliciosporum chlorococcum*

Індекс полеотолерантності виду (ІП), який відповідає певній концентрації газоподібних сполук, що забруднюють атмосферу, розрахувують за формулою:

$$ПІ = \sum_{i}^{n} \frac{a_i c_i}{c_n}$$

де c_n – загальне проективне покриття; a_i – клас полеотолерантності і-го виду, що визначається за табл. 4 відповідно до виду лишайника; c_i – проективне покриття і-го виду.

Значення ІП коливається між 1 і 10. Чим більше значення ІП, тим більше забруднене повітря. Після отримання ІП для деякої кількості пробних ділянок стає можливим створення ліхеноіндикаційної карти і порівняльна оцінка стану атмосфери досліджених територій. Значення ІП корелює із середнєрічним вмістом SO_2 у повітрі (табл. 5). Концентрація діоксида сірки в повітрі вимірюється в мг/м^3.

Таблиця 5. ***Індекс полеотолерантності (ІП) і середньорічні значення SO_2***

ІП	Концентрація SO_2 в атмосфері, мг/м^3	Зона
1–2	Менше 0,01	Дуже чиста
2–5	0,01 –0,03	Чиста
5 –7	0,03–0,08	Відносно чиста
7–10	0,08–0,10	Помірно забруднена
10	0,10–0,30	Сильно забруднена
0	Більше 0,3	Дуже сильно забруднена (лишайникова пустеля)

У кінці 60-х рр. XX ст. були розроблені методи ліхеноіндикаційного картографування забрудненості атмосферного повітря на основі вивчення епіфітних лишайникових угруповань і розрахунків середніх індексів полеотолерантності (ІП), що відбивають вплив забруднення повітря на лишайники. У Германії й Естонії з метою ліхенодіагностики просторового розподілу забруднення повітря використовують картування розповсюдження лишайників-індиаторів в міру віддалення від джерел забруднення.

За зменшенням чисельності лишайників судять про підвищення рівня стресу на сильно забруднених ділянках. Ступінь покриття стовбура дерев лишайниками зменшується зі зростанням концентрації діоксида сірки в повітрі.

У процесі ліхеноіндикації визначають наступні показники лишайників:

1. Зміна кольору (при забрудненні повітря сіре забарвлення лишайників змінюється на біле через руйнування хлорофілу).

2. Ослаблення міцності прикріплення до субстрату.

3. Зміна структури органів розмноження.

4. Частка пошкодженої частини лишайників.

5. Здатність до плазмолізу водоростевих клітин лишайника.

За результатами ліхеноіндикації складаються карти поширення лишайників, на яких в залежності від ступеня забруднення повітря вказується присутність будь-якого виду на даній території із зазначенням їх великої кількості на різних ділянках або видове різноманіття і частота зустрічальності. Ліхенологічні карти дозволяють спостерігати зміни стану повітря протягом 25–50 років. Таким чином, метод ліхеноіндикації достатньо простий і зручний для індикації атмосферного забруднення.

Контрольні запитання

1. Надайте перелік деяких лишайників-індикаторів забруднення повітря SO_2.
2. Талом яких лишайників являє собою скоринку, що міцно зчеплена зі субстратом (корою дерева, поверхнею каміння)?
3. Талом яких лишайників має вигляд лусочок або листоподібних пластинок?
4. Талом яких лишайників складається з гілочок або звисаючих «борід»?
5. Напишіть ряд вимогливості лишайників до чистоти повітря.
6. Які види лишайників нестійкі до забруднення довкілля?
7. Які показники лишайників визначають у процесі ліхеноіндикації?
8. Як під час індикації за допомогою лишайників здійснюють їх морфометричну оцінку на модельних деревах?
9. Як здійснюють активний моніторинг за допомогою лишайників шляхом їх пересаджування?
10. За якого вмісту SO_2 у повітрі зникають епіфітні лишайники, утворюється «лишайникова пустеля»?
11. Розкажіть про визначення ступеня забруднення повітря за життєвою формою лишайників.
12. Скільки виділяють класів полеотолерантності за ступенем впливу на різні види лишайників антропогенних факторів?
13. Як розраховують індекс полеотолерантності і як його значення залежать від величини середньорічних значень SO_2 ?
14. Які показники лишайників визначають у процесі ліхеноіндикації?

2.5. Дендроіндикація

Дендроіндикація (від грець. *dendron* – дерево і лат. *indicatio* – вказувати) – використання деревних рослин для оцінки стану і змін довкілля за дії екологічних чинників. Серед індикаційних методів вивчення природних процесів антропогенних впливів дендроіндикація займає особливе місце так як дозволяє вирішувати багато різнопланових і міждисциплінарних задач від оцінки впливу викидів конкретного підприємства на лісовий масив, що розташований поруч, до дії геофізичних і астрофізичних факторів на лісові екологічні екосистеми. Деревні рослини через тривале існування особливо перспективні в оцінці багаторічних змін оточуючого середовища.

Деревні рослини володіють високою індикаторною значимістю, тому широко застосовуються для біоіндикаційних досліджень. Вони поглинають і нейтралізують атмосферні полютанти, затримують пилові частинки, указують на характер забруднення разноманітними відповідними реакціями. При дендроіндикації використовуються морфометричні показники – поздовжній і радіальний прирости пагонів і стовбурів дерев, площа і маса листків, тривалість життя хвої та наявність у неї некрозу і хлорозу, зміни фізіолого-біохімічних та анатомо- цитологічних процесів, життєвий стан дерев та ін. У дендроіндикації застосовують вивчення закономірностей сезонного розвитку (фенологічні особливості). Спеціальним розділом дендроіндикації є дендрохронологія – датування природних явищ і археологічних залишків, що застосовані на аналізі річних кілець деревини. Інший напрям дендроіндикації – дендрокліматологія, яка вивчає взаємозв’язок між коливанням клімату і приростом деревних рослин, їх репродуктивною здатністю. За мінливістю приросту стовбурів дерев у різні роки, що спостерігали як у живучих у час досліджень, так і давно відмерлих, які збереглися в торф’яних болотах і вічній мерзлоті, можна отримати уяву про характер змін клімату за останні 10–12 тис. років. Це дає можливість за відповідної математичної обробки багатовікових рядів, які характеризують радіальний приріст, створити дендрохронологічні шкали і надати прогноз можливим напрямкам зміни клімату в майбутньому.

Дендроіндикація забруднення довкілля

Деревні рослин відрізняються за рівнем чутливості до забруднення атмосферного повітря і реакцією на різні типи забруднення. Існує велика кількість шкал чутливості деревних рослин до дії ряду атмосферних забруднювачів. Проте ряди стійкості, запропоновані різними дослідниками,

часто не співпадають у зв'язку з тим, що експерименти проведені у різних кліматичних зонах. Крім того, оцінка стійкості до одного полютанту, яка виявлена у лабораторних умовах, як правило, може мати зовсім іншу градацію за дії на рослини одночасно комплексу забруднювачів, як це має місце на урботехногенних територіях. Тому необхідно проводити оцінювання життєвого стану рослин конкретно у кожній кліматичній зоні і за умов впливу на них конкретних забруднювачів.

На підставі порівняльної характеристики чутливості більш ніж 133 видів деревних рослин у контролюємих умовах, поблизу металургійних, хімічних та інших промислових підприємств, а також співставлення з літературними даними Г.М. Ількун (1978) надав усереднену оцінку газостійкості в балах (I – дуже стійкі, lI – стійкі, III – відносно стійкі, IV – малостійкі, V – нестійкі). Вказана оцінка для наведених видів рослин не є абсолютною, оскільки немає рослин абсолютно стійких або нестійких до атмосферних домішок, а також не виключається специфічна чутливість до кожного фітототоксиканту. У більшості випадків, рослини стійкі до одних інгредієнтів, виявляються у тій же мірі стійкими до інших. До нестійких дерев віднесені ялина східна, модрина європейська і сибірська, сосни Банкса, Веймутова, звичайна. Найбільш чутливі види рослин можуть бути використані як фітіндикатори стану довкілля.

С.О. Сергейчик (1997) порівняла ступінь ушкодження листків деревних порід у техногенному середовищі і внаслідок експериментальної фумігації рослин токсичними газами (сполуки сірки та азоту) в лабораторних умовах. Як результат, наведено рівень чутливості хвойних і листяних дерев й кущів до забруднення повітря цими газоподібними полютантами. Відношення деревних рослин до таких забруднювачів атмосферного повітя як сірчисті сполуки і органічні ксенобіотики проаналізувала Н.В. Гетко (1989). Автор виділяє три категорії рослин за типом реакції на забруднення повітря.

За даними В.П. Бессонової, О.Є. Іванченко (2013) до чутливих рослин (четверта група) віднесені рослини, листкові пластинки яких в зоні сильного забруднення мали пошкодження 26–40 %. Типи пошкоджень наступні: береза повисла – точкові коричневі пошкодження, потім виникають дрібні дірчасті утворення по всій поверхні листка, міжжилковий хлороз, який змінюють буро-коричневі плями, закручування листків; верба біла – некротичні зміни краю листка, хлороз; клен сріблястий – всихання верхівки листка, великі бурі плями по всій поверхні листка. Пригнічення росту листків та пагонів коливається у межах 25–45 %. Загальна оцінка стану дерев за М.П. Красинським – 3–4 бали. До п'ятої групи (дуже чутливі рослини) віднесені рослини, листки яких

пошкоджені більш ніж на 40 %. Основні типи пошкоджень: клен гостролистий – коричневі плями по всій поверхні листка, наскрізні отвори; липа крупнолиста та липа дрібнолиста – хлоротичні плями, закручування країв листка, крайовий некроз; гіркокаштан звичайний – всихання кінчика і країв листка, міжжилковий хлороз, коричневі смужки по поверхні і краю листка, від чого листок скручується. Ріст пагонів і листків сильно гальмується – більш ніж на 46 %. Оцінка стану рослин – 4–5 балів. Ці рослини зберігають декоративний вид лише в умовно чистій зоні. При слабкому забрудненні середовища вони частково втрачають свою декоративність. Рослини цих двох груп рекомендується використовувати як індикатори урботехногенного забруднення довкілля в степовій зоні України.

В.С. Ніколаєвський (1979) на основі даних, отриманих шляхом експериментального газування оксидом сірки, хлором, оксидами азоту, аміаком, поділив дослідні рослини на три групи: стійкі, середньостійкі і нестійкі. З точки зору фітоіндикації нас цікавить третя група – нестійкі рослини. Автор встановив, що чутливими до SO_2 є береза повисла, липа дрібнолиста, верба біла, горобина звичайна, ліщина звичайна, таволги калинолиста та горобинолиста, барбарис Тунберга, акація жовта. Нестійкими видами до хлору виявилися береза повисла, липа дрібнолиста, верба козяча, горобина звичайна, груша лісова, бузок звичайний, клен ясенелистий, ліщина звичайна, до оксидів азоту – липа дрібнолиста, черемха звичайна, чубушник вінцевий, смородина золотиста, до аміаку – в’яз гладкий, горобина звичайна, ясен пенсільванський, груша лісова, бузина червона, таволга середня.

Існують шкали ступеня пошкоджуваності листків деревних порід фенольними сполуками, що викидаються коксохімічними виробництвами (Тарабрін та ін., 1981, Коршиков та ін., 1995).

На території України як фітоіндикатори з метою біологічного моніторингу використовуються наступні деревні породи: сосна звичайна (*Pinus sylvestris*); ялина європейська (*Picea abies)*; ялина сибірська (*P. obovata*), ялина східна *(P. orientalis*); береза повисла (*Betula pendula)*, береза пухнаста (*B. pubesces)*; липа дрібнолиста (*Tilia cordata*), клен гостролистий (*Acer platanoides.)* Листяні деревні породи – менш чутливі до антропогенного забруднення оточуючого середовища, ніж хвойні.

У табл. 6. наведені дані з чутливості різних видів деревних рослин до таких газоподібних забруднювачів як SO_2, HF, HCl та Cl_2, NH_3. Результати отримані в модельних дослідах. Позначення в табл. 6: малочутливі рослини +; чутливі ++; дуже чутливі +++; - реакція недостатньо відома.

Таблиця 6. ***Чутливість деревних порід до тривалого забруднення повітря (Десслер, 1981)***

Види рослин	Забруднювачі				Види рослин	Забруднювачі			
	SO_2	HF	NnH_3	HCl, Cl_2		SO_2	HF	NH_3	Cl, Cl_2
Abies alba	+++	+++	++	+++	*Picea sitchensis*	++	-	-	-
Acer campestris	-	-	-	-	*Pinus contorta*	+	++	-	-
Acer negundo	-	+	+	-	*Pinus mugo*	+	+	+	-
Acer platanoides	-	-	+	++	*Pinus nigra*	+	++	+	+
Acer pseudoplatanus	+	+	++	-	*Pinus strobus*	++	++	-	++
Aesculus hippocastanum	-	+	-	-	*Pinus silvestris*	+++	+++	++	+++
Alnus glutinosa	-	+	-	+++	*Platanus acerifolia*	-	+	+	-
Betula pendula	++	+	+++	-	*Populus alba*	++	-	-	-
Betula pubescens	++	++	-	-	*Populus tremula*	+	-	-	+
Buxus sempervirent	-	+	-	-	*Prunus armeniaca*	-	++	-	-
Carpinus betulus	++	++	+++	+++	*Prunus avium*	-	++	-	-
Catalpa bignonioides	-	+	-	-	*Prunus domestica*	-	+++	-	-
Chenomeles japonica	++	+	-	-	*Prunus persica*	-	+++	-	-
Cornus alba	-	+	-	-	*Prunus serotina*	-	++	-	-
Corylus avellana	.	++	-	-	*Psevdotsuga menziesii*	++	-	-	-
Crataegus monogyna	+	+	-	-	*Ptelea trifoliata*	-	+	-	-
Elaeagnus angustifolia	-	-	-	-	*Pyracantha coccinea*	-	-	-	-
Elaeagnus commutata	-	-	-	-	*Quercus petraea*	-	+	-	++
Erica carnea	-	-	-	-	*Quercus robur*	-	-	-	++

Продовження таблиці 5

Euonimus europaeus	-	-	-	-	*Quercus rubra*	-	+	-	++
Fagus sylvatica	+	+	++	++	*Robinia pseudoacacia*	-	+	+	+
Forsythia intermedia	-	-	-	-	*Rosa canina*	+	+	-	-
Hedera helix	-	-	-	-	*Rosa rugosa*	-	-	-	-
Juglans regia	-	+++	-	-	*Sambucus nigra*	-	-	-	-
Juniperus sabina	-	-	-	-	*Sambucus racemosa*	-	-	-	-
Juniperus squamata	-	-	-	+	*Sorbus aucuparia*	++	-	-	-
Larix decidua	++	++	++	++	*Syringa vulgaris*	+	+	-	-
Larix leptolepis	++	++	++	++	*Tamarix tetrandra*	-	-	-	-
Licium halimifolium	-	-	-	-	*Taxus baccata*	++	++	-	-
Ligustrum vulgare	-	-	-	-	*Thuja plicata*	-	-	-	+
Malus domestica	-	++	-	-	*Tilia argentea*	++	-	+++	-
Metasequoia gliptostroboides	+	-	-	-	*Tilia cordata*	++	++	+++	-
Picea abies	+++	+++	++	+++	*Tilia platyphyllos*	++	-	+++	-
Picea engelmannii	-	-	-	+	*Tsuga canadensis*	+++	-	-	-
Picea omorika	+++	-	-	++	*Ulmus glabra*	+	-	-	-
Picea pungens	+	+	-	-	*Weigela florida*	-	-	+	-

За дії хронічного ураження деревних рослин полютантами зменшується приріст дерев за висотою. Простежується тенденція відмінності росту між деревами у висоту за градієнтом змін екологічного навантаження на зелені насадження. В умовах техногенного стресу у деревних рослин часто змінюється морфоструктура крони. Зміни пов’язані з тим, що формуються щільно зімкнуті малооб’ємні зонтичні або кулясті крони, які слабо продуваються. Формування щільних крон, які слабо продуваються, знижує вірогідність тотального пошкодження органів як вегетативної, так і генеративної сфери.

За екстремальних умов як техногенного забрудненого, так і природного середовища відбувається мінімізація пагона – основного органа рослинних організмів. Внаслідок зменшення періоду росту рослин та прискорення елементарних етапів морфогенезу спостерігається утворення вкорочених міжвузлів, зміна видовжених пагонів (ауксибластів) на вкорочені пагони (брахібласти). У голонасінних зі зростанням рівня забруднення збільшується «сплюснутість» крони. Внаслідок постійного відмирання осьових пагонів, гілок різного порядку формуються малооб'ємні кущоподібні форми деревних рослин.

В умовах хронічного забруднення довкілля спостерігається відмирання верхівок, внаслідок чого формується багатоверхівковість, збільшується кут прикріплення гілок до стовбуру, втрачається апікальна домінантність. У цих особин дерев зовнішній вигляд змінюється переважно за рахунок зрідження крони і новоутворення додаткових пагонів із сплячих бруньок і брахібластів. Серед характерних особливостей можна назвати водяні пагони у листяних дерев, які іноді розташовані пучками, рясні стволові пагони.

Всі ці вищевказані показники змін органів деревних рослин використовують як індикатори забруднення територій промисловими полютантами. Так, динаміка змін біометричних показників сосни звичайної дозволяє оцінити екологічний стан і рівень деградації міського середовища, а також межі стійкості рослин до техногенного забруднення. Виявлені високі індикаційні можливості тополі дельтовидної порівняно з гіркокаштаном звичайним та липою серцелистою. Об'єктами імпактного моніторингу, як правило, є хвойні породи – найбільш чутливі до промислового забруднення (ялина східна, ялина звичайна, ялина сибірська, а також сосна Банкса, сосна Веймутова, сосна звичайна, модрина європейська, модрина сибірська, ялиця біла, ялиця сибірська). Хвойні деревні рослини можна розділити за ступенем стійкості до дії міського середовища на середньостійкі – сосна гірська, ялина колюча, модрина сибірська і туя західна. Слабостійкі породи – сосна звичайна і сосна кедрова сибірська (Герасимов, 2003). Стійких порід не виявлено. В цілому стійкість хвойних порід слід визнати відносно слабкою, так як майже половина дерев у міському середовищі перебуває в незадовільному стані.

Як правило, значна частка насаджень ялини звичайної, модрини та сосни гірської (41–49 %) у насадженнях промислового міста знаходиться в дуже пошкодженому стані. У місцях, де зазначено сильний антропогенний вплив, ця кількість становить 60–80 %. Частка дуже пошкоджених дерев збільшується з віком. Життєвий стан дерев у міських умовах з плином часу погіршується.

Особливо явно це проявляється на об'єктах з помірним і сильним впливом міського середовища. Дерева, що ростуть у місцях зі слабим впливом міського середовища, вищі, мають більший діаметр і більш значний приріст порівняно з деревами, що знаходяться в більш забруднених районах. У великих містах у 40% дерев пригнічено утворення насіння, а у 25 % дерев воно повністю відсутнє.

Згідно Ф.Н. Левону (2008), біоіндикаторами техногенного забруднення є аномалії розвитку хвої та пагонів сосни звичайної. За даними цього автора як індикатори забруднення повітря сірчистим газом в зоні дії теплової електростанції можна розглядати аномальний ріст органів сосни звичайної (утворення пучків укорочених пагонів, ріст пагонів між мутовками, загальмованість лінійного росту верхівкового пагона, формування трихвойних пучків, викривлення хвоїнок, порушення феноритмів, надмірні потовщення закінчень коренів, які ростуть вертикально тощо).

Тривалість життя хвої сосни звичайної в зонах сильного забруднення SO_2 становить 1 рік, тоді як в нормі 3–4 роки. Враховуючі тривалість життя хвої й характер її некротичних пошкоджень, можна визначити ступінь ураження хвойних насаджень сірчистим газом.

Як індикатор автотранспортного забруднення повітря можуть слугувати пошкодження насіннєвих зачатків сосни звичайної.

Будь-який вплив забруднення атмосфери на ріст і якість деревних рослин відбивається на їх продуктивності. Дія на продуктивність рослин може бути ширшою , ніж зміни біомаси і розмірів органів. Це ще й зниження цінності рослинної продукції на ринку або в екосистемі. Правильна оцінка наслідків післядії атмосферних забруднювачів на продуктивність рослин необхідна для розробки розумної і ефективні стратегії контролю та критеріїв розміщення джерел забруднення.

Багаторічна дендроіндикація за радіальним приростом

Антропогенні фактори негативно впливають на радіальний приріст стовбурів дерев. За даними Е.А. Сидорович, у лісопарковій зоні м. Мінська деревостан вікового класу III, бонітетів I–Iа при повноті насаджень, близької до 1,0, за 20 років втратив внаслідок дії антропогенних факторів (забруднення повітря і рекреація) в середньому 47 $м^3$ /га стовбурної деревини (2,4 т на рік), що складає 12,2 % від середнього річного приросту зростаючих стовбурів. Є досвід використання показників радіального річного приросту у зонуванні техногенно забруднених територій.

Радіальний приріст деревних рослин добре реагує на фактори довкілля, він відноситься до неспецифічних ознак індикації. Проте, якщо брати одну й ту ж породу дерев в однакових умовах клімату і ґрунтів і за достатньої повторності (не менше 25 дерев) порівняно з контролем, то цей показник може бути достатньо чіткою індикаційною ознакою.

Забруднення атмосферного повітря призводить до змін структури деревини. Наприклад, зниження якості соснової деревини внаслідок незначного її утворення влітку і випадіння річних кілець за дії SO_2. Зникнення річних кілець спостерігається у м'якодеревних порід (липа, сосна, осика, вільха) за дії солі, що використовується для танення льду.

Формування нових шарів приросту ксилеми відбувається в результаті здійснення складних фізіологічних процесів, що створюють необхідні умови для поділу клітин камбію. Поділ клітин пов'язаний з подвоєнням ДНК, посиленням синтезу РНК, білків, накопиченням цукрів, активізацією багатьох фізіологічних процесів, у тому числі і дихання, що забезпечує підвищення рівня енергетики клітин шляхом накопичення АТФ, а також постачання будівельних блоків у вигляді продуктів неповного окислення гексоз і т. д. (Саламатова, 1991). Ці процеси можуть відбуватися нормально лише за умови достатньої інтенсивності фотосинтезу рослини, забезпеченості його мінеральними речовинами і водою.

Відхилення від норми протікання фізіологічних процесів у рослинному організмі можуть бути викликані несприятливим поєднанням екологічних, фізичних і біотичних факторів. Крім цього порушення фізіологічних процесів виникає під впливом токсичних речовин, що потрапляють в навколишнє середовище в результаті антропогенної діяльності і природних аномалій. Таким чином, дерево є індикатором того середовища, в якому воно зростає.

За структурою, шириною і порядком розташування кілець приросту деревини можна судити про умови того чи іншого минулого року і періоду часу. На характер формування камбієм приростів деревини оказує вплив цілий ряд факторів. До них відносяться виникнення і розвиток деревостану, час рубки і відмирання дерев, ступінь деградації крон, коливання клімату і аномальні явища погоди (посухи, шторми, сильні морози, заморозки), затоплення і заболочування лісів, інвазії комах-шкідників і хвороби лісу. Шкідливі промислові викиди і лісогосподарські заходи також впливають на характер формування приросту деревини: у дерев, що ростуть поблизу підприємств річні кільця приросту звужуються і випадають у періоди збільшення об'єму виробництва. На величину приросту деревини впливають такі види

антропогенного впливу як рекреаційні навантаження, лісові пожежі. Дендрохронологічний аналіз дозволяє з певною вірогідністю складати прогноз зростання дерев.

Здійснюючи аналіз річних шарів, враховують умови місцезростання дерева і вплив домінуючих екологічних факторів. У субтропічних і тропічних районах температура не є лімітуючим фактором. Тут вузькі річні кільця свідчать про посушливий період, а широкі кільця – про вологий. У приполярних районах температура являє собою вирішальний фактор, тому в даних умовах ширина річних приростів деревини відображає холодні і теплі періоди. У помірних широтах радіальний приріст деревини залежить як від кількості опадів, так і від температурного режиму. У цих широтах формування річного кільця тісно залежить від кількості вологи в ґрунті в пізньовесняний період (кінець травня – початок червня). Липневі опади у меншій мірі впливають на приріст. У період стресу може бути повне або часткове випадіння річного кільця. Дерева, що ростуть по берегах річок, озер, на височинах, а також в умовах фізіологічної сухості не придатні для дослідження характеристики посушливих років.

Для дендроіндикаційного аналізу обирають дерева з найбільш товстими стовбурами з добре розвиненою кроною, що ростуть у насадженнях у порівняно вільних умовах на свіжих не заболочених ґрунтах, без тимчасового надлишкового зволоження. Умови зволоження повинні змінюватися природним шляхом тільки в зв'язку з настанням посушливих років або періодів При проведенні дендрокліматичного аналізу зі стовбурів дерев приросним буравом висвердлюють керни на висоті грудей, або використовуються спили стовбурів модельних дерев, взятих для вивчення ходу росту. Ширина шарів приросту деревини вимірюється на чотирьох радіусах в напрямках (Пн–Пд; З–С) і розраховується їх середнє значення. Виключення дії не кліматичних факторів на ширину річних кілець виконується декількома способами. Спочатку здійснюється згладжування вихідного ряду ширини річних кілець a_1, a_2, ... a_n, який перетворюється в ряд:

$$\frac{1}{m}\sum_{1}^{m} a_i \,, \frac{1}{m}\sum_{2}^{m+1} a_i, \ldots \frac{1}{m}\sum_{n+1-m}^{n} a_i,$$

потім ряд розділяється на частини $(\frac{1}{n})$, де m – число років осереднення, при m<n. У кожну частину входять згладжені вихідні ряди ширини річних кілець, по 5–10–30-річним змінним середнім.

Для більш повного усунення не кліматичних факторів при даному способі згладжування абсолютну ширину кожного річного шару в мм виражають у вигляді відносного індексу в частках від величини середнього значення ширини річного шару за весь період часу досліджень. Індекс ширини річного шару даного року a_n розраховується за формулою:

$$I = \frac{a_n}{b},$$

де I – індекс ширини річного шару, b – середня ширина річного шару за весь період дослідження, a_n – ширина річного шару даного року.

Даний метод полягає в тому, що спочатку здійснюється періодичне згладжування по 11–20–30 рокам, потім розраховуються відносні індекси, або модульні коефіцієнти шляхом поділу ширини приросту даного року на середню величину річного приросту за період згладжування.

При дендроіндикаційному моніторингу для виявлення особливостей продуктивності дерев і деревостанів більш достовірним показником річного приросту деревини є площа поперечного перерізу річного шару, ніж його ширина (Алексєєв, 2003). Встановлено, що ширина річного приросту деревини позитивно корелює з площею поперечного перерізу річного кільця лише протягом близько 1/3 пізньої частини всього часового ряду, який аналізується.

Залежність радіального приросту від діаметру дерева на різній висоті стовбура – кореляція (R), має прямолінійний характер. Зі збільшенням пошкодження дерев, ця залежність стає слабшою. В непошкоджених деревостанах коефіцієнт кореляції цих показників складає R = 0.70–0.75, в помірно пошкоджених – R = 0.5–0.55, в сильно пошкоджених – R = 0.3–0.33. В умовах забруднення повітря втрати радіального приросту збільшуються у більш високих дерев. Для встановлення зв’язку між радіальним приростом дерев і деревостанів й ступенем їх ушкодження доцільно використовувати функцію Гомпертца. В залежності від класу пошкодження дерев падіння їх радіального приросту має нелінійний характер і включає в себе три стадії: буферну, стадію максимальної реакції і стадію уповільненої реакції (Алексєєв, 1993).

При дендроіндикації можливих змін клімату виправдав себе метод екологічної реконструкції ростового процесу, при якому повністю й об’єктивно видаляється з аналізу вплив на динаміку радіального приросту такого важливого фактора як неоднаковий вік дерев. На основі такого аналізу забезпечується можливість оцінювати вплив довгострокових кліматичних змін на приріст дерев за окремими віковими групами (Алексєєв, 2003).

Отже, дендрохронологічний метод дозволяє вивчити зміни кліматичних умов на Землі і вплив різних екологічних і антропогенних факторів на деревні рослини і лісові екосистеми. Так, встановлена надійна кореляція між рівнем забруднення повітря фтором і зниженням радіального річного приросту у сосни, модрини і ялини. Розроблені деякі методичні правила для підвищення надійності дендрохронологічного методу біоіндикації забруднення повітря. Він перспективний ще й тому, що дозволяє розраховувати зниження приросту деревини за рік і, отже, економічні збитки від забруднення повітря, й одночасно оцінювати стан лісових екосистем.

За вмістом деяких важких металів у річних кільцях приросту деревини також можна судити про ступінь техногенного впливу на рослини в минулому за роками. Часто про рівень забруднення судять за аналізом золи кірки, гілок, листків деревних рослин.

Оцінка ступеня впливу міського середовища на деревні рослини

При оцінці впливу міського середовища на життєдіяльність дерев виділяють наступні головні чинники:

1) загальне забруднення території викидами стаціонарних підприємств;

2) викиди автомобілів, вплив яких на рослини залежить від віддаленості посадок від проїжджої частини дороги, величини автомагістралі, що є показником інтенсивності руху по ній транспорту і, відповідно, кількості забруднюючих речовин;

3) характер ґрунту, індикатором якого є стан живого надґрунтового покриву в зоні проекції дерев.

Прийнята наступна градація ступеня забруднення навколишнього середовища стаціонарними джерелами за кількістю викидів забруднюючих речовин (Герасимов, 2003):

1 – дуже слабке забруднення – менше 20 т/км^2;

2 – слабке забруднення – 20–40 т/км^2;

3 – середнє забруднення – 40–80 т/км^2;

4 – сильне забруднення – більше 80 т/км^2.

Величина автомагістралей характеризується на основі інтенсивності руху по ним автомобілів:

1 – автомобільні дороги з інтенсивністю руху менше 500 авт./год. – вулиці місцевого значення;

2 – дороги з інтенсивністю руху від 500 до 1500 авт./год. – вулиці районного значення;

3 – дороги з інтенсивністю руху 1500–3000 авт./год. – магістральні вулиці загальноміського значення регульованого руху;

4 – дороги з інтенсивністю руху понад 3000 авт./год. – магістральні дороги швидкісного руху, магістральні вулиці загальноміського значення безперервного руху.

Стан живого надґрунтового покриву оцінюється за ступенем його деградації:

0 – *непорушений* – підстилка і ґрунт не порушені, проективне покриття трав'яного покриву 60 %, рудеральні види відсутні, мережі стежок немає;

1 – *слабо порушений* – в підстилці і ґрунті є сліди порушень, проективне покриття трав'яного покриву до 40 %, одинично присутні бур'янисті види, площа стежкової мережі не перевищує 10 %;

2 – *середньо порушений* – підстилка порушена, ґрунт ущільнений, частка бур'янистих видів до 10 %, проективне покриття трав'яного покриву до 30 %, площа стежок – 20–30 %;

3 – *сильно порушений* – підстилки немає, ґрунт ущільнений, для травостою характерні ознаки олуговіння, його проективне покриття – 10–15 %, домінують рудеральні види, площа стежок – 50–60 %;

4 – *деградований* – ґрунт сильно ущільнений, підстилка і надґрунтовий покрив повністю відсутні.

Ступінь впливу міського середовища на стан життєдіяльності дерев визначається як середнє із значень основних факторів міського середовища, що впливають на насадження (Герасимов, 2003):

$$I_n = \frac{n}{N},$$

де I_n – індекс впливу міського середовища на дерева, N – кількість факторів (вказані в таблиці факторів впливу міського середовища – в даному випадку 4), n – сума значень всіх факторів.

Якщо I_n становить менше 2 балів – це зона зі слабким впливом міського середовища; від 2 до 3 балів – з помірним впливом; 3 і більше балів – з сильним впливом (табл. 7).

При слабкому ступені впливу міського середовища, життєвий стан дерев добрий. Відсутні зовнішні ознаки пошкодження стовбура і крони (дефоліація і дехромація хвої і листя трохи перевищує 10 %), Мертві і відмираючі гілки зосереджені в нижній частині крони; у верхній її частині гілок, що відмирають, немає; пошкодження асиміляційного апарату істотно не впливає на стан дерева.

При помірному ступені впливу міського середовища дерева знаходяться в ослабленому стані: у верхній половині крони присутні до 30 % усихаючих гілок, ступінь дефоліації і дехромації становить від 11 до 25 %.

При сильному ступені впливу міського середовища дерева (індекс впливу міського середовища більше 3 балів) знаходяться в дуже ослабленому стані: спостерігається передчасне опадання листя і хвої, ступінь дефоліації і дехромації досягає 60 %, у верхній половині крони до 60 % усихаючих гілок.

При дуже сильному ступені впливу міського середовища дерева починають відмирати: більше 70 % гілок верхньої частини крони сухі і усихаючі, ступінь дефоліації і дехромації більше 61 %, спостерігається великий відсоток хлорозу листя і хвої.

У *п'яту категорію стану* дерев включається також свіжий сухостій (старий сухостій звичайно видаляється працівниками садово-паркового господарства).

Таблиця 7. ***Визначення ступеня впливу міського середовища на насадження***

Життєвий стан дерев	Фактори впливу міського середовища на насадження			
	Автомобільні викиди (відстань від автотрас, м)	Відносне забруднення району	Ступінь потужності автомагістралей	Стан надґрунтового покриву
1 (здорові)	Більш 25	Дуже слабке	Малі (місцевого значення)	Непорушений
2 (ослаблені)	15–25	Слабке	Середні (районного значення)	Слабо порушений
3 (сильно ослаблені)	5–15	Середнє	Крупні (міського значення)	Середньо порушений
4 (відмираючі)	Від 0 до 5	Сильне	Головні (магістральні)	Сильно порушений і деградований

Оцінка життєвого стану деревних рослин у міських насадженнях повинна розглядатися як обов’язковий елемент програми фітомоніторингу урбосередовища. Отримана інформація може бути використана як для оцінки стану компонентів різноманітних типів насаджень, так і для визначення

перспектив розвитку конкретних видів дерев у зелених зонах. На такі дані спираються практичні рекомендації зі створення програм і проектів озеленення різних фнкціональниз зон міста.

Контрольні запитання

1. Що таке дендроіндикація і чому деревні рослини особливо перспективні в оцінці багаторічних змін оточуючого середовищ?
2. Назвіть основні морфометричні показники, які використовують при дендроіндикації.
3. Чому шкали чутливості деревних рослин до дії ряду атмосферних забруднювачів, які запропоновані різними дослідниками, часто не співпадають?
4. Назвіть авторів шкал чутливості деревних рослин до комплексу забруднювачів довкілля і до окремих газоподібних полютантів.
5. Які деревні породи використовуються на території України як фітоіндикатори з метою біологічного моніторингу ?
6. Розкажіть які показники у зміні крон деревних рослин є біоіндикаторними ознаками забруднення довкілля?
7. Які хвойні рослини є кращими біоіндикатором техногенного забруднення?
8. Які показники аномального росту органів сосни звичайної є індикатороми забруднення повітря сірчистим газом?
9. Які показники формування деревини деревних рослин застосовують у зонуванні техногенно забруднених територій?
10. Які дерева обираємо для дендроіндикаційного аналізу?
11. Які види деревних рослин найбільш чутливі до забруднення повітря?
12. Який метод дозволяє вивчити зміни кліматичних умов на Землі і вплив різних факторів на деревні рослини?
13. Назвіть найбільш достовірний показник річного приросту деревини при дендроіндикаційному моніторингу для виявлення особливостей продуктивності дерев і деревостанів.
14. Назвіть середній рівень забруднення навколишнього середовища стаціонарними джерелами за кількістю викидів забруднюючих речовин в т/км^2.
15. Як характеризується автомагістралі за інтенсивністю автомобільного руху?
16. За якими градаціями оцінюється стан живого надґрунтового покриву?
17. Розкажіть про визначення ступеня впливу міського середовища на деревні насадження.

2.6.Фітомоніторинг SO_2 і другорядних забруднюючих речовин (NH_3, B, Cl_2 і його сполуки)

Діоксид сірки (SO_2) – відома і добре вивчена забруднююча речовина, що потрапляє в повітря з викидами електростанцій, підприємств обробної промисловості, при очищенні і виплавці металів. Проведено багато польових досліджень гострого впливу SO_2 на рослинність поблизу точкових джерел і хронічного впливу далеко від джерел. За даними досліджень рослинності поблизу джерела SO_2 можна скласти карту пошкодження рослин. Межі зони з ураженою рослинністю на карті відображають межі області впливу джерела SO_2, а також роль переважаючих вітрів і топографії на дисперсію SO_2. Якщо джерело SO_2 одиничне, то на карті ця зона може мати еліпсоїдну форму і займати простір в кілька квадратних кілометрів. Якщо поодиноких джерел багато, то така зона може займати декілька сотень квадратних кілометрів.

Відповідна реакція цілого ряду дерев, чагарників і трав на вплив SO_2 відома. У сосни звичайної за дії цього газу червоніють кінчики хвої, знижується тривалість її життя, а також збільшується товщина кутикули. У смородини і гортензії сірчистий газ викликає появу червоних плям на листках, у ожини спостерігається міжжилкове знебарвлення листків з побурінням, у орляка звичайного – червонуватий некроз по краям листків. У тонконога звичайного з'являються світло-коричневі або білясті смуги з обох боків листка поблизу цетральної жилки, яка залишається зеленою. Міжжилкові хлорози і некрози за дії SO_2 утворюються у люцерни, гречки, подорожника великого, конюшини інкарнатної. У ліщини звичайної пошкоджуються листки за хронічної дії навіть невеликих концентрацій сірчистого газу. У ялин звичайної і колючої хвоя буріє і опадає, у сосни Веймутова буріє вся хвоя. Хронічний вплив SO_2 викликає хлороз або знебарвлення листків і зміну їх забарвлення до червоного кольору, у хвойних рослин – почервоніння хвоїнок від кінчика до основи. Приклади ураження діоксидом сірки листків деяких рослин наведені на рис. 25. У сосни звичайної зменшуються розміри шишок, їх маса і кількість насіння. Фітомоніторинг SO_2 та інших забруднюючих речовин дуже докладно описали Меннінг і Федер (1988).

Визначення пошкоджень у вищих рослин за дії SO_2

Є чимало інформації про вплив SO_2 на рослини, яка отримана як у природних, так і в експериментальних умовах. Опубліковано багато переліків і

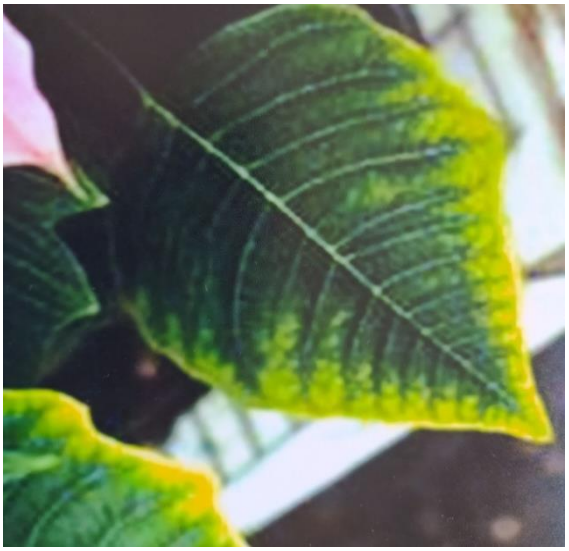
таблиць, в яких рослини ранжовані відповідно їх відносної чутливості до SO_2. Дані з чутливості рослин до SO_2 наведені в табл. 6. Ознаки ушкодження рослин у результаті гострого і хронічного впливу SO_2 описуються в ряді робіт.

Для визначення пошкодження рослин SO_2 необхідно мати чітке уявлення про те, які види і сорти рослин уражуються SO_2 і на якому етапі вегетаційного періоду вони найбільш чутливі до дії SO_2 в природних умовах. У табл. 8 наведено деякі найбільш поширені біоіндикатори, що використовуються в польових дослідженнях у певні періоди вегетації. Гостра дія SO_2 на деякі рослини може бути дуже типовою, а її наслідки прогнозованими. Вплив, особливо хронічний, на інші рослини може бути не настільки явним.

Таблиця 8. ***Біоіндикатори, що чутливі до дії атмосферного діоксиду сірки в певні періоди вегетації***

Весна, раннє літо	*Літо*	*Пізнє літо*
Тонконіг однорічний	Люцерна	Сосна Веймутова
Гірчиця	Ячмінь звичайний	Сосна Банкса
Фіалка	Гречка посівна	Ялина європейська
Цинія	Салат ендивій	
Папороть орляк	Гарбуз пепо	
Ожина і малина	Гарбуз звичайний	
Виноград лисячий		
Яблуня дика і яблуня		
Тополя осикоподібна		
Ясень американський		
Береза повисла		

Ознаки ушкодження. Поява на листі рослин, що чутливі до впливу SO_2, характерних позначок свідчить про наявність SO_2 в атмосферному повітрі (рис. 26). На станціях моніторингу для визначення концентрацій SO_2 в повітрі і залежності ступеня пошкодження рослин від цієї концентрації поряд з приладами іноді використовують такі показники, як число випадків і ступінь пошкодження рослин, чутливих до впливу SO_2. С.Н. Лінцону вдалося отримати залежність між вмістом SO_2 в повітрі (данні отримані на станціях з автоматичними пробовідбірниками повітря) і ступенем пошкодження SO_2 сосни Веймутова. На підставі ступеня пошкодження дерев та даних з відбору проб повітря він визначив три зони досліджень: внутрішню, проміжну і зовнішню – в залежності від відстані від джерел SO_2.



Ураження листків пуансетії SO_2

Повне ураження рослин сосни звичайної SO_2

Ураження листків папороті орляка SO_2

Ураження листків клена гостролистого SO_2

Рис. 26. Ураження листків рослин сірчистим ангідридом

Хімічний аналіз. На відміну від більшості інших забруднюючих повітря речовин сірка необхідна для життєдіяльності вищих рослин. Велика частина сірки надходить в них із ґрунту. Однак трав'янисті і деревні рослини здатні акумулювати сірку шляхом поглинання листям SO_2 з повітря. Інтенсивність цього процесу залежить від швидкості вітру, інтенсивності освітлення і висоти рослини або намету. Оскільки сірка акумулюється в рослинних тканинах, то за допомогою стандартного хімічного аналізу можна визначити її загальний вміст (або сульфату) в тканинах рослин.

Ван Рей визначив вміст сірки в трав'янистих рослинах, які ростуть на ділянках біомоніторингу в Голландії, і розрахував його у відсотках від загальної маси сухої речовини. Д. Лінелл картував поширення SO_2 в Швеції на підставі даних про вміст сірки в листі берези, отриманих за допомогою нефелометричних вимірювань щільності сульфату, осадженого барієм зі зразків листя.

С. Н. Лінцон зі спів. узагальнили деякі обмеження використання даних про концентрацію сірки в листі рослин в якості показника пошкодження рослин SO_2 і ступеня цього пошкодження, виходячи з наступного:

1) оскільки сірка є природною складовою рослин, то повинні бути відомі її фонові концентрації, так як вони неоднакові в різних районах і мають сезонну мінливість в залежності від видів рослин, факторів місцевості і стадії росту рослин;

2) зі звичайної для цього району концентрації сірки в ґрунті;

3) локалізації джерела SO_2;

4) даних моніторингу атмосферного SO_2.

В ідеальному випадку інформацію про ознаки пошкодження чутливих рослин необхідно об'єднувати з даними хімічного аналізу сірки (або сульфату) в частинах рослин, а потім визначати залежність даних від моніторингу атмосферного SO_2. Це дозволить отримати точний аналіз пошкодження рослинності SO_2 і кількісну оцінку впливу SO_2 на рослини в даному районі.

Біомоніторинг SO_2 за допомогою вищих рослин

Сосна Веймутова. *Синдром хлоротичної карликовості*. У розсаднику і в природних умовах у проростків сосни Веймутова розвивається захворювання, яке називають синдром хлоротичної карликовості (СХК). Ця хвороба характеризується світло-зеленим кольором нових голок, які потім стають плямистими і жовтими, а пізніше закрученими з обпаленими кінчиками.

Старі голки обпадають раніше, ніж з'являються нові. Дерева сильно пригнічені і зазвичай гинуть. Синдром хлоротичної карликовості викликається спільним впливом SO_2 і O_3. Вплив же тільки SO_2 може викликати зміну кольору кінчиків голок на червоний, а потім буро-сірий. На хвої можуть також з'являтися окремі жовті плями – мозаїчність хвої.

Л. С. Дочінгер зі спів. відмітили, що з двох газів (SO_2 і O_3), які викликають симптоми СХК, SO_2 має сильнішу дію. Б.Р. Робертс порівнював чутливі і толерантні до СХК клони сосни Веймутова в природних умовах у зонах з високим і низьким вмістом SO_2. За допомогою йодометричного визначення

вмісту сірки в тканинах листка, стебла і кореня він показав, що вміст сірки в тканинах толерантних дерев у зонах з високим вмістом SO_2 вищий, ніж у зонах з низьким вмістом. У чутливих же дерев в зонах з високим і низьким вмістом SO_2 у повітрі значної різниці в загальному вмісті сірки не спостерігалося.

Довгострокові порушення росту. Сосна Веймутова найбільш чутлива до дії SO_2 хвойна рослина. Неодноразовий вплив SO_2 ослаблює дерева і призводить до їх відмирання. Використовуючи дані про ступінь пошкодження цього виду сосни SO_2 спільно з даними стосовно вмісту SO_2 в повітрі, визначили наступні три зони довгострокового вивчення: внутрішня зона поблизу джерел, проміжна і зовнішня, або зона чистого повітря. У кожній зоні вивчався ріст, продуктивність (урожай) і виживаність обраних екземплярів сосни Веймутова за період в 10 років. Після розрахунку втрат дерев з причин, що не залежали від впливу SO_2, був визначений економічний збиток урожаю в часі, зниження приросту для кожної зони впливу SO_2.

Сосна звичайна *(Pinus sylvestris* L.) Вважається помірно чутливою до впливу SO_2.. Дж.Ф Фаррар та ін. вивчили поширення сосни звичайної в промисловому районі. Картування показало, що сосна нетипова для району навіть при відповідних для неї умовах. Оскільки цей район відноситься до зон з підвищеною концентрацією SO_2 в атмосферному повітрі, зроблено висновок про те, що SO_2 може лімітувати поширення сосни звичайної.

Тополя гібридна. У природних умовах тополя осикоподібна (*Populus tremuloides* Michx.) – дуже чутливий біоіндикатор наявності SO_2 в навколишньому повітрі. Описана серія дослідів зі схрещування різних видів тополі з метою отримання гібридних різновидів з відомою реакцією на вплив високої і низької концентрації SO_2. Були відібрані клони гібридної тополі (*Populus deltoids* Bart. cv. '*Angulata*' *Х P. Trichocarpa* Torr. And Gray) і визначені толерантні і чутливі до SO_2 клони. Клон 211 виявився дуже чутливим до впливу SO_2, в той час як клон 207 – толерантним як при високих, так і при низьких концентраціях SO_2 в повітрі. Використання в польових умовах цих генетично відомих, тісно пов'язаних між собою клонів гібридної тополі може підвищити ефективність біомоніторингу SO_2 в навколишньому повітрі за допомогою листяних порід дерев.

Аналіз рослинності поблизу джерел

Аналіз на вміст сульфату в листі. Д. Лінелл картував поширення SO_2 навколо підприємств з отримання нафти зі сланців на підставі даних про вміст сульфату в листі берези і яблуні, а також у хвої ялини, які ростуть на різній

відстані від джерела. Сірку, що міститься в листі, осаджували барієм і вимірювали щільність отриманих суспензій сульфату барію. На підставі цих даних були складені діаграми вмісту сульфату в листі берези, які порівнювалися з діаграмами погіршення росту деяких хвойних порід. Д.Лінелл виявив схожість цих двох серій діаграм. Дослідник зробив висновок про надійність такого методу для визначення вмісту SO_2 в повітрі.

Кислотність деревної кірки. У зразках кірки, що були взяті у липи (*Tilia cordata* Mill.), ясеня (*Fraxinus excelsior* L.), граба (*Carpinus betulus* L.), вільхи (*Alnus incana* L.), ліщини (*Coryllus avelana* L.) і сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), визначали кислотність у різні пори року. Було виявлено, що кислотність кірки максимальна у зразків, відібраних ранньою весною, мінімальна – у взятих влітку. Найвищі значення pH кірки були в зразків, відібраних у районах з низьким вмістом SO_2 в повітрі. Кірка сосни звичайної мала найнижчі значення pH , а кірка ясена – найвищі.

Для визначення кислотності кірки можна використовувати наступну нескладну схему:

1) для зразків слід брати кірку ясена або липи, оскільки вона має мінімальну кислотність і грубу поверхневу текстуру;

2) зразки кірки слід брати ранньою весною, коли її кислотність максимальна;

3) для зразків слід брати зовнішні ділянки кірки, що мають максимальну кислотність;

4) товчуть зразки кірки, додають дистильовану воду, а потім вимірюють кислотність pH-метром зі скляним електродом.

У результаті оцінки стану лісів і парків, що зазнають значного впливу SO_2, встановлена залежність між кислотністю кірки дерев і концентрацією SO_2 в повітрі і опадах. В міру зменшення відстані до центру міста показник pH кірки клена, ясена, липи і в'яза знижувався з 5,0 до 3,0, а вміст сірки збільшувався в середньому з 0,25 до 0,45%.

Таким чином, ступінь пошкодження листків (хвої) рослин, аналіз накопичення сірки в органах, підвищення кислотності кірки можуть бути вихідними даними у моніторингу забруднення довкілля SO_2.

Бімоніторінг SO_2 за допомогою нижчих рослин

Мохи та лишайники. Як вже описано в розділі 2.3**,** лишайники є широко поширеними примітивними нижчими рослинами. Вони не мають судинних тканин і коренів. Всі поживні речовини з водних розчинів надходять

безпосередньо в талом. Лишайники можуть поглинати сірку з повітря і запасати її в надмірних кількостях. Вони широко використовуються як біомонітори SO_2.

Для контролю стану атмосферного повітря використовують мохи (*Hypnum copressiforme, Heloconium splendens, Pleurozium schrebens*). Оскільки в них відсутня коренева система, то поглинання забруднюючих речовин відбувається переважно з повітря. Зазвичай для аналізу застосовується трирічний приріст, який легко ідентифікувати.

Часто лишайники використовуються в поєднанні з епіфітними мохами, оскільки і ті й інші перебувають на стовбурах дерев і у їх основи. Існує досить багато методів оцінки чутливості епіфітних мохів та лишайників до впливу SO_2 в природних і лабораторних умовах. Універсального критерію оцінки ще не існує, і в природних умовах часто оцінюються наступні показники:

1) загальна кількість видів,

2) ступінь покриття кожного виду,

3) частота зустрічальності кожного виду,

4) максимальна чисельність кожного виду.

Використання епіфітних лишайників і мохів як біомоніторов SO_2 поряд з певними перевагами має ряд недоліків. Однак переваги переважують недоліки, і тому мохи та лишайники широко застовуються для визначення вмісту SO_2 в атмосферному повітрі.

Картування. Крім впливу сірки, накопиченої з двоокису сірки, лишайники і мохи відчувають також вплив SO_2 внаслідок зміни pH кірки дерев, на яких вони ростуть. Кірка дерев може абсорбувати сірку з розбавлених розчинів, і в залежності від її структури і властивій буферної здатності pH кірки може знижуватися за рахунок накопичення в ній сірки.

Це було визначено для деяких дерев у залежності від зменшення відстані від центру міста. В результаті зміни pH кірки значно змінюється кількість представлених видів епіфітів, тобто має місце певна сукцесія, що виражається в зникненні видів, чутливих до впливу SO_2. Деякі дослідники простежили подібні зміни pH кірки дерев у природних умовах і об'єднали дані своїх спостережень з даними про концентрації SO_2, які були отримані за допомогою приладового моніторингу, для створення карт районів з підвищеним вмістом SO_2.

Для визначення відносної чутливості мохів та лишайників до впливу SO_2 необхідно графічно зобразити поширення окремих видів, які ростуть на стандартному субстраті в конкретному районі або на станції моніторингу, де концентрації SO_2 в навколишньому повітрі реєструється приладами.

Розроблено числовий індекс для оцінки площі покриття і частоти зустрічальності кожного виду лишайників, які спостерігали на станції моніторингу SO_2.

Трансекти часто розташовують на прямій від зони з високими концентраціями SO_2 до порівняно незабруднених або чистих районів. Ці трансекти можуть бути дуже довгими, до 40 км в довжину і більше. Визначення та оцінка епіфітних мохів та лишайників проводиться в різних точках вздовж трансекти, оскільки в міру віддалення від забрудненої зони відбувається зміна видів.

О.Л. Гілберт простежив поширення чутливого до впливу SO_2 лишайника *Evernia prunastri* і нечутливого до SO_2 виду *Lecanora conizaeoides* на деревах ясена звичайного (*Fraxinus excelsior*) уздовж 32-кілометрової трансекти. Як критерій він використовував площу покриву (%). *E. prunastri* був виявлений приблизно в 12 км від центру міста, площа його покриву збільшувалася до 40 % в чистій зоні (в 32 км від центру міста). У той же час площа і щільність покриву *L. conizaeoides* збільшувалися в міру скорочення відстані до центру міста і зменшувалася зі збільшенням відстані від центру. Талом *L. conizaeoides* важко намочити, оскільки він покритий великою кількістю фумарпротоцетатичної кислоти, що робить його несприйнятливим до дії SO_2 і чудовим індикаторним видом.

Уздовж трансекти можна визначити зони в залежності від домінування епіфітних видів або форм росту. Знаходження цих зон можна співвіднести з вимірюваними концентраціями SO_2 і визначити зв'язок між розподілом і переважанням епіфітних видів і концентраціями SO_2.

Д.Л. Хоуксворс і М.П. Роуз розробили більш складну схему з десятьма зонами, які відрізняються вмістом SO_2. Після визначення меж зон проводиться розподіл ділянок спостережень у відповідних зонах уздовж трансекти. Потім за допомогою символів ці ділянки позначаються на карті. Поєднавши ідентичні зони контурними лініями, можна побудувати ізоплети (поширення SO_2 на досліджуваній території). Визначення контурів зон з відомими концентраціями SO_2 (ізоплети) дозволяє вибрати індикаторні види епіфітів. Виявлено високий ступінь збігу поширення видів лишайників у межах зон з ізоплетами і поширення SO_2. Виявлено три ідентичних види лишайників, поширення яких відповідає середнім річним концентраціям SO_2. Використовуючи мохи та лишайники, можна визначити середні річні концентрації SO_2, що лімітують появу індикаторних видів.

Вивчення забруднення повітря SO_2 за допомогою пересаджування лишайників. Розроблено метод пересаджування лишайників з дерев, що ростуть у чистих зонах в зони зі значним забрудненням. Круглі диски кірки з лишайниками зрізують зі здорових дерев. Через певні проміжки часу (4–12 місяців) оцінюють зміни пересаджених лишайників. Розвиток пересаджених лишайників визначають шляхом порівняння фотографій.

Пересаджування лишайників широко застосовується в Європі. Зразки кори з *Hypogymnia physodes* розміщуються на дерев'яних щитах на дослідних ділянках по всій території Германії.

Цей метод використовували для пересаджування лишайників і мохів, за якими протягом року велося постійне спостереження. Для оцінки стану пересаджених епіфітів район був розділений на п'ять зон з різною концентрацією SO_2.

Зона	*Середня річна концентрація SO_2, млн $^{-1}$*
I	0,30 - 0,42
II	0,20 - 0,30
III	0,01 - 0,20
IV	0,005 - 0,01
V	<0,005

На основі довгострокової програми спостережень був зроблений висновок про те, що, якщо концентрація SO_2 була нижчою 0,002 млн$^{-1}$, пошкодження пересаджених мохів або лишайників не відбувалося. У зонах, що знаходяться в безпосередній близькості до джерел забруднення, більшість пересаджених мохів та лишайників загинуло або було сильно пошкоджено (за Меннінг, Федер,1988).

Для проведення статистичного аналізу даних з кожної дослідної ділянки відбирали по десять проб з кожного щита. При середньорічній концентрації SO_2, що дорівнює 0,23 мг/м^3, *H. physodes* загинула через 29 днів. У районах із низьким вмістом SO_2 (в середньому 0,08 мг/м^3) в 60% випадків некроз таломів *H. physodes* спостерігався через 68 днів. Втрати визначалися за допомогою інфрачервоної фотографії та планометричних вимірів здорових і пошкоджених поверхонь таломів. Було зроблено висновок: *H. physodes* є чутливим індикатором низьких концентрацій SO_2.

Фітомоніторинг другорядних забруднюючих речовин

Аміак

Як і у випадку впливу NO_3, ураження рослин відбувається тільки за високої концентрації NH_3. Дія NH_3 на рослини ще недостатньо досліджена. Найбільш чутливі до його дії її листки середнього віку. Вони можуть стати тускло-зеленими, а потім бурими і чорними. Можливе збільшення pH листка, що призводить до зміни його забарвлення. При впливі низької концентрації NH_3 на нижньому боці листків з'являються глянцевість або сріблястість, що можна помилково прийняти за пошкодження рослин ПАН. Помічено, що у пагонів яблуні NH_3 може викликати зміни забарвлення від пурпурового до чорного на ділянках навкруги сочовичок.

Бор

У рослин, що знаходяться біля джерела викидів бору (підприємства скловолокна, печей, рефржераторів) спостерігається крайовий і міжжилковий некроз, а також плямистість. Листки набувають чашоподібної форми і деформованість. Гостре ураження відзначається на відстані до 200 м від джерела, воно значно послаблюється на відстані 500 м. Чутливими до дії бору є жостір, горіх сірий, каркас, жимолость, клен, шовковиця, таволга і дикий виноград. В'яз, бузок, груша, бірючина, айлант і більшість трав'янистих рослин виявилися доволі стійкими.

Хлор і його сполуки

Хлор широко використовується в промисловості як окиснювач. У разі аварій з викидом цього газу відбувається дуже сильне ураження рослин. Ознаки пошкодження хлором описані для ряду рослин. По краях листка з'являються плями від темно-зеленого до чорного кольорів, які потім знебарвлюється до білого або стають бурими. Ознаки пошкодження листків між жилками подібні до ознак ушкодження SO_2. Можлива поява на листках крапинок, що нагадує результати дії O_3. У хвойних, як і за дії O_3, може виникнути некроз кінчиків голок і плямистість. Гірчиця, піщанка і соняшник чутливі до дії Cl_2. На рис. 27 представлені листки рододендрона і малини, що уражені хлором.

Хлористий водень і соляна кислота. Хлористий водень інколи надходить в атмосферу з локальних джерел. Це дуже гігроскопічний газ, який може перетворюватися в атмосфері в аерозольні краплі соляної кислоти. Описано велике різноманіття ознак впливу цих речовин на рослини. Типовою реакцією на вплив є міжжилковий і крайовий хлороз, потім наступає некроз, що проявляється в зміні кольору від жовтого, бурого, червоного до чорного. Межі некротизованих ділянок можуть бути від білого до кремового кольору. Ознаки

ураження листків томатів нагадують ознаки ураження ПАН. До ознак пошкодження рослин аерозолем соляної кислоти можна відносити крапинки, або точки від червоно-коричневого до чорного кольору, а соляною кислотою – листкову плямистість, уражена площа облямується білою або кремовою смугою (відбувається відмирання тканин у центрах плям). Подібне явище спостерігається на листках сливи. У рослин хлориди, як і фториди, часто акумулюється у верхівках листків. Аналіз пошкоджених листків дозволяє встановити в них рівень хлоридів (Меннінг, Федер, 1988).

1 2

Рис. 27. Ураження листків рододендрона (1) і малини (2) хлором

Контрольні запитання

1. Опишіть характерні пошкодження листків різних видів рослин SO_2.
2. Назвіть основні біоіндикатори SO_2.
3. Назвіть біоіндикатори, що чутливі до дії атмосферного двоокису сірки в залежності від тривалості вегетаційного періоду.
4. Який вид рослин є найчутливішим до дії SO_2?
5. Яку роль відіграє хімічний аналіз вмісту сірки у листках рослин у моніторингу SO_2?
6. Розкажіть про основні симптоми синдрому хлоротичної карликовості проростків сосни Веймутова.
7. Розкажіть про використання сосни звичайної і тополі осикоподібної в моніторингу SO_2.
8. На чому базується використання короку деревних рослин для моніторингу SO_2?

9. Яка схема аналізу застосовується для визначення кислотності короку деревних рослин?
10. Чому мохи і лишайники є інформативними біоіндикаторами забруднення SO_2?
11. Як визначають відносну чутливість мохів і лишайників до SO_2?
12. Який вид лишайника найбільш чутливий до SO_2, а який несприйнятливий?
13. В чому полягає метод вивчення забруднення повітря SO_2 за допомогою пересаджування лишайників?
14. Назвіть ознаки ушкодження рослин хлором.
15. Які рослини найбільш чутливі до дії хлору?
16. Опишіть ознаки ушкодження рослин хлористим воднем.
17. Які рослини можуть бути індикаторами забруднення довкілля бором?
18. Які рослини можуть бути індикаторами забруднення довкілля аміаком?
19. Опишіть ознаки ушкодження рослин соляною кислотою? В яких частинах листків рослин накопичуються хлориди.

2.7.Фітомоніторинг фотохімічних оксидантів та фторидів

2.7.1. Фітомоніторинг фотохімічних оксидантів

Трьома основними компонентами фотохімічного смогу є озон, пероксіацилнітрати і оксиди азоту. Відомі чотири пероксіацилнітрата: пероксіацетилнітрат (ПАН), пероксіпропіонілнітрат, пероксібутирилнітрат і пероксіізобутирилнітрат. Єдина добре вивчена в даній групі речовина – це ПАН, що є також єдиним компонентом, що входять до складу фотохімічного смогу при фітотоксичних концентраціях останнього. Тому з ряду пероксіацилнітратів ми розглядаємо лише один. До окисидів азоту (NO_x) відносяться оксид азоту (NO), двооксид азоту (NO_2) і пятиоксид азоту (N_2O_5), з яких тільки NO і NO_2 вважаються фітотоксичними. Однак у порівнянні з O_3 і ПАН вони відносно не фітотоксичні.

Фонова концентрація O_3 складає близько 0,02–0,04 млн$^{-1}$, ПАН – менше 0,01 млн$^{-1}$. Концентрація NO_x змінюється в широких межах і в значній мірі залежить від інтенсивності руху транспорту, в містах вона коливається від 0,10 до 0,30 млн$^{-1}$. У Каліфорнії було зареєстровано підвищення концентрації озону до 0,50–0,70 млн$^{-1}$ протягом однієї год. Відзначено випадки підвищення концентрації ПАН до 0,06 млн$^{-1}$ протягом двох годин, а NO_x до 0,50 млн$^{-1}$ і

вище протягом однієї години. Всі оксиданти є газоподібними забруднюючими речовинами і їх утворення, концентрація і дисперсія в повітрі залежить від умов погоди.

Фітомоніторинг озону

Серед великої кількості природних і вирощуваних багаторічних і однорічних рослин відомо всього кілька видів, чутливих до дії озону. Деякі з них використовуються для біомоніторингу озону в навколишньому повітрі.

Тютюн. «Погодна плямистість» тютюну (*Nicotiana tabacum* L .) – хвороба, яка викликається атмосферним озоном і являє собою специфічну реакцію на вплив O_3 (рис.27). Сорт '*Bel-W3'* надзвичайно чутливий до низьких концентрацій O_3. Ступінь пошкодження листя можна співвіднести з концентрацією O_3 в навколишньому повітрі. Сорт '*Bel-B*' дуже стійкий до дії O_3 і може бути використаний для порівняльного вивчення спільно з '*Bel-W3'*.

У.В. Меннінг, У.А Федер (1988) встановили, що, незважаючи на позитивну кореляцію між ступенем пошкодження листя і концентрацією O_3 в повітрі, дана залежність є нелінійною. Однак, у деяких роботах показана можливість встановлення лінійної залежності за умови збільшення числа рослин на дослідній ділянці, площі цієї ділянки, а також розширення мережі дослідних ділянок.

Після висадки рослин обох сортів за ними ведуть спостереження і реєструють ступінь пошкодження рослин кожного сорту. Ступінь ураження сорту '*Bel-W3*' можна співвіднести з виміряною приладами концентрацією O_3 і вивести математичну залежність між рівнем пошкодження рослини і концентрацією O_3 в навколишньому повітрі. Різниця між ступенями ушкодження чутливого до впливу O_3 сорту '*Bel-W3*' і стійкого до впливу O_3 сорту '*Bel-B'* є мірою якості повітря відносно O_3 (Меннинг, Федер, 1988)

Вирощування рослин. Насіння тютюну сортів '*Bel-W3*' і '*Bel-B'*, взяті з одного джерела, висівають у ґрунт з вермикулітом і поливають живильним розчином Хогланда (половинної концентрації). Проростання насіння і ріст рослин відбуваються при постійному освітленні і температурі близько 24° С в камері з фільтрами з деревного вугілля (для видалення оксидантів і SO_2). Проростки пересаджують у маленькі паперові горщички, заповнені ґрунтовою сумішшю, що складається з торфу та перліту (у відношенні 1: 1), а також вапна і гіпсу. Рослини поливають розчином Хогланда (половинної концентрації) до стадії четвертого листка. Потім їх, не виймаючи з паперових горщиків, пересаджують у горщики діаметром приблизно 25 см, які заповнені тієї ж

сумішшю, і поливають водопровідною водою, раз у тиждень, підживлюючи рідким добривом NPK 15-15-15. Слід ретельно оберігати рослини від вірусу тютюнової мозаїки і комах-шкідників типу білокрилки. Обов'язковою умовою вирощування рослини є очищення повітря від O_3 (за допомогою фільтрів на деревному вугіллі) до моменту їх висаджування в поле. Найменші проростки виявляться пошкодженими навіть при впливі на них дуже низької концентрації O_3. Рослини слід висаджувати на відкритому повітрі приблизно через п'ять тижнів після їх пересаджування в паперові горщики. Рослини, які висаджують, повинні мати щонайменше чотири справжніх листка, бути однаковими за кольором і розміром і не схильними до хвороб і шкідників.

Рослини висаджують в 7-літрові пластикові відра, що мають дренажні отвори. Відра заповнені сумішшю ґрунт-торф-перліт. Ґрунтову суміш слід готувати заздалегідь, її має вистачити для посадки на одній ділянці по 36 рослин за два рази або 72 рослини за один раз. В результаті отримаємо 114 рослин, тобто на кожній дільниці буде по 72 рослини сорту ‘*Bel-W3*‘ і 72 рослини сорту ‘*Bel-B’*. При пересадці рослин у відра або інші контейнери слід обережно поводитися з їх кореневою системою. Будь-яке пошкодження рослини в процесі пересадки може змінити реакцію на вплив O_3.

Ділянка повинна мати площу не менше 30 м ^{2}. Її розбивають на квадрати. У вузлах сітки слід забезпечити затінення для зниження освітленості на 40–50 %. З цією метою можна використовувати пластик або марлю, можна також використовувати природну тінь від дерев, що не перешкоджають вільному доступу вітру, або тенти, які слід робити відкритими з чотирьох сторін для вільного руху повітря в усіх напрямках.

По чотири рослини кожного сорту поміщаються в ряд, розрахований на 8 рослин; таким чином на кожну дослідну ділянку висаджується по 72 рослини. Ділянка повинна бути розташована так, щоб вона продувалася в будь-якому напрямку, а також щоб був безперешкодний доступ до води. Якщо це неможливо, необхідно використовувати зрошувану ділянку. Ємності з водою слід заглибити в ґрунт по самі вінця для забезпечення необхідної вологості ґрунту. Обробку проти шкідників необхідно проводити щотижня, використовуючи інсектицид малатмон, що не впливає на чутливість рослини до O_3. Рослини слід поливати й удобрювати один раз у тиждень рідким добривом NPK 15–15–15. Не слід допускати в'янення рослини, оскільки недостача вологи змінює чутливість рослини до дії O_3. Через три тижні дві з перших чотирьох рослин замінюються свіжими рослинами. З цього моменту кожні три тижні до

кінця вегетаційного періоду дві старі рослини замінюються на нові, за рахунок цього забезпечується наявність чутливих до O_3 листків.

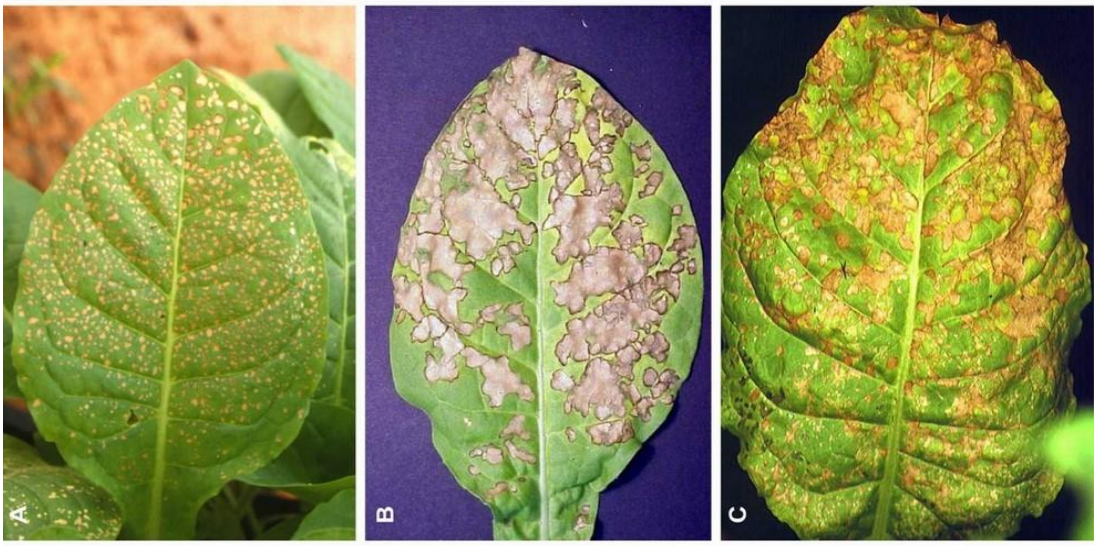


Рис. 28. Ураження листків тютюну озоном

Збір та обробка даних. Слід вимірювати такі фізичні параметри, як температура повітря, кількість опадів, швидкість і напрям вітру. Для віддалених ділянок деяку інформацію про метеорологічні елементи можна отримувати з метеостанцій. Дані про пошкодження рослин слід збирати регулярно через певні проміжки часу, зазвичай один раз у тиждень. Стан листка, з якого почали облік під №1 (найстаріший, що розпустився), має оцінюватися щотижня в один і той же день і годину і тим же самим спостерігачем. Для оцінки ступеня пошкодження листя (у %) можна використовувати фотографії листків з різним ступенем пошкодження (рис. 28).

Спостерігач повинен візуально визначити площу пошкоджених ділянок кожного листка і загальну площу пошкодженої листкової поверхні за шкалою від 0 до 100 % і 5 % інкремента. Загальна площа пошкодженої листкової поверхні для кожного разу оцінюється при зведенні оцінок збитків окремим листкам в сумарну колонку за заготовленою формою. Кожна рослина має мати окрему облікову форму. Мертві або повністю пожовклі листки оцінюються як 100%-во пошкоджені. Кількість нових листків, які розвивалися між періодами спостережень, також має реєструватися. Кількісно нове пошкодження листя оцінюється шляхом визначення різниці між послідовними показаннями. Для оцінки слід визначити наступні параметри: 1) площа (у %) пошкодженої поверхні кожного листка, підсумована для асиміляційної поверхні всієї рослини; 2) нові пошкодження на кожній рослині за певний період (враховуються за різницею сукупних показань між початком і кінцем періоду);

3) площа поверхні кожного листка (довжина від основи до верхівки, максимальна ширина листової пластинки).

Можна підсумовані дані також і наступним чином: 1) загальне пошкодження – сума пошкоджень окремих листків за кожну добу; 2) нове пошкодження листків (щотижня); 3) нове пошкодження листків (загальне); 4) загальне число листків через місяць; 5) загальна площа листкової поверхні через місяць. Дані, які представлені графічно, легше інтерпретувати. Можливо кілька типів кривих. Якщо на одній осі відкласти значення ступеня пошкодження листя за тиждень або число пошкоджених листків за тиждень, а на інший – час, що минув, то отримаємо криву загального пошкодження в часі. Якщо реєстраційний прилад знаходиться поблизу дослідної ділянки, то графічно можна відзначити загальне пошкодження листя і загальний вміст O_3 або число випадків, коли концентрація O_3 перевищувала 0,04 млн$^{-1}$ протягом 4 год. і більше. Форму кривих, що відображують реакції двох сортів тютюну (‘*Bel-W3’* і ‘*Bel–B’*) на вплив O_3, при певних умовах можна виразити математично і оцінити візуально. Порівняння нахилів цих кривих відображає якість повітря відносно вмісту O_3. Криві, що круто піднімаються для обох сортів, вказують на наявність високих концентрацій O_3; крутизна кривої для сорту ‘Bel-W3’ і згладжена крива для сорту *‘Bel-B’* вказує на низький вміст O_3, згладжена крива для *‘Bel-W3’* і пряма (відсутність нахилу) для ‘Bel-B’ вказують на низьку концентрацію O_3, а відсутність нахилу (плато) для обох сортів означає фоновий вміст O_3, тобто приблизно 0,02–0,03 млн$^{-1}$ за одну год (але стандарт для O_3 в США 0,12 млн$^{-1}$ за одну год. не повинен перевищувати більш ніж один раз на рік).

Квасоля. Відомо, що деякі сорти звичайної садової квасолі дуже чутливі до дії O_3. На старіших листках рослин з'являються опіки і/або зернистість з подальшим хлорозом і обпаданням листя (рис. 29).

Рис. 29. Ураження листків квасолі сорту ‘*Пінто111*’ озоном

Сорти кущової квасолі ‘*Tempo*’ і квасолі ‘*Pinto111*’ використовуються як біомонітори O_3. Обидва сорти легко пророщуються з насіння і не вимагають спеціальних методів агротехніки. Квасоля може використовуватися в природних умовах як короткочасний біомонітор O_3. Пропонується швидкий і простий метод оцінки ушкодження листків квасолі сорту ‘*Пінто*’ за зменшенням в них вмісту хлорофілу.

Виноград. В якості біомоніторов O_3 можна також використовувати деякі сорти винограду лабруска (*Vitis labruska* L.). За ступенем пошкодження листя або врожайності цієї багаторічної деревної рослини можна судити про реакцію рослини на вплив O_3. Сорт ‘*Ives’* чутливий до впливу O_3, а сорт ‘*Delaware*’ толерантний. За чутливістю до впливу O_3 ці два сорти винограду схожі з описаними вище двома сортами тютюну ‘*Bel-W3’* і ‘*Bel-B’*.

Симптоми ушкодження винограду озоном з’являються переважно на старих листках у вигляді невеликих міжжилкових плям (від 0,1 до 0,5 мм у діаметрі) тільки на верхньому боці листків. Крапки найчастіше коричнево-бронзові або темнокоричневі. Тканини жилок, що оточують осередок зараження, залишаються зеленими. Уражені листки з часом обпадають. Вплив озону на листки найбільш сильний в жарку, вологу погоду.

Дані багаторічних спостережень за цією рослиною можуть слугувати для оцінки річного врожаю, зібраного з 1 га, і вміст цукру в плодах. Саме за цими показниками можна судити про вплив O_3 на рослини.

Сосна Веймутова. В якості ще однієї рослини-монітора розглянемо таке дерево, як, наприклад, східна сосна Веймутова (*Pinus strobus* L). Це вічнозелена хвойна голонасінна рослина. Сосна Веймтова і сосна віргинська (*Pinus virginiana* Mill.), як і *Nicotiana tabacum*, *Vitis vinifera*, мають різновиди, що розрізняються відповідною реакцією на вплив O_3. Ці різновиди можуть бути виведені і отримані у великій кількості у вигляді живців або проростків, або щеплених рослин.

Сосну Веймутова можна використовувати в якості монітора, при цьому слід визначати пошкодження голок або пагонів, або ж зміни показників вторинного радіального приросту стовбура. Пошкодження кінчиків голок, їх крапчатість, втрата і затримка росту – це все ознаки пошкодження сосни O_3. Вплив високих концентрацій O_3 викликає сильний опік кінчиків голок, вони буріють (рис. 30).

У результаті впливу більш низьких концентрацій O_3 пошкоджується молода тканина хвої, котра розвивається, що викликає появу на кінчиках

наймолодших голок сосни Веймутова хлоротичних плямистостей, які пізніше розповсюджуються на більш старі голки. Потім починається опадання хвої.

Рис 30. Ураження голок сосни Веймутова озоном

Сильно пошкоджені дерева можуть втратити старішу і зрілу хвою, зберігши лише пучки незрілих хвоїнок на кінцях гілок. Ці ознаки не слід змішувати з синдромом хлоротичної карликовості сосни Веймутова, котра викликається впливом суміші O_3 і SO_2 і характеризується, як вже відмічалося, низькорослими деревами з пригніченими верхівками і корінням, короткими і скрученими плямистими голками і передчасним їх опаданням. Цей синдром можна використовувати для фітомоніторингу O_3 і SO_2 в навколишньому повітрі з метою отримання уявлення про його якість.

Досить чутливими до дії озону є листки таких деревних рослин, як ялівець, калина гордовина, ясен звичайний, вільха чорна, клен несправжньоплатановий (рис. 31). Характер пошкодження листків озоном визначається його концентрацією та зовнішніми факторами

Озон ушкоджує листки (рис. 31), пригнічує ріст сільськогосподарських рослин (додаток 1), а отже і знижує їх продуктивність. До найбільш чутливих до озону сільськогосподарських культур за ступенем зниження врожайності відносяться цибуля, шпинат, салат-латук, буряк, соя, люцерна, помірно чутливі – картопля, ячмінь, кукурудза. На фоні невеликого пошкодження листків врожай винограду знижується на 50–70 %. Озон, що містився в забрудненій атмосфері, зменшував урожай бавовнику на 20–30 %, плодів цитрусових – на 30–40 %.

Японські дослідники запропонували в якості індикатора забруднення повітря озоном рослини іпомеї пурпурної сорту ‘*Scarlet O’Hara’*.

Калина гордовина

Ясен звичайний

Платан західний

Вільха чорна

Салат-латук

Буряк звичайний

Цибуля городня

Петрушка городня

Рис. 31. Чутливість до озону різних рослин

Фітомоніторинг ПАН

Для моніторингу ПАН найбільш придатними рослинами є салат посівний (*Lactuca sativa* L), буряк (*Beta chilensis* Hort) і тонконіг однорічний (*Poa annua* L.). Листя цих трав'янистих рослин чутливе до дії ПАН, але несприйнятливе до впливу O_3. Оскільки ці дві забруднюючі речовини, як правило, присутні в суміші, найбільш доцільно мати рослини-монітори, що реагують тільки на O_3 і тільки на ПАН. Оскільки дерева не чутливі до впливу ПАН, до числа можливих рослин-моніторів вони не входять.

Найпершою ознакою пошкодження рослини ПАН є водянистість або блискучість нижньої поверхні листка. При продовженні дії газу клітини губчастого мезофілу, які розташовані поблизу продихів, стискаються і заміщаються повітряними порожнинами, надаючи нижній поверхні пошкодженого листка сріблясте забарвлення. Через два або три дні сріблястий колір може змінитися на бронзовий. Іншою важливою і найбільш зручною ознакою пошкодження для визначення ПАН є «фасціація». Ці ознаки з'являються спочатку на верхівках самих молодих і чутливих листків (на противагу зрілим листкам, що вражаються O_3). У міру зростання і дозрівання листкових тканин пошкоджені ділянки набувають вигляду смуг. У результаті повторного впливу ПАН у того ж самого листка утворюється друга серія смуг, відокремлена від першої здорової тканиною. Після декількох впливів листок буде вражений повністю.

Всі вищевказані рослини можна виростити з насіння, що дозволить швидко продукувати і підтримувати їх великі популяції на основі створеного селекційного фонду. Після цього метод роботи буде аналогічним методу, описаному для тютюну за впливу на нього O_3. Кількісну оцінку даних, можливо проводити шляхом зіставлення ступеня пошкодження листків і часу, необхідного для ураження всіх листків на даній рослині. Число смуг на листі показує число впливів ПАН за певний відрізок часу. Однак ці смуги важко співвіднести з концентраціями ПАН у навколишньому повітрі в період впливу. Було б доцільно визначити залежність між шириною смуг на пошкодженому листі і концентрацією ПАН у повітрі.

Фітомоніторінг оксидів азоту

Діоксид і оксид азоту відіграють важливу роль в утворені O_3 у фотохімічному смозі, але їх роль як фітотоксикантів, ще не зовсім зрозуміла. Мабуть, тільки дуже високі концентрації, можуть викликати появу у рослин

ознак пошкодження. У деяких регіонах середня годинна концентрація NO_2 в повітрі влітку становить 0,08–0,15 млн$^{-1}$, а взимку – 0,24 млн$^{-1}$. Якщо прийняти, що NO_2 міститься менше половини цієї кількості, то важко уявити, яким шляхом відбувається пошкодження навіть чутливих рослин, які ростуть у тому «найгіршому» районі. Для того щоб викликати появу ознак пошкодження на листі чутливих рослин, необхідна дія 1,0 млн$^{-1}$ NO_2 протягом 24 год. Дослідження, в ході якого на 60 видів рослин впливали сумішшю NO й NO_2 у відношенні 1:1, показало, що токсичність NO_2 в п'ять разів менша за токсичність SO_2 і вплив 6 млн$^{-1}$ NO_2 протягом 8 год. викликає пошкодження декількох видів рослин, включаючи горох, кущову квасолю і люцерну. Гірчиця (*Sinapis arvensis* L.) є однією з найбільш чутливих до впливу NO_2 рослин, але навіть і цей вид не може бути ефективним монітором NO_x в навколишньому повітрі (Feder, Menning,1985).

2.7.2. Біомоніторинг фторидів за допомогою вищих рослин

В атмосфері фториди зустрічаються у вигляді газу, твердої домішки або у вигляді газоподібного фториду, адсорбованого іншою твердою домішкою. Газоподібний фтористий водень (HF) більш токсичний, ніж твердий фторид, тому значно більше відомостей про дію HF, ніж про інші фтористі сполуки. Фтористий водень присутній у викидах стаціонарних джерел плавильних заводів та інших промислових підприємств, що як правило, використовують алюміній. Хронічна дія HF викликає у рослин хлороз вздовж жилок листків, гостре пошкодження, HF-некроз по краях листів, що починається з верхівки листка і розповсюджується до його основи, внаслідок чого листки деформуються. У широколистяних рослин некроз починається з верхівки листків і розповсюджується до меж листкової поверхні. Серед однодольних як рослина індикатор широко застосовується гладіолус. В залежності від сорту рослини некротичне забарвлення її листків змінюється від білого до рудувато-бурого і бурого від верхівки листка до основи, чітка темно-бура смуга відділяє межу мертвої тканину від живої. Подібні ознаки пошкодження спостерігаються у тюльпана, півників, лілії. У хвойних рослин з'являються голки з обпаленими верхівками, краями або повністю обпалені. Особливістю дії HF є його здатність накопичуватися у найбільших кількостях у країв і у верхівках листків. Для оцінки зазвичай використовують аналіз тканин листка

Абрикос (*Prunus armeniaca* L.). Абрикос дуже чутливий до низьких концентрацій фторидів. Ознаки ушкодження спочатку з'являється по краях листків. Ушкоджені ділянки знебарвленої відмерлої тканини мають вигляд

напівкола (1–3 см у діаметрі), вони можуть з'єднуватися доти, поки некроз не розповсюджується по всьому краю листка. Вузька помітна червонувато-бура смуга відділяє відмерлу тканину він живої зеленої тканини. Відмерла тканина може відвалитися, але листки звичайно не відпадають. Найбільш чутливі до дії фторидів молоді листки, що активно розвиваються, котрі найчастіше зустрічаються на кореневих пагонах.

Хвойні. Широке використання в якості біомоніторів фторидів отримали два види хвойних: псевдотсуга тисолиста и сосна жовта.

Псевдотсуга тисолиста (*Pseudotsuga taxifolia*)

Порогова концентрація фторидів у хвої, за якої відмічається уповільнення росту дерев без інших ознак дії фторидів, становить 100–200 млн$^{-1}$. Ознаки ушкодження хвої проявляються при їх концентрації 200 млн$^{-1}$, загибель дерева при концентрації більше 500 млн$^{-1}$. Зменшення сухої маси хвої відмічається при концентрації фторидів 200 млн$^{-1}$, при цьому спостерігалось обпалення хвої. Оскільки псевдотсуга тисолиста – багаторічна рослина, оцінка розвитку цих дерев протягом тривалого часу в районах джерел викидів фторидів може бути добрим постійно діючим показником або мірою якості повітря за відношенням до фторидів.

Сосна жовта (*Pinus ponderosa*)

Знайдена лінійна кореляція між середнім ступенем пошкодження хвої і середньою концентрацією фторидів в атмосфері.

Гладіолус (*Gladiolus hybridus hort.*)**.** Для оцінки концентрації фторидів розглядається відповідна реакція, яка проявляється у пошкодженні листка (рис. 32). Зазвичай некротична тканина з'являється на верхівці листка, а потім розповсюджується по всій ширині листка або по краях, або по краях і по перететину. У сортів з більш світлими квітками некротичні ділянки часто бувають світло забарвлені. Рівна поверхня некротичної тканини свідчить про те, що рослини зазнають хронічної дії фторидів, а ряд коричневих смуг на некротичних тканинах – про періодичну зміну впливу фторидів. Кожна смуга являє собою відповідну реакцію на вплив.

Для проведення порівнянь чутливі сорти гладіолусу такі як '*Snow Princess*' і його нечутливі сорти, наприклад '*Mansoer*', слід вирощувати сумісно. Їх садять по одному або групами по 4–6 бульбоцибулин у вегетаційні посудини в оранжереях, у повітрі яких відсутні фториди. Коли рослини досягнуть висоти 25 см або на стадії появи 4-го – 5-го листка, їх пересаджують у природні умови в пунктах досліджень. Забезпечують полив, прополювання, ведуть боротьбу зі шкідниками і хворобами. Проводять оцінку ушкодження листків рослин (у %)

хоча б один раз у місяць. Зберігають проби некротичної і здорової тканини листків для аналізу на фториди. Ступінь ушкодження листків фторидами оцінюють декількома методами. Простішим з них є візуальна оцінка пошкоджень листка (%), що виконується у польових умовах (рис. 32). Ця оцінка співставляється з оцінками даних аналізу тканини листків на вміст фторидів.

Для визначення площі пошкодження і здорової тканини листка можна користуватися компенсуючим планіметром. Цей метод можна також застосовувати для визначення площі пошкодження за фотознімками листків, які отримані у пунктах моніторингу. Вимірюючи довжину пошкоджених і здорових ділянок, Д.Ф. Адамс зі спів. змогли розрахувати чисельний індекс шляхом помноження загальної довжини пошкодженої ділянки на 100 і поділом на загальну площу листка.

Для швидкої і безперервної реєстрації ушкодження фторидами листків гладіолуса можна використовувати лабораторну установку фотокопіювання. Для визначення площі ушкодження листків, що зображені на фотознімках, використовують планіметр.

Рис. 32. Ураження листків гладіолуса фторидами

Фрезія (*Freesia hybrida hort.*). Для мониторингу фторидів можна використовувати фрезію. Надається візуальна оцінка площі ушкодження листків (%), проводиться аналіз листків на вміст фторидів.

Відносні переваги використання рослин для біомоніторингу фторидів:

1. Існує багато вищих рослин і лишайників, які чутливі до фторидів;

2. Чутливі рослини характерним чином реагують на відомі концентрації фторидів;

3. Концентрацію фторидів у рослинах можна точно визначити;

4. Можна встановити залежність між чутливістю рослин і концентрацією фторидів;

5. Зі збільшенням концентрації фторидів у повітрі і рослинах ушкодження проявляється більш яскраво.

Недоліки використання рослин для біомоніторингу фторидів:

1.Чутливі рослини вирощують в оранжереї, у повітрі якої відсутні фториди, потім пересаджують у природні умови;

2. Відповідна реакція на вплив фторидів у чутливих рослин проявляється не відразу;

3. За ознаками не можна визначити дозу (концентрація – час) за наступними причинами:

а) частина фторидів змивається дощем;

б) частина фторидів може бути переведена в менш шкідливі форми самою рослиною, склад живильної системи може вплинути на прояв ознак;

в) ознаки ушкодження фторидами можуть бути подібними до ознак, що викликані, нестачею вологи, низькою температурою, факультативним паразитом.

Для того, щоб достовірно визначити, що в даному районі ушкодження рослин викликані дією атмосферних фторидів, дані спостережень слід розглядати сумісно з результатами аналізу на вміст фторидів у рослині, а якщо можливо з їх концентрацію в атмосфері.

Біомоніторинг фторидів здійснюють також за допомогою нижчих рослин. Відповідна реакція лишайників на дію фторидів, що присутні в атмосфері, подібна до їх реакції на дію оксида сірки (зникнення, змешення площі, пригнічення плодоношення, послаблення росту тощо). Для оцінки накопичення фторидів у таломах лишайників використовують ті ж хімічні методи, що і для іх визначення у вищих рослинах.

Контрольні запитання

1. Які види рослин використовують для біомоніторингу озону в навколишньому повітрі?
2. Які сорти тютюну застосовують для біомоніторингу озону? Як вирощують рослини тютюну для біомоніторингу озону?
3. Як проводиться збір даних при здійсненні моніторингу озону з використанням тютюну?
4. Розкажіть про використання квасолі в якості біоіндикатора озона?

5. Сорти якого виноград застосовують в якості біоіндикаторів O_3?
6. Розкажіть про використання сосни Веймутова як біоіндикатора озону.
7. Які рослини рекомендують для моніторингу фторидів?
8. Розкажіть про хвойні рослини-індикатори забруднення довкілля фторидами.
9. Яка відповідна реакція гладіолуса розглядається для оцінки концентрації фторидів у повітрі?
10. Назвіть переваги і недоліки використання рослин для біомоніторингу фторидів.
11. Опишіть синдром карликовості сосни Веймутова.
12. Які рослини найбільш придатні для моніторингу ПАН?
13. Які найперші ознаки ушкодження рослин ПАН?
14. Якого вигляду набувають ділянки листків рослин, що пошкоджені ПАН, в міру зростання і дозрівання листкових тканин?
15. Токсичність якого газу більша для рослин NO_2 чи SO_2? У скільки разів?
16. Яка культура рослин найбільш чутлива до NO_2?
17. Як здійснюють біомоніторинг фторидів з використанням гладіолусу?
18. Назвіть чутливі й нечутливі сорти гладіолусу до дії фторидів, що використовують для біомоніторингу цих полютантів.

2.8. Моніторинг антропогенного впливу на стан лісових екосистем

З другої половини XX ст. в усіх індустріально розвинених країнах світу спостерігаються широкомасштабні пошкодження лісів. Великі території лісових екосистем зазнають негативного антропогенного впливу. Особливо важливо враховувати можливість їх слабких хронічних порушень, які можуть викликати незворотні зміни. Небезпека хронічних порушень під впливом помірного антропогенного навантаження полягає в повільному, але постійно прогресуючому охопленні великих просторів протягом тривалого часу. Поступову деградацію лісових екосистем можна виявити тільки при уважному вивченні з використанням методів ранньої діагностики. Це може бути здійснено шляхом організації моніторингу. Моніторинг лісових екосистем реалізують у 40 країнах Європи. Існує Міжнародна сумісна програма оцінки та моніторингу дії забруднення повітря в лісах (ICP Forests). Ця програма виконується під керівництвом Європейського Союзу та Європейської Економічної комісії ООН

з виконання Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані. Для країн, що приймають участь у пан'європейському процесі відносно захисту лісів, обов'язковим є здійснення моніторингу лісових екосистем. В Україні з 1995 р. виконується інтенсивний моніторинг II рівня (Forest Health Monitoring (FHM), який був розроблений у США. Він спирається на сукупність методів моніторингу стану лісу. Крім визначення дії на ліси стресових чинників, на моніторингових ділянках виявляють основні показники лісових екосистем, які потрібні для аналізу балансу вуглецю, видового фіторізноманіття, реалізації нових технологій їх дистанційного зондування тощо.

Для встановлення характеру антропогенного впливу на реакції лісового фітоценозу оцінюється вид, тривалість і інтенсивність порушень. Відзначається також залежність дії ушкоджуючого чинника від пори року, характеристик ґрунту і клімату. Джерелом інформації стосовно реакції фітоценозу на антропогенні порушення слугують результати спостережень за такими показниками ценотичного рівня:

1) матеріальний баланс, який включає екофізіологічні параметри, наприклад зміни газообміну;

2) просторово-структурні параметри, до яких відносять загальне число видів, чисельність особин, біомасу, ритм продуктивності.

До показників популяційного рівня відносять:

1) матеріальний баланс, який оцінюється за екофізіологічними показниками, що включають процеси первинного метаболізму – дихання, фотосинтез тощо;

2) структурну організацію популяції – розмір популяції, щільність популяції, її вікова структура.

Нерідко моніторинг у його сучасній реалізації обмежують оцінкою рівня стійкості популяції, який пов'язують лише з кількістю особин у ній. Для стійкого існування популяції необхідна не тільки підтримка певного рівня чисельності, але обов'язкова наявність кругообігу поколінь і достатнього рівня віталітету основної частини особин популяції. Ці показники розкриваються лише в процесі аналізу онтогенетичної і віталітетної структур популяції.

Оцінка життєвого стану дерев і деревостанів

Важливим у моніторингових дослідженнях фітоценозів є визначення життєвого стану дерев і деревостанів, що зазнають впливу антропогенного чинника. Виконання цієї процедури, абсолютно необхідно для здійснення

моніторингу лісів. Запропоновано ряд шкал для оцінки життєвого стану дерев у насадженнях. Так, для визначення стану рослин у промислових районах найчастіше використовують шкалу М.П. Красинського у модифікації Ю.З. Кулагіна (1974). У степовій зоні для визначення стану деревних порід у захисних насадженнях доцільно застосовувати шкалу Л.С. Савельєвої (1979). Згідно з цією шкалою стан рослин визначається за такими показниками: форма крони , стан стовбурів, ступінь усихання пагонів та гілок, ріст водяних пагонів і «вовчків», особливості росту. Ця шкала включає вісім ступенів ушкодження.

Обговоренню й оцінці методів діагностики *життєвого стану дерев* і деревостанів присвячена робота В.А. Алексєєва (1982). Запропонована нижче модифікація шкали категорій життєвого стану дерев за характеристиками крони може бути використана в пошкоджених і непошкоджених лісах. Як і в шкалі «Санітарних правил…», тут використовуються найбільш загальні і значущі ознаки.

1. Здорове дерево. Дерева не мають зовнішніх ознак пошкодження крони та стовбура. Густота крони звичайна для панівних дерев (I–II класів зростання в разі застосування класифікації Крафта). Мертві та відмираючі гілки зосереджені в нижній частині крони, у верхній її половині великих відмерлих і відмираючих гілок немає або вони поодинокі і по периферії крони їх не видно. Листя і хвоя, що закінчили ріст зеленого або темно-зеленого кольору. Тривалість життя хвої типова для регіону. Будь-які пошкодження листя і хвої незначні (<10%) і не позначаються на стані дерева.

2. Пошкоджене (ослаблене) дерево. Обов’язкова хоча б одна з наступних ознак: а) зниження густоти крони на 30 % за рахунок передчасного обпадання або недорозвинення листя (хвої) або зрідження скелетної частини крони; б) наявність 30 % мертвих і (або) усихаючих гілок у верхній половині крони; в) ушкодження (об’їдання, скручування, опік, хлороз, некрози і т. д.) та вимкнення з ассиміляйної діяльності 30 % всієї площі листя (хвої) комахами, патогенами, пожежею, атмосферним забрудненням або з невідомих причин.

До категорії пошкоджених (ослаблених) відносяться також дерева з одночасною наявністю ознак «а» – «в» та іншими пошкодженнями (включаючи стовбур і кореневі лапи), що проявляються в менших розмірах, але приводять до сумарного ослаблення життєвого стану дерева на 30 %.

3.Сильно пошкоджене (сильно ослаблене) дерево. Обов'язкова хоча б одна з наступних ознак: а) зниження густоти крони на 60 % за рахунок передчасного обпадання листя (хвої) або прорідження скелетної частини крони; б) наявність 60% мертвих і (або) усихаючих гілок у верхній половині крони; в) ушкодження

(об'їдання, скручування, опік, хлороз, некрози і т. ін.) та вимкнення з асиміляційної діяльності 60% усієї площі листя (хвої) шкідниками, патогенами, пожежею, атмосферним забрудненням або за невідомих причин; г) відмирання верхівки крони.

До цієї категорії належать також дерева з одночасною наявністю ознак «а» – «г» й іншими ушкодженнями (включаючи стовбур і кореневі витоки), що проявляються в менших розмірах, але призводять до сумарного ослаблення життєвого стану дерева на 60 %.

4. Відмираюче дерево. Основні ознаки відмирання дерев: крона зруйнована, її густота менша 15–20% у порівнянні зі здоровою; більше 70% гілок крони, в тому числі її верхньої половини, сухі або всихаючі. Хвоя і листя, що залишилися на деревах, хлоротичні: вони блідо-зеленого, жовтуватого, жовтого або оранжево-червоного кольору.

Некрози мають білявий, коричневий або чорний колір. При забрудненні атмосфери велика частина повністю некротизованого (відмерлого) листя і хвої швидко облітає. У комлевій середній частині стовбура можливі ознаки заселення стовбуровими шкідниками.

5а. *Свіжий сухостій.* До нього відносяться дерева, що загинули менше року потому. Можлива наявність залишків сухої хвої або не опалого сухого листя. Кора та багато дрібних гілок часто бувають цілі, як правило, заселені комахами-ксилофагами.

5б. *Старий сухостій.* Дерева, що загинули в минулі роки. Поступово втрачаються гілки і кора.

Зовнішній вигляд дерева, на основі якого виноситься судження про категорії життєвості, визначається сукупністю кількох основних ознак, кожна з яких може бути достатньою для висновку. Найбільш просто і точно визначається тривалість життя хвої. Відмінність цієї ознаки від норми дозволяє дізнатися про одну з найважливіших складових зниження густоти крони. Орієнтовно оцінюють зріджування скелетної частини крони, частку відмерлих, відмираючих гілок і відсоток пошкодження хвої та листя. Останній показник зазвичай має істотну тимчасову динаміку (найкращий час його оцінки – початок другої половини літа); до того ж повністю некротизоване листя і хвоя передчасно обпадають.

Прогнозна цінність різних діагностичних ознак неоднозначна. Так, ступінь пошкодження асиміляційного апарату листяних і листопадних хвойних видів дерев характеризує головним чином сучасний стан особин, але далеко не завжди відбивається на стані дерева навіть на наступний рік. Пошкодження

хвої вічнозелених хвойних порід триваліше позначається на життєдіяльності дерева, оскільки нарощування нормальної кількості (та якості) фотосинтезуючих органів вимагає декількох (3–5 і більше) років.

Найбільш інформативним для прогнозних оцінок є стан гілок верхньої половини крони дерева. Значне руйнування крони внаслідок всихання гілок вимагає, навіть після повного припинення дії факторів, що викликають явище тривалої, іноді десятки років, відновної діяльності дерева, причому у особин більшості видів повернення до первинного стану неможливе.

Використання під час діагностики декількох ознак, взаємно доповнюючих одна одну, посилює надійність оцінки стану здоров'я дерев. Визначення здорових, всихаючих і сухостійних дерев, як правило, не викликає труднощів і помилок. Досить відрізняється і зовнішній вигляд пошкоджених (ослаблених) і сильно пошкоджених особин, стан яких близько до «середини» прийнятих градацій. Сумніви, що виникають при натурних роботах, зазвичай викликані існуванням дерев деяких проміжних станів. Наприклад, у непошкоджених лісах і при слабкому атмосферному забрудненні нерідко зустрічаються особини, для яких характерний «початок ослаблення» (пошкодження). При їх таксації можливий двоякий шлях: або віднести їх до якої-небудь найближчої категорії, або внести до передрукованої відомості у якості дерев проміжної градації.

Розрахунок індексу *життєвого стану деревостану* здійснюють за формулою:

$$L_v = \frac{100 \cdot V_1 + 70 \cdot V_2 + 40 \cdot V_3 + 5 \cdot V_4}{V}$$

де Lv – відносний життєвий стан деревостану, розрахований з урахуванням крупності дерев;

V_1 – обсяг деревини здорових дерев лісоутворювача (або лісоутворювачей) на пробній площі або на 1 га, м^3;

V_2, V_3, V_4 – те ж для пошкоджених (ослаблених), сильно пошкоджених і відмираючих дерев відповідно;

100, 70, 40 і 5 – коефіцієнти, що виражають життєвий стан здорових, пошкоджених, сильно пошкоджених і відмираючих дерев, %;

V – загальний запас деревини у деревостані на пробній площі або 1 га (у тому числі обсяг сухостою), м^3 .

Якщо величина показника Lv становить 100–80%. то життєвий стан деревостану оцінюється як здоровий, при значеннях 79–50 деревостан вважається пошкодженим (ослабленим), при 9–20 – сильно пошкодженим (сильно ослабленим), а при 19 % і нижче – повністю зруйнованим. .

Широко поширений розрахунок індексів стану деревостанів за числом дерев. У цьому спрощеному випадку:

$$L_n = \frac{100 \cdot n_1 + 70 \cdot n_2 + 40 \cdot n_3 + 5 \cdot n_4}{N}$$

де L_n – відносний життєвий стан деревостану, розрахований за кількістю дерев;

n_1 – число здорових, n_2 – ослаблених, n_3 – сильно ослаблених, n_4 – відмираючих дерев лісоутворювача або лісоутворювачів на пробній площі (або га);

N – загальна кількість дерев (включаючи сухостій) на пробній площі або 1га.

Розрахунки життєвості деревостанів за кількістю дерев більш прості і швидкі, ніж за обсягом деревини, але менш точні, оскільки припускають однакове значення дерев різної крупності, різного рангу. Насправді воно різко змінне. Фотосинтетична діяльність великих і малих дерев, їх продукція, контрольований ними обсяг простору в екосистемі розрізняються в десятки і сотні разів. А.В. Алєксєєв вказує, що у ряді випадків доцільно знати не стільки життєвий стан деревостану, скільки *міру його пошкодження*. Для такої оцінки деревам різних категорій стану додаються інші коефіцієнти: здоровому непошкодженому дереву – 0, пошкодженому (ослабленому) – 30%, сильно пошкодженому – 60, всихаючому – 95, сухостою – 100%. Відповідно зміниться і формула розрахунку :

$$D_V = \frac{30 \cdot V_2 + 60 \cdot V_3 + 95 \cdot V_4 + 100 \cdot V_5}{V}$$

де D_v – пошкодженість деревостану, %;

V_2,V_3,V_4,V_5 – обсяг деревини стовбурів пошкоджених, сильно пошкоджених, всихаючих дерев і сухостою на пробній площі або 1 га, м^3;

30, 60, 95 і 100 – коефіцієнти, що виражають пошкодженість різних категорій дерев, %;

V – загальний запас деревини дерев деревостану на пробній площі або 1 га, (включаючи обсяг здорових дерев), м^3.

Якщо показник D, менше 20 %, деревостани можна вважати здоровим (пошкодженість 11–19 % свідчить про деяке початкове ослабленням деревостану), при 20 – 49 – пошкодженим, при 50 – 79 – сильно пошкодженим, при 80 % і більше – зруйнованим.

М.А. Сафонов зі спів. (2013) запропонували визначати категорії стану дерев за трьома діагностичними ознаками – це щільність крони, наявність

мертвих сучків та ступінь ушкодження крони. Ступінь ушкодження за кожною ознакою виражена у відсотках (табл. 9).

Таблиця 9. ***Визначення категорій стану дерев (Сафонов із спів., 2013)***

Категорія дерева	Діагностичні ознаки		
	Щільність крони, %	Наявність мертвих сучків, %	Ступінь ушкодження крони, %
Здорове	85 – 100	0 – 15	0 – 10
Ослаблене	55 – 85	15 – 45	10 – 45
Сильно ослаблене	20 – 55	45 – 65	45 – 65
Відмираюче	0 – 20	70 – 100	70 – 100
Сухе	0	100	Немає хвої, листків

Якщо всі три показника вказують на належність дерева до різних категорій життєвого стану, то всі ознаки розглядаються у комплексі, визначається сумарне ушкодження, при цьому велика увага приділяється ступеню ушкодження листків.

Моніторинг лісових екосистем вимагає оцінки наступних показників:

1. Врожайність основних лісоутворюючих порід, насіннєва продуктивність.

2. Висота й діаметр дерев, радіальний приріст.

3. Аналіз відновлення і облік підросту і підліску. Вони є індикаторами забруднення довкілля, рекреації, а також давності останньої пожежи. Відновлення підросту і підліску свідчить про сприятливу екологічну ситуацію в лісовому фітоценозі. Оцінюють щільність, середню висоту, характер розміщення на площі. Наявність у підліску видів, що не властиві даному угрупованню, свідчить про порушення мінерального і органічного складу ґрунтів і про атмосферне забруднення.

4. Сезонна динаміка трав’яного покриву, ступінь проективного покриття, рісність, співвідношення видів, фітомаса. Вивчаючі проективне покриття, оцінюють загальну проекцію надземних частин трав’янистих рослин на ґрунт. Враховують їх абсолютне покриття в балах: до 10 %, 10–20 %,….більше 90 %, а також питоме покриття – відсоток покриття виду рослини від загального покриття угруповання.

5. Кількість опаду.

6. Потужність лісової підстилки, структура, період існування її профілю, інтенсивність процесів розкладання (мінералізація).

7. Біологічна активність ґрунту, яка враховується за інтенсивністю газообміну між ґрунтом і атмосферою.

8. Інтенсивність процесів розкладання деревини. Активність мікроорганізмів. Швидкість розкладання органічної речовини і накопичення гумусу зменшуються в експоненційній залежності від збільшення вмісту важких металів і техногенного навантаження. Деградація гумусового горизонту веде до змін біогеоценозу в цілому.

9. Видове різноманіття (видовий склад, частота зустрічальності і продуктивність). Як правило, за антропогенного впливу різноманіття видів зменшується, але це відбувається не завжди. Збагачення оліготрофних ділянок мінеральними речовинами, наприклад внаслідок промислових викидів, викликає розширення видового складу. Збіднення флори прискорюється усуненням екотонів (перехідних зон між угрупованнями, які легко відрізнити), де присутні види, що характерні для контактуючих угруповань.

10. Ступінь домінування окремих видів у фітоценозі.

11. Стан і динаміка популяцій окремих видів, їх вікова структура.

12. Структурно-функціональна організація та стійкість лісових фітоценозів.

13. Балансове вивчення фізіологічних компонентів фітоценозу з врахуванням процесів накопичення і трансформації енергії.

14. Сезонна динаміка світлового режиму.

Результати біоіндикаційних спостережень систематизуються, розраховується частка участі деревної породи в складанні деревостану кожної категорії, а потім за часткою участі оцінюється ступінь антропогенного впливу на (Скупченко, Соколова, 2008).

Важливою биоіндикаційною характеристикою є зімкнутість деревостану, оскільки вона визначає стан нижнього пологу лісу, чагарникового, трав’янисто-чагарничкового і мохово-лишайникового.

У ході сукцесійних змін фітоценозів обов’язково враховують а) появу і розповсюдження виду на певній території; б) заняття видом певної екологічної ніші і його достатня продуктивність в угрупованні, яке розвивається; в) час, за який вид досягає певних життєвих стадій; г) стадія згасання: вид зникає з даної місцевості.

Внаслідок природних процесів, а також під антропогенним впливом відбуваються зміни видового складу фітоценозів, які можна оцінювати кількісно з використанням різних показників (Скупченко, Соколова, 2008).

Застосовують показник *зустрічальності виду*, який визначається як частка раункієрів (%) від всіх закладених площ, куди потрапив даний вид:

$$R = (a/n)\times 100\ \%,$$

де a – число пробних площ, де зустрічається індикатор; n – загальне число пробних ділянок.

Подібність об'єктів розраховують на основі коефіцієнтів флористичної спільності Жакара (K_j) та Серенсена (K_s).

Коефіцієнт Жакара: $K_j = c/(a+b-c)$,

де a – кількість видів на першій пробній ділянці; b – кількість видів на другій пробній ділянці; c – кількість видів, які є спільними для першої і другої пдощ.

Коефіцієнт Серенсена: $K_s = 2N/(a+b)$,

де N – загальне число видів на площах, що порівнюються; a – кількість видів на першій пробній ділянці; b – кількість видів на другій пробній ділянці.

Основними показниками альфа-різноманіття рослинності є видове багатство – загальна кількість видів в угрупованні та видова насиченість – середня кількість видів на одиницю площі

Розраховують *індекси різноманіття* Маргалефа (d_{mg}) та Шеннона (H).

Індекс Маргалефа: $d_{mg} = (S–1) / \ln N$,

де: S – число видів; N – загальна кількість деревних рослин у деревостані.

Індекс Шеннона: $H = - (n/N) \ln_2 (n/N)$,

де N –загальна кількість видів у біоценозі; n – кількість дерев даного виду.

Для розрахування *індексів домінуванния* використовують формули Бергера-Паркера (d) та Симпсона (C).

Індекс Бергера-Паркера: $d = N_{max} / N$,

де N_{max} – чисельність виду, що зустрічається найбільш часто, а N – сумарна чисельність особин усіх розглядаємих видів.

Індекс Симпсона: $C = (n_i / N)\ 2$,

де n_i – чисельність особин кожного з видів, а N – сумарна чисельність особин усіх видів.

Контрольні запитання

1. Для чого необхідний моніторинг лісів?

2. Які існують шкали визначення життєвого стану деревних порід?
3. Результати яких спостережень слугують джерелом інформації стосовно реакції фітоценозу на антропогенні порушення за показниками ценотичного і популяційного рівня?
4. Які існують шкали визначення життєвого стану деревних порід?
5. Розкажіть про шкалу В.А. Алексєєва визначення життєвого стану деревних порід.
6. За якою формулою розраховують індекс життєвого стану деревостану?
7. Як розрахувати міру пошкодження деревостану?
8. Охарактеризуйте шкалу визначення категорій стану дерев, яку запропонував М.А. Сафонов із співавторами?
9. Оцінка яких показників необхідна для моніторингу лісових екосистем?
10. Для чого здійснюють аналіз відновлення і облік підросту й підліску у моніторингових дослідженнях?
11. З використанням яких показників можна оцінювати кількісно зміни видового складу фітоценозів?
12. За якими формулами розраховують індекси біорізноманіття видового складу фітоценозів?

2.9. Фітоіндикація антропогенного впливу на ландшафт

Особливості біоіндикації на ландшафтному рівні

Ландша́фт (від нім. *landschaft* – краєвид, місцевість) – природний географічний комплекс, що визначається як індивідуальна ділянка земної поверхні, яка обмежена природними кордонами, у межах якої природні компоненти знаходяться у складній взаємодії і пристосовані один до одного. За розмірами розрізняють такі ландшафти: а) невеликі локальні утворення (ерозійні яри і балки, тераси, річкові заплави тощо); б) геокомплекси регіонального рівня (гірські та рівнинні простори, океани, континенти тощо); в) глобального рівня (географічна оболонки Землі). За походженням ландшафти поділяють на природні й антропогенні та інші. Виділяють поняття «культурний ландшафт», яке змістовно є ширшим ніж поняття «антропогенний ландшафт». *Культурний ландшафт* – цілеспрямовано створений антропогенний ландшафт, який має доцільну для людського суспільства структуру і функціональні властивості. *Антропогенний ландшафт* – ландшафт який перетворений

господарською діяльністю людини настільки, що зв'язок природних компонентів змінений у такому ступені, що це веде до складання нового, порівняно з існуючим на цьому місці, природного ландшафту. *Елементарною одиницею ландшафту є екотоп*. Екотопи – це найменші екологічні чіткі особливості ландшафту в системі картографування і класифікації ландшафтів.

Екототоп (від грецького *oikos* – дім і *topos* – місце) – вихідний комплекс чинників довкілля на певній ділянці земної поверхні, який дозволяє розвиватися екосистемі, біогеоценозу (повітряний, температурний, водний, мінерального живлення та ін.). Його складовими є фізіотоп (сукупність абіотичних чинників) і біоценотоп, а також форми землекористування. Фізіотоп включає морфотоп, педотоп, гідротоп і кліматотоп, едафотоп.

Кліматоп – сукупність фізичних характеристик довкілля, суттєвих для організмів (їх угруповань), які існують у даному середовищі. У даний час поняття кліматоп розуміють ширше: як поєднання фізичних і хімічних характеристик повітряного або водного середовища, що є істотними для організмів даного середовища. У довгостроковому масштабі кліматоп задає основні фізичні характеристики існування рослин і тварин. Він визначає коло організмів, які можуть існувати в даній екосистемі.

Єдафотоп – сукупність компонентів у геоценозі, які зв'язані з грунтом і підстилаючими породами. Проте часто під цим терміном розуміють сукупність грунтових умов довкілля. Органічні сполуки в едафотопі є основними носіями енергії і вони визначають родючість ґрунту найбільшою мірою. Велике різноманіття умов життя пов'язане з едафотопами. Плакори складені суглинками, для яких притаманний спелітогенний едафотоп. Для супіщаних ґрунтів характерний псамогенний едафотоп, петрогенний – для кам'янистих, а галогенний – для засолених.

Гідротоп – умови зволоження біогеоценозу. Розрізняють декілька типів зволоження: атмосферне, натічне, стічне, ґрунтове, заплавне. Коєфіцієнт атмосферного зволоження є основним критерієм зволоження:

$$K = r/E,$$

де r – опади, Е – випаровування.

Розрізняють такі гідротопи: 1) недостатнє зволоження (сухий гідротоп) – К<1; 2) свіжий гідротоп (нормальне зволоження) – К =1; 3) вологий гідротоп: К>1,5; 4) сирий гідротоп (дуже підвищене зволоження); 5) мокрий гідротоп (надмірне зволоження).

Біоценотоп включає фітотоп і зоотоп.

Біоіндикація на рівні ландшафту торкається фітотопа і зоотопа, які по суті є індикаторами. Тип рослинності, що екологічно характерний для фітотопу, називають *формою рослинності*. Вона пов'язана з відповідними типом середовища життя, або формою середовища життя.

Для оцінки ступеня антропогенного перетворення ландшафту необхідно мати еталон для порівняння. Таким еталоном вважають потенційну природну рослинність, яка піддається реконструкції шляхом порівняння середовища життя і аналізу природних фітоценозів, які ще збереглися, а також синантропних рослинних угрупувань.

Ландшафт Середньої Європи сильно змінений. В ньому переважають антропогенні ландшафти, які являють собою вторинні утворення. Вони визначаються формою використання території і її інтенсивністю. Виділяють різні ступені цієї інтенсивності.

Ландшафт – це мозаїка, змінюючих одна одну умову середовищ життя і землекористування. За традиційних методів землекористування диференціація середовищ життя сильно зростає. Культурний ландшафт за цих умов ще більш різноманітний, ніж природний. Проте з переходом до промислових методів у сільському господарстві відбувається все більша уніфікація як напрямків використання, так і екологічних умов. Такий шлях розвитку призводить до помітного зменшення різноманіття екотопів і рослинності сучасного культурного ландшафту.

Характеристика його екологічного стану пов'язана з двома основними питаннями.

По-перше, мова йде про можливо більш об'єктивну класифікацію і характеристику ступеня антропогенного перетворення ландшафту.

По-друге, про можливість оцінки і описання біологічних структурних змін. На підставі цих даних можна прогнозувати розвиток рослинності за тих чи інших впливів, що планують з метою керування ними. Саме в цьому і є задача біоіндикації ландшафтних екосистем.

Класифікація антропогенного перетворення ландшафту

За ступенем антропогенного впливу розрізняють такі типи екосистем:

1. *Природні*, що не зазнають впливу людини.

2. *Підприродні* (subnatural). Малопорушені, слабко пригнічені діяльністю людини. Тут спостерігається або скорочення чисельності, або повне знищення окремих видів, але котрі не належать до едифікаторів і домінантів. Фізіологічно ці екосистеми подібні до природних. До них відносяться пасовища в умовах

кочового скотарства, ліси, що використовуються для полювання і збирання сировини.

3. *Напівприродні* (seminatural). Їх біота в різному ступені порушена, але всі вони зберігають в тій чи іншій мірі основні властивості природних екосистем, хоча нерідко їх структура і біологічний кругообіг речовин змінені. До цього типу екосистем можна віднести осіле скотарство, косовиці, лісосіки з природним відновленням.

4. *Штучні* (artificial). Їх біологічний кругообіг часто корінним чином перетворений людиною і здійснюється при обов'язковому контролі з боку людини. До цього типу відносяться антропогенні екологічні комплекси: лісосіки зі штучним відновленням, поля сівозміни з удобрюванням, лісові монокультури, посіви багаторічних трав (Дончева, 1992).

Розрізняють такі зони антропогенного впливу природно-територіальних комплексів:

1. *Зона геохімічного впливу*. Тут відзначається підвищене надходження забруднюючих речовин і перевищення їх концентрації в природних компонентах в кілька разів. Забруднювачі накопичуються в снігу, торфі, підстилці. Рівень забруднення нижче порога стійкості біотичних компонентів. Сила впливу невелика, продукти забруднення встигають перероблятися.

2. *Зона біотичного впливу*. Для неї характерна зміна біотичних компонентів, зменшення видового різноманіття рослин і тварин. В першу чергу зникають епіфіти і найбільш чутливі до забруднюючих речовин види рослин. Перевищення ГДК досягає одного порядку. Змінюється хімічний склад ґрунту, відбувається пригнічення деревостану.

3. *Зона геоматичного впливу*. Для неї характерно сильне забруднення і структурна перебудова природно-територіального комплексу. З рослин переважають піонерні угруповання. Відбувається розпад корінних фітоценозів. Спостерігається водна, вітрова ерозія ґрунтів і заболочування.

Особливості ландшафту характеризує потенційна природна рослинність. Завдання біоіндикації ландшафтних екосистем полягає в отриманні об'єктивної класифікації та характеристики ступеня антропогенного перетворення ландшафту, в оцінці та описі його структурних біологічних змін. Вивчення антропогенного впливу на лісові екосистеми має ряд складнощів через різноманіття життєвих форм рослин, неоднакову чутливість деревних порід до зовнішніх впливів, а також відмінності в методах вивчення окремих груп організмів і абіотичних компонентів.

Великий інтерес для біоіндикації представляють об’єкти, що містять багаторічну інформацію про навколишнє середовище: торф’яні болота, дерева великого віку, льодовики. Болота накопичують інформацію про тривалий період забруднення. Для характеристики зміни ступеня забруднення обстежують шари торф’яних відкладень верхових боліт. Зольність торфу відображає рівень техногенного впливу, а значення pH – відповідну реакцію болотних зкосістем.

Деякі автори спираються на поняття гемеробності (Jalas, 1955, Sukopp, 1972). ***Гемеробність*** – окультуреність ландшафту. Ступенем *гемеробності* характеризують окультуреніть ландшафтів, для чого використовують такі характеристики.

А. Частка терофітів – однорічних рослин, що повністю відмирають до зими зі збереженням життєздатного насіння.

Б. Частка неофітів – нових видів, що недавно з’явилися у місцевій флорі внаслідок господарської діяльності людини або природної міграції.

В. Втрата видів природної флори.

Г. Зміна процесу ґрунтоутворення.

Д. Зміна ґрунтів і місць проживання в цілому.

Пропонуєтья оцінювати антропогенний вплив на екосистеми за чотирма напрямками **(**Г. Елленберг):

1) винос органічного матеріалу і мінеральних речовин, які важливі для бюджета екосистеми;

2) надходження мінеральних речовин або органічного матеріалу, в тому числі живих організмів;

3) отруєння, тобто надходження речовин нетипових для екосистеми, які одразу ж або з плином часу спричиняють шкоду важливим організмам або групам організмів;

4) зміни спектра видів, тобто витіснення або пригнічення одних існуючих видів іншими або раніше присутніх видів інтродукованими в екосистему.

Отже, для розташування одиниць рослинності за шкалою гемеробності використовують такі критерії (Blume, Sukopp, 1976): 1) частка терофітів; 2) частка неофітів; 3) втрата видів природної флори. Крім того враховуються загальні ознаки зміни ґрунту та екосистеми.

Для оцінки ступення гемеробності ландшафту або його частин методично виконують дослідження таким шляхом:

а) розподіл території, що вивчається, на просторові одиниці потенційної рослинності;

б) аналіз рослинних угрупувань, відповідних використанню території і ступеню його інтенсивності;

в) порівняння рослинних угрупувань між собою за допомогою наступних критеріїв:

-частка неофітів та археофітів (рослини, зазвичай бур'яни, чужорідні види, які з'явилися в місцевій флорі згідно археологічних знахідок до 1500 року, порівняно з неофітами);

-частка місцевих, видів, але таких, що не відповідають данному середовищу життя;

-частка видів потенційної рослинності;

-ярусність рослинного покриву порівняно з потенційною рослинністю;

-спектри життєвих форм рослинних угрупувань;

г) розташування рослинних угрупувань сучасної рослинності за шкалою гемеробності;

д) картографічне зображення ступенів гемеробності у відповідності з розповсюдженням рослинних угрупувань або ступенем гемеробності домінуючого угруповання.

За такого підходу можна поділити одиниці сучасної рослинності в певній області потенційної рослинності на гемеробні серії, на гомологічні угруповання. Одиниці рослинності на місці різних корінних угруповань, можуть мати різний ступінь гемеробності, який відображує рівні інтенсивності використання території.

Одиниці рослинності можуть внаслідок спонтанної або керуємої сукцесії переходити одна в одну. *Сукцесія* – послідовна закономірна зміна одного біологічного угруповання іншим на певній ділянці середовища в часі внаслідок дії природних факторів або впливу людини. Сукцесії, що керуються або викликаються людиною, завжди зв'язані зі зміною ступеня гемеробності рослинності.

При припиненні використання (збереження пашні під паром, припинення випасу на сухих і сухуватих луках і т.д.) сукцесія йде у бік якогось кінцевого угруповання, що відповідає зменшенню ступеня гемеробності. Інтенсифікація використання завжди супроводжується підвищенням ступеня гемеробності. У природних або близьких до природних екосистемах також відбуваються сукцесії. Стадії цих сукцесій відображають ступінь зрілості специфічних екосистем. Хоча є певні паралелі між гемеробністю і зрілістю, зміст цих понять далеко не ідентичний.

Ступені гемеробності. Відповідно до поширеної класифікації ступеня антропогенного перетворення ландшафту (Weintrt u.a., 1988) виділяється сім ступенів гемеробності – окультуреності ландшафту (табл.10).

Метагемеробна. Характеризується найбільшим ступенем окультуреності ландшафту. До неї відносяться частково забудовані площі, асфальтовані дороги, залізничні насипи зі щебеню – це бідні видами піонерні ценози, в яких частка неофітів становить > 23 %, а терофітів > 40 %. Розкладання підстилки і зміна ценозу протікають слабо. Слабка вентиляція і пронизаність ґрунту коренями. Відсутня підстилка і горизонт максимального гумусонакопичення. Це отруєні екосистеми, повністю забудовані екосистеми з сильно пониженим або відсутнім виділенням CO_2.

Полігемеробна. Спеціальні культури (фруктові, виноград, декоративні газони і т.п.), сміттєзвалища, відвали, купи щебеню. Територія схильна до глибокої або плантажної оранки, на якій відбувається постійне або глибоке осушення або зрошення, інтенсивне удобрення ґрунту, використання біоцидів, повне знищення біоценозу і заняття екотопу чужорідним рослинним матеріалом. Формуються слабо конкурентні піонерні біоценози, недовговічні рудеральні угруповання, часто нетипово розвинені, домінують однорічники. Частка неофітів становить 18–22 %, терофітів > 40 %. У ґрунті відбувається гідроморфізація, накопичення гумусу, деструктуризація, ерозія, перевідкладення, часткове прикриття речовинами, що надходять. Високий рівень надходження і виносу живильних речовин, велика пронизаність підґрунтя корінням, підвищене надходження кисню або води. Утворюються антропогенні ґрунти з однорідним гумусовим верхнім горизонтом потужністю 30–80 см, підвищеним pH, ґрунт перемішується з антропогенним матеріалом.

а-Евгемеробна. Сільскогосподарські угіддя з типовою розвиненою флорою бур'янів, посіяні луки з бур'янами, ліси, що інтенсивно використовуються, зі слаборозвиненим трав’яним ярусом, поля зрошення. Вплив полягає у вирівнюванні ґрунту, регулярній оранці, помірному внесені мінеральних добрив, інтенсивному зрошенні стічними водами. Формуються типові сегетальні угруповання, однорічні рудеральні угруповання, нітрофільні піонерні біоценози. Частка неофітів 13–17 %, терофітів 30–40 %. У ґрунті відбувається посилена гуміфікація, утворення агрегатів; зменшене окиснення, опідзолювання, оглеєння. Відбувається поверхневе порушення ґрунту, ерозія; підвищене надходження живильних речовин при зміні під впливом pH їх доступності. Зміна надходження води або кисню і пронизаності коренями верхніх горизонтів ґрунту. Формується рільний шар, підвищується pH.

β-*Евгемеробна*. Інтенсивно використовувані пасовища, луки, ліси, декоративні багаті видами газони. Вплив полягає в удобренні, вапнуванні, застосуванні гербіцидів, невеликому дренажі. Формуються численні стійкі рудеральні угруповання, декоративні газони, лісопосадки з видів, що не властиві місцевій флорі й даному місцеіснуванню з розвиненим надземним ярусом. Частка неофітів 13–17 %, терофітів – 21–30 %. У ґрунті – посилене розкладання, гуміфікація, утворення агрегатів, ослаблене опідзолювання, оглеєння. Спостерігається підвищене надходження живильних речовин при зміні їх доступності під впливом pH. У порівнянні з природними ґрунтами змінюється надходження води або кисню. Підстилка відсутня, підвищений pH ґрунту.

Мезогемеробна. Насадження чужих даному месцеіснуванню порід дерев з розвиненим чагарниковим і трав'яним ярусами; пустки, суходільні і малопродуктивні луки; ландшафтні парки. Здійснюється розкорчування і рідше розорювання, суцільна рубка, використання підстилки, зняття дернини, слабке удобрення. Рослинність сильно змінена людиною. Частка неофітів становить 5–12%, терофітів – < 20 %. У ґрунті протікають процеси розкладання, гуміфікації, часткове опідзолювання або псевдооглеєння. У порівнянні з природними ґрунтами спостерігається незначна зміна надходження живильних речовин, води або кисню, відбувається дистрофікація і евтрофікація.

***Олігогемеробна*.** Ліси з незначним лісогосподарським доглядом або слабим випасом, зростаючі піщані дюни, низинні та верхові болота, що розвиваються. Вплив полягає в вигляді незначного вилучення деревини, випасу, забруднення повітря (наприклад, SO_2) і води (затоплення пойми евтрофною водою). Рослинність складають ліси зі слабим очищенням і слабим випасом, засолені луки, піщані дюни, що розвиваються, верхові та низові болота, котрі розвиваються, деякі угруповання водних рослин. Частка неофітів < 5%, терофітів – < 20 %. Розкладається підстилка або підлуговується.. У порівнянні з природними ґрунтами незначно змінюється надходження живильних речовин, підвищений вміст Cl^- і SO_4^{2-} в ґрунтовому розчині.

Агемеробна. Скелясті, болотисті, тундрові області в деяких частинах Європи, в середній Європі тільки високогір'я. Антропогенні впливи відсутні. Водна, болотна і наскальна рослинність у деяких частинах Європи, в Середній Європі тільки фрагменти високогірної рослинності. Неофіти відсутні, терофітів менше 20 %. Вплив на процеси ґрунтоутворення відсутній. Ґрунти і місцеперебування в цілому без змін. Не відбувається змін індикаторів і діагностичних ознак у порівнянні з природними ґрунтами.

Знаючи ступінь гемеробності окремих рослинних угруповань, взаємозв'язок між інтенсивністю використання місцевості і відповідною структурою рослинності, можна прогнозувати і спрямовувати її розвиток, плануючи екологічну цінність ландшафту в майбутньому. При визначенні ступеня гемеробності екосистем потрібно враховувати закони їх динаміки на ценотичному і ландшафтно-екологічному рівнях, що має практичну цінність. Наприклад, агемеробна і олігогемеробна території в більшості випадків є землями, що підлягають охороні, охороні можуть підлягати також евгемеробні і мезогемеробні угруповання.

Таблиця 10. ***Характеристика ступенів гемеробності* (*за Weinert u a., 1988*)**

Ступені гемеробності	Екосистеми	Антропогений вплив	Зміна рослинності та флори		
			Рослинність	флора	
				Частка неофітів	Частка терофітів
				у видовому складі судинних рослин	
Агемеробна	Скелясті, болотисті, тундрові області в деяких частинах Європи, в Середній Європі лише на високогір'ї	Відсутній	Водна, болотиста та наскельна рослинність у деяких частинах Європи, у середній Європі лише фрагменти високогірної рослинності	0 %	20 %
Олігогемеробна	Ліса з незначними лісогосподарським доглядом або слабким випасом, зростаючі дюни, розвиваються низові та верхові болота	Незначне вилучення деревини, випас, вплив забрудненого повітря (оксид сірки) та води (затоплення евтрофною водою)	Слабко очищаємі або слабко випасаємі ліса, засолені луки, розвиваються дюни, розвиваються верхові та низові болота, деякі угруповання водних рослин	< 5 %	20 %

Продовження табл.10

Мезогемеробна	Насадження чужих даному місцю проживання порід дерев з розвиненим чагарниковими і трав'яним ярусами; пустелі; суходільні і малопродуктивні луки; ландшафтні парки (екстенсивно використовувані луки і пасовища)	Розкорчування і рідше розорювання, суцільні рубки, використання підстилки, зняття дернини, іноді слабке удобрення	Рослинність сильно змінена людиною	5-12 %	< 20 %
β-евгемеробна	Пасовища, луки і ліси, декоративні (багаті видами) газони, які інтенсивно використовуються	Удобрення, вапнування, застосування біоцидів, невеликий дренаж	Численні, здебільшого стійкі рудеральні угруповання, декоративні газони, лісопосадки з видів, які не властиві місцевій флорі і цим місцям проживання, з розвиненим наземним ярусом	13-17 %	21-30 %
α- евгемеробна	Сільськогосподарські угіддя з типовою розвиненою флорою бур'янів, сіяні луки з бур'янами-однорічниками, декоративні газони з бур'янами-однорічниками, ліси, які інтенсивно використовуються зі слабо розвиненим трав'яним ярусом	Вирівнювання ґрунту, регулярна оранка, помірне внесення мінеральних добрив	Типові сегетальні угруповання, однорічні рудеральні угруповання; сіяні і висаджені види обмежують виникнення спонтанної рослинності	13-17 %	30-40 %

Продовження таблиці 10

α- евгемеробна	Поля зрошення	Інтенсивне зрошення стічними водами	Нітрофільні піонерні біоценози	18-22 %	30-40 %
Полігемеробна	Спеціальні культури (фруктові, виноград, декоративні газони або польові культури з високо спеціалізованою сегетальною флорою), сміттєві звалища, відвали, купи щебеню (лише перщі роки після виникнення, потім перехід у стадію α-евгемеробності	Глибока або плантажна оранка, постійне і глибоке осушення і (або) інтенсивне зрошення; інтенсивне удобрення ґрунту і використання біоцидів, повне знищення біоценозу з одночасним заняттям екотопу чужорідним матеріалом	Слабоконкурентні піонерні біоценози, наприклад чимало недовговічних рудеральних угруповань, часто нетипово розвинені, домінують однорічники	18-22 %	> 40т%
Метагемеробна	Частково забудовані площі (наприклад, асфальтовані дороги, залізничні насипи із щебеню). Отруєні екосистеми, повністю забудовані екосистеми	Біоценози сильно збіднені; біотоп постійно схильний сильним змінам Біоценози знищені	Бідні видами піонерні біоценози. Отруєні або оброблені біоцидами екосистеми; діючі споруди та їх внутрішні приміщення	> 23 %	> 40 %

Якщо в розпорядженні є карти рослинності або землекористування за різні роки, можна прослідкувати і порівняти антропогенні зміни ландшафту за площами, що відповідають різним рівням гемеробності (одиницям рослинності або видом використання території). Розподіл одиниць рослинності за шкалою гемеробності одночасно дає можливість об’єктивно оцінити зміни екологічної цінності ландшафту або його частини. Якщо відомі ступінь гемеробності

окремих рослинних угрупувань, а також взаємозв'язок між напрямком і інтенсивністю використання місцевості і відповідною структурою рослинності, можна прогнозувати і направляти її розвиток, плануючи в результаті екологічну цінність ландшафту в майбутньому. Дослідження ступеня гемеробності певних рослинних угрупувань надають дані з точки зору охорони природи. Агемеробні та олігогемеробні території являють собою у більшості випадків землі, що максимально заслуговують охорони. В залежності від положення окремих місць існування охороні можуть підлягати також мезо- і евгемеробні рослинні угрупування. Прикладом є розорані карбонатні ґрунти з багатою флорою бур'янів (α-евгемеробні ценози) і багаторічні рудеральні угрупування в містах (β-евгемеробні цинози). З цієї причини карти гемеробності міст придатні для виділення біотопів, що потребують охорони, а також районів міста, що потребують більш інтенсивного озеленення. Якщо необхідно зберегти типові для минулого землекористування одиниці рослинності, слід перервати розвиток сукцесії на певному рівні гемеробності. Це в першу чергу відноситься до сухих і сухуватих лук, які охороняються. Між рекреаційною цінністю ландшафту і ступенем його гемеробності існує зв'язок, який залежить від виду рекреації.

Отже, визначення ступеня гемеробності екосистем засновано на точному знанні природи і динаміки систем на центричному та ландшафтно-екологічному рівні і має велику практичну цінність при плануванні ландшафту, його перетворення, а також для охорони природи.

При біоіндікаціоних дослідженнях змін ландшафту джерелом інформації можуть слугувати одиниці землекористування – лісові, сельскогосподарські угіддя, населені пункти, а також і самі рослинні угрупування, що представлені окремими виділами на карті рослинності. На цих виділах вказується їх характеристика – площа, екологічна цінність і т.д.

На основі інформаційного індексу К. Шеннона визначаються ентропія різноманітності, розчленованості, рівномірність розподілу ландшафту.

При розрахунку ентропії різноманітності ландшафту показникам рівняння К. Шеннона надають такі значення: n – число градацій екологічної цінності ділянок ландшафту, p_i – парціальна площа i -ої градації екологічної цінності:

$$p_i = n_i/N$$

де n_i – сумарна площа ділянок i-ої градації екологічної цінності, N – загальна площа ландшафту. Рівняння К. Шеннона наведене на сторінці 126.

Крім того, корисну інформацію дає індекс екологічної цінності ландшафту. Ці дані потім порівнюються за різні часові відрізки для встановлення тенденцій зміни показників. Зростання ентропії показників ландшафту свідчить про

порушення ступеня його впорядкованості під дією антропогенних або інших факторів.

Контрольні запитання

1. Надайте визначення поняттю ландшафт. Охарактеризуйте його.
2. Що таке екотоп?
3. Розкажіть про едафотоп.
4. Що таке гігротоп?
5. Охарактеризуйте біоценотоп.
6. За якими напрямками Г. Елленберг пропонує оцінювати антропогенний вплив на ландшафти?
7. Що таке гемеробність? Шкала гемеробності.
8. Яка послідовність оцінки ступення гемеробності ландшафту?
9. За допомогою яких критеріїв порівнюють між собою рослинні угрупування?
10. Охарактеризуйте метагемеробну та полігемеробні ступені окультуреності ландшафту.
11. Розкажіть про евгемеробні стадії окультуреності ландшафту.
12. Якими рисами характеризуються мезогемеробна, олігогемеробна та агемеробна стадії окультуреності ландшафту?
13. Яке значення мають карти гемеробності міст?
14. Яке значення має визначення ступеня гемеробності екосистем?
15. Для чого необхідна біоіндикація антропогенного впливу на ландшафт?

РОЗДІЛ 3. ІНДИКАЦІЯ НЕПОРУШЕНИХ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

3.1. Індикація місць існування рослинних угруповань за екологічними шкалами

3.1.1. Фітоіндикація типу трофотопу і гігротопу

Значну кількість характеристик середовища виміряти в польових умовах дуже складно через різке коливання значень більшості чинників (температура, вологість, освітленість та ін.). Для визначення багатьох з них немає методів експрес оцінки. Організація інструментальних спостережень за комплексом факторів середовища коштує занадто дорого, а окремі фактори, без урахування їх взаємозв'язку мало говорять про екологічну потенцію місцеперебування. Це завдання можна вирішувати, використовуючи метод індикаційних шкал, які мають у даний час велику популярність серед екологів і геоботаніків. Екологічні шкали дають хоча і відносні, але стабільні екологічні характеристики рослинного покриву.

Для оцінки екологічних факторів лісових фітоценозів, наприклад едафічних або кліматичних, використовуються фітоіндикаційні шкали. Принципи їх створення основані на положенні, що кожен вид рослин може існувати лише в певних межах екологічних умов, лімітованих мінімальними і максимальними величинами чинника, і саме це дозволяє вважати їх індикаторами умов довкілля.

Фітондикація типу трофотопу

Вносячи деяку деталізацію в шкалу прийняту за типологічною схемою П.С.Погребняка, А.Л. Бельгард виділяє наступні ряди трофності для деревної і чагарникової рослинності Степу України.

АВ – фізично бідні ґрунти, головним чином це глинисті піски. Вони зв’язані зі степовими борами й шелюжниками. Характерна рослинність – оліготрофи з невеликою кількістю мезотрофів. Деревно-чагарниковий ярус представлений оліготрофами (сосна, береза). Для трав’яного покриву притаманне піщане степове різнотрав’я (перстач піщаний, ковила піщана та багато інших), молінія, куничник, зелені і сфагнові мохи, лишайники. Вагома частка деяких мезотрофів (дуб, крушина ламка, тимофіївка степова, звіробій звичайний, перстач сріблястий), що підкреслює деяку різницю в живильності

ґрунтів степових борів на відміну від борів підзолистої зони, де безроздільно панують оліготрофи.

B – відносно фізично бідні ґрунтові умови Вони зазвичай представлені легкими супісями або глинистими пісками. Переважають представники оліготрофів, як домішка – мезотрофи, частка мегатрофів дуже мала. Для деревно-чагарникового ярусу характерні такі види рослин: дуб, береза, сосна, рокитник, осика, крушина проносна та ін. У трав'янистому покриві крім оліготрофів (представників степових борів), зустрічається велика кількість мезотрофів (конвалія, буквиця лікарська, орляк та ін.), з мегатрофів виявляються окопник лікарський, ожина, тощо. Тип лісу – степові субори.

BC – відносно фізично біднуваті ґрунтові умови, властиві тривалопоємним едафотопам, які представлені звичайно піщаним багатофазним річковим алювієм. Переважають мезотрофи і оліготрофи з домішкою мегатрофів. У деревно-чагарниковому ярусі зростають шелюга, осокорь, жовтолоз, крушина. У трав'янистому покриві сполучення мезотрофів (кирказон, кострець безостий, осока рання та ін.) з оліготрофами (куничник наземний) і мегатрофами (ожина, молочай болотний та багато ін.) Тип лісу – осокорники.

C – відносно багаті трофотопи, зв'язані з супіщаними ґрунтами. Тут рівноправно сполучаються мезотрофи, мегатрофи, оліготрофи. Деревний і чагарниковий ярус представлені сосною, дубом, в'язом, липою, лозою, бруслиною та ін. Трав'янистий покрив являє собою пістряве сполучення мегатрофів (дібровне широкотрав'я, сире і болотне великотрав'я), мезотрофів (осока рання і суборові види) та оліготрофів (куничник наземний).

D – найбільш багаті місця існування, що тяжіють до живильних суглинків або супесей, які підіслані прошарками глин або суглинків. Рослинність представлена в найбільшій кількості мегатрофами, мезотрофів дещо менше. Типи лісу – дубрави, ольси, вербняки. В межах даного трофотопу в залежності від ступеня мінералізації розрізняють три варіанти: $\mathbf{D_c}$, $\mathbf{D_{ac}}$, $\mathbf{D_n}$, що характеризуються за складом деревних і чагарникових видів.

$\mathbf{D_c}$ – зустрічається на більш вилужених грунтах і відрізняються наявністю в деревному ярусі дуба і липи і відсутністю такого ультрамегатрофу, як ясен.

$\mathbf{D_{ac}}$ – в умовах Степу України характеризує найбільш сприятливі лісорослинні умови для формування складних лісових ценозів. Тут характерно сполучення у деревостані ацидофільного пермезотрофу, як липа, і кальцієфільного ультрамегатрофу, як ясен.

$\mathbf{D_n}$ – воліє до ґрунтів, що відрізняються відомою карбонатністю, у більш вологих гігротопах – розвитком нітрофікаційних процесів. Даний варіант

можна було б назвати кальцієфільно-нітрофільним. У деревно-чагарниковому ярусі часто зустрічається ясен, зникають ацидофіли (в першу чергу – липа). До даної групи відносять також й ольси. Трав'янистий ярус дещо відрізняється за видовим складом від такого, що властивий D_{ac}, незважаючи на присутність загального ядра специфічних для діброви мегатрофних видів. В D_n збільшується частка нітрофілів (будра плющелиста, кропива дводомна, лабазник в'язолистий та багато інших), в той час як у D_c і D_{ac} поширені такі ацидофіли, як зірочник лісовий, медунка неясна.

До D примикають трафотрофи D_e, які являють перехід до наступної градації мінералізованності – **E.**

D_e – формуються в межах тривалопоємних місць життя і відрізняються деякою солонцюватістю, слугуючи субстратом для в'язо-дубняків, вербняків і білотопольників. У деревному ярусі превалюють поймовитривалі мезотрофи і мегатрофи з деякою домішкою субмегатрофів. У трав'янистому покриві панують мезотрофи та мегатрофи, що включають велику кількість нітрофілів.

E – типи лісу, що формуються на фізіологічно відносно бідних ґрунтах, які характеризуються в поймах ознаками засолення, а в умовах крупно-балочних систем – карбонатністю. Тут деревні і чагарникові породи мають деякі ознаки пригнічення. Для деревного ярусу характерна специфічна особливість – зростання солестійких мезо- і мегатрофних видів (чорноклен, берест, дуб). Трав'янистий покрив включає кальцієфіли і нітрофіли (фіалка опушена, будра плющелиста та ін.). Дібровне широкотрав'я – бідне, найчастіше представлене однією конвалією, яка починає утворювати чітко виражену самостійну синузію.

Дещо окремо стоять трофотопи **F** і **G,** які зв'язані зі степовими і чагарниковими ценозами.

Трофотоп **F** переважно зв'язаний з живильними чорноземними ґрунтами. Його треба було б віднести до групи трофотопів, які відрізняються найбільшим багатством, що сприяє оптимальному розвитку рослин. Проте це справедливо у відношенні степової трав'янистої рослинності, а деревні рослини знижують свій бонітет і подібні трофотопи для природного лісу є фізіологічно збідненими. Тут зростають кущові ценози. Це головним чином мега- і мезотрофні види (степова вишня, терен, глід тощо). У трав'янистому покриві превалюють мегатрофні степові і лучно-степові види.

Трофотоп F можна представлений трьома варіантами $\mathbf{F_{el}}$, $\mathbf{F_{neutr}}$, $\mathbf{F_{ca}}$.

$\mathbf{F_{el}}$ (елювіальний варіант) зв'язаний з вилуженими чорноземами. Тут зростають мезотрофні і мегатрофні чагарників (терен, кизилок, пробковий

берест), в трав'яному покриві превалюють степові мегатрофи з часткою мезо- і мегатрофів лісу (конвалія, фіалка опушена та інші).

F_{neutr} – (нейтральний варіант) відповідає найбільш типовим степовим чагарниковим ценозам на чорноземі з нейтральною реакцією. У чагарниковому ярусі зростають степові мегатрофні види (вишня степова, дереза, мигдаль та ін.) У трав'яному покриві степові мегатрофи без домішок сильвантів.

F_{ca} – (кальцієфільний варіант) приурочений до крейдових і вапнякових оголень. Характерно наявність у чагарниковому ярусі дерези, шипшин, гліду, бруслини та інш. У трав'яному покриві мегатрофи з помітною домішкою типових кальцієфілів (рута запашна, маренка сланка, бедренець крейдовий та деякі інші).

G – трофотопи з яскравими слідами засолення, знаходяться серед солонцево-солончакового комплекса річкових терас. Переважають солестійкі види (терен, крушина, берест пробковий тощо.) З деревних порід зустрічається один дуб. У трав'янистому ярусі, крім лісових, степових і лучних мезо- і мегатрофів, зростають алкалітрофи (кермек, морковник, безкильниця та ін.).

Таким чином, у визначенні екотопу провідна роль належить рослинності, яка найбільш повно відбиває всю багатогранність життєвих обставин. О.Л. Бельгард (1971) відмічає, що підходячи з певною обережністю до індикаторного значення рослин, все ж слід визнавати значення індикаторного методу, якщо висновки обмежувати певним районом. Порівнюючи індикаторну значимість деревних і трав'янистих рослин на основі численних екологічних аналізів, можна зробити заключення, що трави, мохи, лишайники в першу чергу реагують на зміну зволоження. Певне сполучення деревних організмів найчастіше визначає якість того чи іншого трофотопу. У ролі такого сполучення, що визначають якість трофотопу, добре виступають у групі (D) – діброви. Тут ясно видно роль липи, що тяжіє в степовій зоні України до вилугованих ґрунтів. Вона визначає своєю присутністю трофотопи C, D_c і D_{ac}. Ультрамегатрофний ясен характеризує своєю присутністю D_{ac} й більш мінералізований трофотроп D_n – діброви нітрофільного типу.

Фітоіндикація типу гігротопу

Значна кількість робіт присвячена застосуванню фітоіндикаційних шкал у лісовій типології. Добре відома запропонована П.С. Погребняком (1955) шкала вологості ґрунтів, в якій ступені вологості оцінюються шістьма балами: 0 – дуже сухі ґрунти; 1 – сухі; 2 – свіжі; 3 – вологі; 4 – сирі; 5 – мокрі. Ця шкала

відоситься до шкал порядку. Лісівників-практиків задовольняє її точність, тому майже за 70 років вона була лише незначно удосконалена, це стосувалося виділення проміжних і крайніх градацій. Ряд місцезростань, що ранжовані за збільшенням вологості ґрунту, називається *гігрогенним рядом*. Його окремими ланками є гігротопи. Видовий склад рослинності і продуктивність насаджень є *індикаторами гігротопів*. Ступінь зволоження місцезростань можна визначити, спираючись на шкали вимогливості деревних порід до вологи, надаючи гігротопам такі ж номери – від 0 до 5. Фітондикаторами гігротопів слугує як деревно-чагарникова рослинність, так і живий надґрунтовий покрив. П.С. Погребняк (1968) запропонував наступну класифікацію гігротопів.

0. Вкрай сухі місцезростання, на яких зростають ультраксерофіти і деякі ксерофіти. На скелястих схилах та на південних схилах піщаних дюн зростає сосна кримська або звичайна (IV–V клас бонітету). На верхніх частинах південних схилів з малопотужними скелетними ґрунтами, що здатні до сильного пересихання, крім сосни звичайної, здатні зростати дуб скельний та дуб пухнастий, ялівці, грабинник, степові кущі. Панують ультраксерофітні лишайники, очиток їдкий, келерія сиза та ін. На більш родючих ґрунтах інколи зустрічається дуб звичайний (IV–V клас бонітету).

1. Сухі місцезростання характеризуються кращими умовами зволоження. Переважно поширені ксерофіти – сосна II класу бонітету, дуб III–IV класів бонітету. Дуб скельний, дуб звичайний, клен польовий, клен гостролистий зростають на більш родючих ґрунтах. У надґрунтовому покриві соснових деревостанів переважають лишайники, мохи і трав’яні рослини змішаного ксерофітно-мезофітного складу, а у дубових – фіалка запашна, веснівка дволиста, буквиця лікарська та інші ксеромезофіти.

2. Свіжі місцезростання відзначаються сприятливими умовами зволоження для багатьох деревних порід – берези повислої, бука, сосни звичайної, ясена, модрини, кленів, які тут можуть виявити найвищу продуктивність (I і вищий класи бонітету). Підлісок і надґрунтовий покрив репрезентовані мезофітами, ксерофіти зустрічаються рідко або відсутні. У підліску дубових насаджень панують бруслина та ліщина, а в надґрунтовому покриві – яглиця звичайна, маренка запашна, медунка темна, копитняк європейський, осока волосиста тощо. Зелені мохи, грушанка, брусниця, орляк та інші рослини представляють надґрунтовий покрив сосняків.

3. Вологі місцезростання характеризуються сприятливими умовами для ялиці, ялини, дуба звичайного, більшості тополь, берези пухнастої, бархата амурського, осики. У підліску та надґрунтовому покриві зростають мезофіти,

мезогірофіти й гірофіти. Домінуючими видами хвойних лісів є зелені мохи, зозулин льон, квасениця, молінія голуба, чорниця та ін. У лісостанах із бука, дуба, граба, в'язових, клена, ясена панують папороть чоловіча і жіноча, кропива, медунка, яглиця та ін. Підлісок представлений крушиною ламкою, бруслиною європейською, калиною, ліщиною.

4. Сирі місцезростання розташовані у понижених ділянках рельєфу і відзначаються надлишково вологим ґрунтом. Тут створюються найкращі умови для мезогігрофітів та гігрофітів – черемхи, вільхи чорної і сірої, крушини ламкої. У деревостанах розповсюджені ялина, сосна, береза, дуб, осика, які тут мають поверхневу кореневу систему. На півдні лісової зони поширені вільха чорна, липа, ясен, клен, ільмові, береза пухнаста та береза повисла. Типовий аероб бук лісовий в цих гігротопах відсутній через дефіцит кисню у ґрунті. Живий надґрунтовий покрив представлений мезогігрофітами та гігрофітами, рідше мезофітами. На бідних піщаних ґрунтах з кислою реакцією поширені багно звичайне, чорниця, зозулин льон, сфагнум, молінія, а на багатих глинистих ґрунтах – зірочник гайовий, безщитник жіночий, гравілат річковий, жовтець повзучий, гадючник в'язолистий, живокіст лікарський.

5. Лісові болота - місцезростання із вкрай надмірним зволоженням.

Л.Г. Раменським виділено 120 ступенів зволоження ґрунтів. Детально розроблені рослинні індикатори відносних ступенів зволоження ґрунтів лук, пасовищних і сіножатних угідь (табл. 11).

Таблиця 11. ***Трав'янисті рослинні індикатори відносних ступенів зволоження ґрунтів (Раменський, 1956)***

Ступень зволоження	Бали	Види рослин
Мізерне	1–17	Полин сіро-білий, плоскуха, або біюргун солончаковий, курай тамариксовидний, або боялич, рогачка, або ебелек туркестанський
Вкрай недостатнє	18–30	Полин приморський, рогачка або ебелек піщаний, житняк пустельний, ковила сарептська, колосняк гіллястий
Недостатнє	31–39	Полин австрійський, осока вузьколиста або уральська, кипець, або келерія гребінчастий(а)
Помірно недостатнє	40–46	Полин сантонінний, кипець, або келерія сизий(а), ковила пірчаста, чебрець Маршалла, наголоватка павутинна

Продовження таблиці 11

Нейтральне	47–52	Тимофіївка степова, таволга, або лобазник звичайний, або земляний горішок, жабриця-ладанник, люцерна серпувата, шавлія кільчаста, залізняк бульбистий
Помірно вологе	53–63	Осока низька, свинорій пальчастий, куцоніжка пірчаста, полин гіркий, волошка фригійська
Середньовологе	64–76	Осока пальчаста, китник лучний, костриця висока, колосняк Пабоана, куничник очеретяний
Помірно надлишкове	77–88	Осока чорноколоса, бекманія звичайна, книдія сумнівна, або жгун-корінь, таволга, або лобазник в'язолиста(ий), журавець болотний, айстра солончакова
Надлишкове	89–93	Осока чорна, хвощ болотний, пухівка піхвова, очеретянка звичайна
Сильно надлишкове	94–103	Осока пухирчаста, шейхцерія болотна, ситняг болотний, тростяниця кострицева
Обводнене	104–109	Шавлія поникла, лепешняк великий, калюжниця болотна, сусак звичайний, куга озерна
Водне	110–120	Латаття сніжно-біле, рдесник пронизанолистий

Існує загально прийнята класифікація рослин-індикаторів за відношенням до ґрунтового зволоження:

- ***ксерофіти*** – види посушливих місцезростань, для них характерні вузьколистість, опушення листків, жорсткі стебла та видозміни листків (колючки); сухим ґрунтам надають перевагу полин, майже всі види ромашки, смілка біла, горицвіт літній, геліантемум, калерія блакитна, седум їдкий.

-***ксеромезофіти*** – індикатори свіжих і сухих ґрунтів (залізняк бульбоносний, герань криваво-червона та ін.).

-***мезофіти*** – рослини помірно зволожених районів (польовиця, конюшина, золотарник звичайний, тимофіївка, ліщина звичайна, веснівка дволиста, кульбаба осіння, герань лучна, чина весняна, підмаренник справжній, борщівник сибірський тощо);

-мезогігрофіти – індикатори сирих і вологих ґрунтів (хвощ лісовий, плакун-трава, гребінник прибережний, квасниця звичайна та ін.).

-гігрофіти – рослини-індикатори надлишкового зволоження; на вологому ґрунті зростають м'ята лучна, таволга в'язолиста, калюжниця рогата, перстач гусячий, жовтець повзучий, мати й мачуха, різні види хвоща;

-гідрофіти – рослини мілководь та прибережних смуг водойм, мають темно-зелене листя та товсті соковиті стебла; дуже вологий ґрунт обирають польовиця гігантська, рогіз вузьколистий, осока дерниста й пухирчаста, комиш лісовий й укорінливий.

-гідатофіти – водні рослини, які більшою частиною або повністю занурені у воду (елодея канадська, рдесник плаваючий, валіснерія спіральна, латаття біле, глечики жовті).

Шкала вибагливості деревних порід до вологи розроблена П.С. Погребняком (табл. 12).

Таблиця 12. ***Шкала вимоглиивості деревних рослин до вологи (за Погребняком, 1968)***

Групи рослин	Деревні породи
0. Ультраксерофіти	Саксаул, фісташка, ялівці, дуб корковий, дуб пухнастий, грабинник
1. Ксерофіти	Сосна звичайна, сосна кримська, сосна Банкса, айлант, абрикос, в'яз дрібнолистий, скумпія,маслинка, обліпиха, степові кущі, груша лохолиста, самшит, верба шелюга, гранатник, понцирус
2. Ксеромезофіти	Дуб звичайний, дуб сидячеквітний, гледичія, чорноклен, клен польовий, клен гостролистий, берека, груша звичайна, берест, черешня, яблуня
3.Мезофіти	Липа, бук, граб, ясен, горіхи, модрина, гіркокаштан звичайний, каштан їстівний, береза повисла, ільм, осика, ліщина, бузина, сосна кедрова, сосна Веймутова, ялиця, дугласія, бархат амурський,
4. Мезогігрофіти	В'яз, крушина ламка, черемха, береза пухнаста, осокір, верба козяча, верба ламка, верба сіра, вільха срібляста, птерокарія, айва
5. Гігрофіти	Болотний екотип ясена, верба вухата, верба сіра, верба лапландська, вільха чорна, кипарис болотяний, береза карликова,

О.Л.Бельгард (1971) запропонував шкалу відношення деревних рослин до вологи для степової зони України (табл.13).

Таблиця 13. ***Шкала відношення деревних рослин до вологи (за Бельгардом, 1971)***

Групи рослин	Деревні породи
1. Ксерофіти	Сосна кримська, сосна звичайна, гледичія, акація біла, маслинка, айлант, скумпія, дуб пухнастий, тамарикс, ялівець віргінський
2. Мезоксерофіти	Берест (пробкова форма), шипшина собача, крушина проносна, мигдаль степовий, вишня степова, терен
3. Ксеромезофіти	Дуб звичайний, берест, груша, паклен, чорноклен, ясен звичайний (суходільний екотип), яблуні
4. Мезофіти	Граб, ліщина, липа дрібнолиста, ільм, клен гостролистий, калина гордовина, бруслина європейська і бородавчаста, сосна Веймутова, модрина сибірська, клен явір
5. Мезогігрофіти	Тополі чорна і біла, осика, береза пухнаста, в'яз, крушина ламка, бузина чорна, калина звичайна
6. Гігрофіти	Верба біла, ламка, тритичинкова і сіра, вільха чорна, черемха, ясен звичайний (болотний екотип)

Існує також розподіл рослин на групи за їх відношенням до стану вологи в ґрунті.

1. ***Фреатофіти*** – рослини, які пов'язані з водоносними горизонтами. Вони мають добре розвинену кореневу систему, що досягає 5–30 м. Наприклад, у солодки голої її довжина становить 5–10 м, у середньоазіатських тамариксів – до 7 м, а чорного саксаула – 25 м.

2. ***Омброфіти*** – рослини, що існують за рахунок атмосферних опадів. Вони відрізняються дуже розгалуженою системою поверхневих коренів, які під час опадів швидко всмоктують воду. До цієї групи відноситься багато сукулентів.

3. ***Трихогідрофіти*** – рослини, життєдіяльність яких перш за все залежить від капілярної води ґрунтових вод. Вони зазвичай мають кореневі системи універсального типу і поєднують риси фреатофітів і омброфітів.

3.1.2. Оцінка місцезростання рослин за екологічними шкалами

Екологічна оцінка середовища за шкалами Л.Г. Раменського

На теперішній час запропоновано багато шкал, які характеризують або екоморфи з використанням порядкового номера режиму в шкалі фактора (однозначні виміри), або амплітуду толерантності видів, охарактеризовану її крайніми значеннями (двозначні виміри). Фітоіндикаційні шкали найповніше викладені в спеціальних монографіях (Раменський та ін., 1956; Цаценкін, 1967, 1970; Цаценкін та ін., 1974; Цаценкін, Касач, 1970; Циганов 1978, 1983; Ellenberg, 1979; Zalyomi et al., 1966; Landolt, 1972; Zarzycki, 1984; Frank, Klotz, 1990 та ін.). У додатку 2 наведені довідкові матеріали до таблиць Д.М Циганова, Г. Елленберга, Е. Ландольта, Е. Ландольта – Т. Зажицького. За цими шкалами Я.П. Дідухом і П.Г. Плюта (1994) створювалася база даних екологічних амплітуд флори України.

Розроблені Л.Г. Раменским екологічні шкали та формули дозволяють проводити екологічну оцінку місцезростань за рослинним покровом. Для встановлення екологічних формул рослин було використано понад 20 тисяч геоботанічних описів, виконаних в основному в європейській частині.

Для визначення екологічних умов місцеперебування конкретного рослинного угруповання Л.Г. Раменский запропонував два методи: метод зарубок і метод обмежень.

Метод зарубок заснований на використанні кривих залежності великої кількості видів від факторів середовища. Такі криві викреслюються для всіх видів угруповання, і на кожній кривій відзначаються точки, які відповідні рясності виду в даному описі. Точку, що показує величину рясності, називають «зарубкою». Це означає, що для даної рослини підходить зазначена зарубкою ступінь зволоження або іншого фактора. Потім виписують значення зарубок у ранжируваний ряд, медіана якого приймається за ступінь фактора, що шукається.

Метод зарубок на кривих і його таблична модифікація дуже громіздкі і застосовуються при початковій розробці екологічного ряду місцевого значення. Коли створені екологічні формули стосовно кожної рослині, використовують метод обмежень. Принцип його такий же як і методу зарубок. Спочатку виписують два ранжовані ряди обмежувальних ступенів, що відповідають рясності видів в угруповань: перший («від») – ряд у порядку спадання значень обмежувальних ступенів з боку найбільш вологих амплітуд до сухих – сухе

крило ряду, другий («до») – ряд у порядку зростання обмежувальних ступенів з боку найбільш сухих амплітуд до вологих – вологе крило ряду.

А.Д. Булохов як приклад для розрахунку середнього бала вираженості фактора надає опис болотнотонконігово-лучнолісохвостової луки (табл. 14).

Таблиця 14. ***Приклад розрахунку середнього бала вираженості фактора за шкалами Раменського***

Назва рослин	Проективне покриття %	Амплітуда зволоження
Лисохвіст лучний	35	66 – 77
Тонконіг болотний	40	87 – 90
Щучник дернистий	1	66 –89
Мітлиця собача	2,5	78 – 95
Осока рання	0,3	48 – 86
Конюшина лучна	3,5	55 – 77
Дзвінець весняний	5	49 – 70
Жовтець повзучий	1,5	72 – 92
Жгун-корінь сумнівний	3,5	77 – 99
Кульбаба осіння	2,5	54 – 74
Фіалка собача	3	61 – 69
Рутвиця світла	0,3	63 – 95
Горицвіт зозулин	0,2	60 – 98
Волошка лучна	1,5	55 – 72
Перстач гусячий	0,2	58 – 90
Гадючник в'язолистий	0,1	18 - 100
Підмаренник болотний	0,2	57 – 97
Осока лисяча	0,1	75 – 100
Осока заяча	0,2	64 – 87
Підмаренник північний	0,1	58 –75
Жовтець їдкий	0,1	53 – 98
Вербозілля звичайне	0,1	76 – 106

З опису отримуємо два ряди обмежувальних ступенів:

від	*106*	*100*	*100*	*99*	*98*	*98*	*95*	*95*	*92*	*90*	*90*	*89*	*87*	*86*	*77*	*77*	*75*	*74*	*72*	*70*	*69*
до	48	49	53	54	55	56	57	57	58	60	61	63	64	66	66	72	75	76	77	78	87

Перекриття цих двох рядів обмежувальних ступенів відбулося у ступеня 75. Значить ступень зволоження визначається як 75. Праворуч від неї розташовані ступені 74 і 76. Вони дають таке ж число (74 + 76): 2 = 75. Зліва розташовані ступені (77 + 72): 2 = 74,5, вони дають значення, близьке до

отриманого рішення. Місцеперебування цього угруповання характеризується як вологолучне (64–76). У практичній роботі не обов'язково виписувати всі ступені «від» і «до». Досить виписати 5–6 пар ступенів, тих, які дають рішення. У нашому прикладі «від» – 77–70 і «до» – 66–78. Таким же шляхом визначають індекси і за іншими факторами. Наведемо приклад обмежувальних рядів за шкалою багатства ґрунту:

від	...	15	14	13	12	9	9	8	8	5
до	...	6	7	9	12	13	13	14	17	19

Перекриття рядів відбувається на ступені 12. Вона і приймається за рішення. Праворуч і ліворуч від неї пара цифр дає суму 22, а ступені багатства визначаються як 11. Середнє число з трьох пар 11,5. Різниця в ступені 0,5 не має істотного значення, так як обидва індекси відповідають досить багатим ґрунтам (ступені 10–13 за шкалами Раменського). Отже, реально досягаєма точність індикації за шкалами не перевищує 5 ± 1 бал.

Екологічна оцінка середовища за шкалами Г. Елленберга

Шкали Г. Елленберга, як і всі оптимумні шкали, побудовані за таким принципом: 1 бал завжди виражає найменше, а 12 – найвище значення фактора. Г. Елленберг виділяє евритопні види в окрему категорію, позначену знаком «х». Такі види не використовуються в оцінці місцеперебування, оскільки індикаторної цінністю не володіють.

Екологічна оцінка місцеперебування за допомогою шкал Г. Елленберга проводиться наступним чином. У польових умовах робиться геоботанічний опис фітоценозу або серія описів. Ступінь кількісної участі (рясність або проективне покриття) кожного виду оцінюється в балах на пробному майданчику за шкалою Браун-Бланке:

5 – проективне покриття більше 75 %;

4 – проективне покриття – 50–75 %;

3 – проективне покриття – 25–50 %;

2 – проективне покриття – 5–25 %;

1 – особини виду численні, але покриття до 5 %.

+ – особини виду розріджені, покриття до 1 %.

Г – дуже рідко, не більше 4 примірників на майданчику.

Для кожного виду проставляється бал досліджуваного фактору або ж групи факторів. Бальні оцінки, що показують різноманітність видів за шкалою

Браун-Бланке (при цьому бал + приймається за 1. Перемножуються на бали, що характеризують відношення видів до екологічних факторів. Отримані цифри підсумовуються. Суму, отриману від множення балів, ділять на суму бальних оцінок всіх видів в описі шкали Браун-Бланке і отримують середній бал вираженості фактору.

Визначення середнього балу робиться за формулою:

$$X = \frac{К_1 X_1 + \cdots + К_n X_n}{К_1 + К_2 + К_3 + \cdots + К_n} = \frac{\sum КХ}{\sum X},$$

де X – середній бал вираженості фактора; $К_1$–$К_n$ – бали видів за шкалою Браун-Бланке, X_1–X_n – бали за екологічними шкалами.

Таблиця 15. ***Приклад розрахунку середнього бала вираженості екологічних факторів за шкалами Г. Елленберга***

Назва видів	Рясність за Браун-Бланке	Значення за шкалами Елленберга			K ×X		
		F	R	N	F	R	N
Лисохвіст лучний	3	6	6	7	18	18	21
Тонконіг болотний	4	9	8	7	36	32	28
Щучник дернистий	1	7	X	3	7	-	3
Мітлиця собача	1	9	3	2	9	3	2
Жгун-корінь сумнівний	2	8	6	X	16	12	-
Підмаренник північний	2	7	9	4	14	18	8
Осока рання	+	3	X	X	3	-	-
Конюшина лучна	1	X	X	X	-	-	-
Дзвінець весняний	2	7	X	2	14	-	4
Фіалка собача	1	4	3	2	4	3	2
Рутвиця світла	+	8	8	X	8	8	-
Волошка лучна	+	X	X	X	-	-	-
Перстач гусячий	+	6	X	7	6	-	7
Підмаренник болотний	+	8	X	X	8	-	-
Кульбаба лікарська	+	5	X	7	5	-	7
Кульбаба осіння	1	5	X	5	5	-	5
Осока лисяча	+	9	X	5	9	-	5
Осока заяча	+	7	3	4	7	3	4
Жовтець повзучий	2	7	X	X	14	-	-
Жовтець їдкий	+	X	X	X	-	-	-

Примітка: F – вологість ґрунту; R – кислотність ґрунту; N – забезпеченість мінеральним азотом.

У табл. 15 наведено приклад розрахунку середнього бала (середньозважений індекс) вираженості фактора в місцеперебуванні болотнотонконігово-луговолісохвостового угрупування. За розрахунками сума значень F дорівнює 183,. R – 97, N – 96. Сума бальних оцінок всіх видів в опису шкали Браун-Бланке становить відповідно – 26, 15 і 19. Середні бали вираженості фактора дорівнюють 7,0, 6,5 і 5,0. Отриманий результат характеризує місце проживання як вологе (F – 7,0), слабокисле (R – 6,5), з середнім вмістом мінерального азоту в ґрунті (N – 5,0).

Розрахунок середнього бала вираженості фактора можна зробити за кількістю видів в описі, що мають однакове число балів досліджуваного фактора. Встановивши число видів з однаковими балами фактора, перемножують бал фактора на число видів, що мають такий бал. Отриману суму ділять на кількість врахованих видів і отримують середній бал фактора. Як приклад використовуємо вже описане вище угруповання.

Шкали Г. Елленберга включають 705 видів судинних рослин, поширених в середній смузі європейської частини, які формують ліси, луки, болота і водну і синантропну рослинність. Ставлення видів до континентальності клімату і тепла в межах кліматичного регіону дуже незначно і практично зведено до нуля. Тому зі шкал Елленберга, як більш детальних, що мають великий географічний діапазон, найчастіше використовують відношення видів до світла – L, вологості – F, реакції ґрунту – R, і забезпеченості мінеральним азотом – N.

У літературі виникало питання про правомочність застосування шкал Елленберга на території Східної Європи, так як вони розроблені для Західної і Середньої, а не Східної Європи. Друга проблема полягає в тому, що в цьому або іншому регіоні за рахунок зміни комплексу кліматичних і едафічних факторів середовища відношення видів до окремих факторів може помітно змінюватися. На цій підставі неодноразово стверджувалося, правда без спеціальних досліджень, що всі шкали носять вузько регіональний характер. Дослідження Ю.І. Самойлова (1973, 1980) показали, що передбачаємі регіональні відмінності в екології видів при використанні шкал Раменського, Елленберга, Клаппа і Хунда чітко не виявляються. В останніх виданнях Г. Елленберг багато в чому врахував відношення видів до факторів середовища не тільки в межах Середньої Європи, а й в межах району дії шкал Л.Г. Раменського. Це різко знижує можливість грубих помилок при

використанні шкал Елленберга з метою фітоіндикації екологічних режимів рослинних угруповань. До того ж, облік повного флористичного складу угруповання приводить до того, що невеликі різноспрямовані неточності в показаннях окремих видів при розрахунку компенсують один одного.

Шкали Г. Елленберга вже неодноразово використовувалися і перевірялися інструментально в умовах Північно-Заходу, Центру Східної Європи і Південного Нечорнозем'я, причому у всіх випадках порівняння результатів індикації і хімічного аналізу ґрунту підтвердило їх достатню відповідність. Порівняльна оцінка вологості і багатства ґрунту в місцях існування різних угруповань за шкалами Г. Елленберга і Л.Г Раменського показала, що отримані оцінки свідчать про добрий збіг результатів, визначених за порівнюваними шкалами.

В останні роки з'явилися нові напрямки у використанні методу екологічних шкал. Це – визначення фітоценотичного оптимуму видів, їх екологічних ніш, встановлення еколого-ценотичних груп рослин, оцінка екологічних факторів мозаїчності рослинності. Оцінка середовища існування за екологічними шкалами дозволяє виявляти щорічні зміни умов, бо вони відбиваються на рослинності. Це дає можливість об'єктивно і детально вивчати зміни умов при флуктуаціях і сукцесіях. Метод отримає розвиток і широке застосування в лісознавстві, ґрунтознавстві і ряді інших природничих наук.

3.1.3. Індикація типів лісових ділянок (за Д.А. Булоховим, 1996*)*

Еколого-ценотичні групи видів широко використовуються в лісовій типології для встановлення типів лісових ділянок і типів лісу (типів лісових біогеоценозів). На практиці спочатку встановлюється тип лісової ділянки. Для цього використовується едафічна сітка, яка побудована на методі ординації. Так для класифікації лісових ділянок була застосована існуюча нині едафічна сітка Алексєєва-Погребняка. Вона представлена як координатна система, осями якої є дві категорії: перша – багатство лісорослинних умов, друга – вологість (додаток 3). Отже, у сітці сполучаються трофогенний та гігрогенний ряди. Типам лісорослинних умов за Алексєєвим-Погребняком надаються індекси, які характеризують групу типів та ступінь зволоження. Так, A_2 – свіжий бір; C_2 – свіжий складний субір; O_3 – волога діброва. Головним показником, на який орієнтуються для визначення едафотопу, є деревна рослинність, тому що вона відбиває певну сукупність дії на неї екологічних чинників.

Оскільки надґрунтовий покрив (трав'яниста рослинність) також відображає певні лісорослинні умови, його застовують для індикації відповідних едафотопів. Для визначення типу лісорослинних умов використовують й інші, допоміжні ознаки, – механічний склад ґрунту, глибину ґрунтового профілю, підстилаючу породу, реакцію ґрунту, наявність карбонатів тощо.

Вісь багатства (трофотопу) розділена на чотири градації: A, B, C, D, A – бори (бідні ґрунти), D – діброви (дуже багаті ґрунти). У діапазоні від бідних до багатих ґрунтів розташовані субори – B, сугрудки (складні субори) – C.

Вісь вологості розділена на шість градацій. Кожна градація називається гігротопом. Гігротопи – ділянки лісу, місцеперебування яких характеризуються зволоженням, що однакове у своїх межах і відрізняється від сусідніх на одну градацію. Едафічна сітка передбачає, що кожна ділянка типу лісу є одночасно гігротопом і трофотопом. Щоб визначити тип лісової ділянки, використовують групи рослин-індикаторів, які нанесені на едафічної сітку. Тип лісової ділянки отримує назву, що складається з двох слів, які вказують градацію багатства і градацію вологості, і символізується цифрово-літерним шифром. Наприклад, A_1 – сухий бор; D_3 – волога діброва (вологий груд).

Для визначення типів лісових ділянок треба використовувати не окремі види-індикатори, а еколого-ценотичні групи видів, які добре индикують місцеперебування. Як приклад А.Д. Булохов (1996) розглядає деякі екоценогрупи, які є індикаторами типів лісових ділянок у середній смузі Східної Європи.

Cladonia-група (оліготрофні ксерофіти): *Cladonia mitis, C. sylvatica, Cetraria islandica, Thymus serpyllum, Carex ericetorum, Astragalus arenarius, Jasione montana, Helichrysum arenarium, Sedum acre, Polytrichum pilosum*. Група – індикатор дуже сухих і сухих борів і суборів (A_1; B_1).

Dicranum -група (оліготрофні мезофіти): *Dicranum rugosum, D. scoparium, Polytichum juniperinum, Pleurozium schreberi, Pyrola minor, Melampyrum pratense* – індикатор типів свіжі бори і субори (A_2; B_2).

Molinia-група: *Molinia caerulea, Vaccinium myrtillus, Potentilla erecta, Nardus stricta, Polytrichum commune* – індикатор вологих і сирих типів лісових ділянок (A_{3-4}, B_{3-4}).

Peucedanum oreoselinum-група (мезотрофні ксерофіти): *Peucedanum oreoselinum, Antennaria dioica, Polygonatum odoratum, Festuca ovina, Koeleria grandis, Geranium sanguineum, Veronica spicata, Vincana, Genista tinctoria* – індикатор сухих і свіжих борів і суборів (A_{1-2}, B_{1-2}).

Pteridium-група (мезотрофні мезофіти): *Pteridium aquilinum, Carex digitata, Luzula pilosa, Veronica officinalis, Cala-magrostis arundinacea, Solidago virgaurea, Convallaria majalis, Rubus saxatilis* – індикатор свіжих і вологих суборів і сугродків. Краєм екоценоареалу заходить у сухі типи.

Oxalis-група (мезотрофні гігрофіти): *Oxalis acetosella, Gymnocarpium dryopteris, Majanthemum bifolium, Trientalis europaeum, Lysimachia vulgaris* – індикатор вологих і сирих суборів і сугрудків ($B_{3-4,}$ C_{3-4}).

Carex elongata-група (мезотрофні гелофіти): *Carex elongata, Calla palustris, Menyanthes trifoliata, Comarum palustre, Peucedanum palustre, Salix cinerae, Thelypteris palustris, Sphagnum squarrosum* – індикатор мокрих суборів і сугрудків ($B_{5,}$ C_5).

Trifolium alpestre-група (мегатрофні ксеромезофіти): *Trifolium alpestre, Campanula persicifolia, Carex montana, Lilium martagon, Potentilla alba, Laserpitium prutenicum, Lathyrus niger, Primula veris, Brachypodium pinnatum* – індикатор типів свіжих сугрудків і дібров ($C_{2,}$ D_2).

Galeobdolon-група (мегатрофні мезофіти): *Galeobdolon luteum, Asarum europaeum, Galium odoratum, Aegopodium podograria, Pulmonaria obscura, Lathyrus vernus, Mercurialis perennis, Viola mirabilis, Stellaria holostea* – індикатор свіжих і вологих сугрудків і грудів або дібров ($C_{2-3,}$ D_{2-3}).

Corydalis-група (мегатрофні гірофіти): *Corydalis cava, C. solida, Gagea lutea, Anemone ranunculoides, Adoxa moschatellina, Lathraea squamaria* – індикатор вологих дібров (D_3).

Ficaria verna-група (мегатрофні гігрофіти): *Ficaria verna, Filipendula ulmaria, Impatens noli-tangere, Chrysosplenium alternifolium, Cirsium oleraceum* – індикатор сирих і мокрих сугрудків і дібров ($C_{4-5,}$ D_{4-5}).

Слід зазначити, що екоценогрупи зберігають своє індикаторне значення в кліматично однорідному регіоні, так як їх екологічна амплітуда в межах ареалу сильно звужена конкуренцією. Тому для кожного регіону треба встановлювати свої еколого-ценотичні групи.

Синтаксономічна індикація едафічних умов і ландшафтів

Як вже зазначалося, фітоіндикація розділяється на ряд напрямків, кожен з яких займається індикацією певних факторів середовища або процесів. Крім того, в останні роки все більш широкий розвиток отримує ландшафтна індикація, за якої за характером рослинності визначаються геолого-геоморфологічні, кліматичні, едафічні та інші ознаки ландшафту.

Досвід використання асоціацій та інших одиниць класифікації рослинності і для цілей фітоіндикації широко використовувався в школі С.В. Вікторова (1985). Але нерідко для цілей індикації застосовують асоціації встановлені за домінантами. Такі асоціації не мають виразного екологічного об'єму і залежать від екології конкретного домінанта. Евритопні домінанти слугують основою для встановлення великих за обсягом асоціацій, а стенотопні – дрібних. Асоціації, що встановлені за домінантами, мають низьку стійкість до перешкод, тому що при сезонній і річній мінливості змінюється склад домінантів і, крім того, може відбуватися випадання одного з домінантів у результаті господарського використання, яке істотно не змінило умов середовища.

Цих недоліків позбавлені класифікаційні одиниці (синтаксони) еколого-флористичної класифікації. Термін «синтаксономічна індикація» лише свідчить, що для індикації використовуються синтаксони системи Браун-Бланке.

Асоціації та одиниці більш високого рангу системи Браун-Бланке мають більш вирівняний обсяг в силу того, що виділяються за комплексом ознак, мають стійкість до перешкод. Сувора ієрархія класифікації дозволяє і індикацію будувати на різнорівневій основі, оцінюючи синтаксонами різного рангу місцеперебування, що розрізняються за класами екотопів і масштабами. Відмінності на рівні макромасштабу індикують синтаксони рангу союзу і класу, на рівні мікромасштабу – рангу асоціацій, субасоціацій, варіантів і фацій (Булохов, 1996). Фітоценологи, географи і ґрунтознавці в Центральній Європі широко використовують одиниці еколого-флористичної класифікації і встановлені на їх основі еколого-ценотичні групи для маркування різних ландшафтів і більш дрібних підрозділів – урочищ (типів місцевостей), фацій. Як відзначають всі дослідники, синтаксони є надійними індикаторами також і комплексних груп чинників: кліматичних, орографічних і едафічних.

Синтаксономічна індикація можлива на двох рівнях – синтаксонів і сигмасинтаксонів. ***Сигмасинтаксон*** – закономірне стійке територіальне сполучення синтаксонів будь-якого рангу. Сигмасинтаксон – це сума всіх рослинних угруповань (синтаксонів), що зустрічаються на досить гомогенній і досить великій площі.

У табл. 16 наведено індикаційні схеми синіндікації для різного рівня синтаксонів, в якості індикаторів використані синтаксони різного рангу від субасоціацій до підсоюзів. Поряд із прямими спостереженнями за механічним складом ґрунту, екологічні режими синтаксонів А.Д. Булохов (1996) визначив за шкалами Г. Елленберга.

Таблиця 16. ***Синтаксономічна індикація едафічних умов (за Булоховим, 1996)***

Синтаксони-індикатори	Індикати
1. Artemisio campestris-Agrostietum tenuis helichrysetosum arenarii – Полевополинно-тонкомітлична асоціація (ас.), цмину субасоціація	Сухі – 3,9*, кислі – 3,2, помірно забезпечені азотом – 3,1, піщані, дерново-підзолисті ґрунти
2. Agrostietum vienalis-tenuis - Виноградниково –тонкомітлична ас	Сухі – 3,2, помірно-кислі – 5,1, бідні азотом – 2,9, піщані, заплавні ґрунту.
3. Koelerio delavignei-Festucetum rubrae – Делявінякелерево-червонокострицева ас.	Свіжі – 5, слабокислі – 6,4, помірно забезпечені азотом – 4,7, заплавні супіщані ґрунти.
4. Poo palustris – Alopecuretum pratensis –Болотнотонконігово-лучнолісохвостова ас.	Сирі – 7,2, добре забезпечені азотом – 6,3, слабокислі до нейтральних 5,7 – 7,1, заплавні, суглинисті слабо глеєві ґрунти
5. Caricetum gracilis-Гостроосокова ас.	Болотні – 8,3, помірно забезпечені азотом –5,5, слабокислі – 4,9 –6,7, перегнійно-глеєві ґрунти.
6. Anthyllidi-Trifolietum montani-Заячоконюшиново-Горноконюшинова ас.	Сухі – 6,1, слабо забезпечені азотом – 3,3, слабо кислі – 6,8, сірі лісові суглинисті ґрунти
7. Cladonio-Pinetum – Сосняк лишайниковий ас.	Сухі – 3,3, дуже бідні азотом – 2,1, кислі – 4,3, дерново-підзолисті піщані ґрунти
8. Peucedano oreoselini-Pinetum – Сосняк смовдієвий ас.	Сухі – 3,3, бідні азотом – 3,0, кислі – 3,9, дерново-підзолисті супіщані ґрунти.
9. Molinio-Pinetum – Сосняк молініевий ас.	Вологі – 6,8, бідні азотом – 2,8, сильно кислі – 2,1, дерново-підзолисті глеєві піщані ґрунти
10. Galeobdolo-Carpinetum betuli – Грабняк зеленчуків ас.	Свіжі – 5,6, добре забезпечені азотом – 5,6, слабо кислі – 6,6, дерново-слабопідзолисті супіщані ґрунти

Продовження таблиці 16

11. Mercurialo-Quercetum roboris – Дубняк перелісниковий ас.	Свіжі – 5,6, добре забезпечені азотом – 6,7, нейтральні 7,1, світло-сірі лісові суглинисті ґрунти
12. Eriophoro-inetum – Сосняк пухівковий ас.	Сирі – 7,5, дуже бідні азотом – 2,2, сильно кислі – 2,5, торф'яні ґрунти
13. Cladonio –Pinenion – Підсоюз оліготрофні, сухі лишайникові сосняки	Піщані надзаплавні тераси річкових долин
14. Carpinenion betuli – Підсоюз широколистяних лісів з ялиною звичайною	Моренно-зандрові рівнини з дерново-слабопідзолистими супіщаними ґрунтами
15. Acerenion campestris – Підсоюз широколистяних лісів евтрофних середовищ існування	Супесчано-суглинисті рівнини з сірими лісовими суглинистими ґрунтами

Примітка.* Цифри показують бали за Г. Елленбергом (1979).

Таблиця 17. ***Сигмасинтаксономічна індикація ландшафтів (Булохов, 1996)***

Сигмасинтаксони-індикатори	Індикати
1. Nardetum stricti- Sigmetum	Ландшафти зандрованих рівнин
2. Anthyllidi-Trifolieto-montani-Sigmetum	Ландшафти лесових рівнин
3. Cynosuro cristali-Agrostieto-tenuis-Sigmetum	Заплави середніх і дрібних річок лісової зони, середнього рівня, короткозаплавні луки
4. Junco filiformis-Agrostieto caninae-Sigmetum	Заплави середніх річок лісової зони низького рівня, короткозаплавні луки
5. Poo palustris-Alopecureto pratensis-Sigmetum	Ділянки заплав середньої та нижньої течії великих річок. Довгозаплавні луки середнього рівня
6. Phalarideto arundinaceae-Sigmentum	Ділянки заплав середньої і нижньої течії великих річок, низького рівня, довгозаплавні луки.

Не важко впевнитись, що за складом синтаксонів можна розрізняти багато чинників середовища: зволоження, багатство, кислотність, механічний

склад ґрунту (табл. 16). Синтаксони в ранзі підсоюзів і угруповань виступають індикаторами зональних умов. Так, підсоюз *Acerenion campestris* є індикатором зони широколистяних лісів і сірих лісових ґрунтів, а підсоюз *Cladonio-Pinenion* – індикатор азональних сухих соснових лісів надзаплавних терас. Досить надійними індикаторами різних типів ландшафтів є сигмасинтаксони. У таблиці 17 наведена індикаторна роль сигмаасоціацій і їх варіантів.

За складом сигмасинтаксонов добре розрізняються відрізки заплав з короткозаплавними і долгозаплавними луками.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні трофотопи для деревної й чагарникової рослинності степу України.
2. Яка рослинність характеризує фізично бідні ґрунти (АВ)?
3. Яка рослинність є індикатором відносно фізично бідних ґрунтових умов (В)?
4. Які рослини переважають на ґрунтах фізично біднуватих (ВС)?
5. Яка рослинність свідчить про відносно багаті трофотопи, зв’язані з супіщаними ґрунтами (С)?
6. Які рослини є індикаторами найбільш багатих місць існування (Д), які тяжіють до живильних суглинків або супісей, що підстилаються прошарками глин або суглинків?
7. Назвіть рослинність більш вилугованих трофотопів, ніж D – Dc.
8. Сполучення яких рослин характерно для деревостану в умовах трофотопу D_{ac} (найбільш сприятливі лісорослинні умови в умовах нашого півдня)?
9. Назвіть основні гігротопи за типологічною схемою А.Л.Бельгарда.
10. Яка рослинність характерна для дуже сухих та сухих місць життя (0–1 – ксерофільних)?
11. Які рослини є індикаторами сухуватих гігротопів (1–мезоксерофільних)?
12. Назвіть рослинність, яка характеризує свіжуваті гігротопи (1–2 – ксеромезофільні)?
13. Яка рослинність є індикатором свіжих місць життя (2 – мезофільні)?
14. Назвіть головні рослини, що зростають у вологуватих умовах (2–3 – гігромезофільні)?
15. Яка рослинність свідчить про вологі гігротопи (3 – мезогігрофільні)?
16. Вкажіть, яка рослинність є ознакою сирих (4 –гігрофільних) трофотопів?
17. Яка рослинність є індикатором мокрих (5 – ультрагігрофільних) умов життя?
18. Які виділяють групи рослин за їх відношенням до зволоження ґрунтів?

19. Розкажіть про шкалу вологості ґрунтів П.С. Погребняка.
20. Охарактеризуйте розподіл рослин на групи за їх відношенням до стану вологи в ґрунті.
21. В чому суть екологічної оцінки середовища з використанням рослин за шкалами Л.Г. Раменського?
22. Розкажіть про шкалу проективного покриття Браун-Бланке.
23. За якою формулою визначається середній бал вираженості фактора за шкалою Г. Елленберга?
24. Наведіть приклади розрахунку середнього балу вираженості екологічних факторів за шкалами Г.Еленберга.
25. Які методи запропонував Л.Г. Раменський для визначення екологічних умов місцеперебування конкретного рослинного угруповання?
26. Охарактеризуйте едафічну сітку.
27. На скільки градацій розподілені трофотропи і гігротопи в едафічній сітці Погребняка?
28. Хто запропонував індикаційні схеми синіндикації?
29. На яких рівнях можлива синтаксономічна індикація?

РОЗДІЛ 4. ФІТОІНДИКАЦІЯ ҐРУНТІВ

4.1. Фітоіндикація ґрунтових умов

Ґрунт – верхній шар земної кори, сформований у результаті взаємодії біологічних чинників (рослинність, мікроорганізми, ґрунтова фауна) з материнськими гірськими породами за певних гідротермічних умов. Головною рисою є родючість – здатність забезпечувати рослини під час росту і розвитку водою та поживними речовинами.

Ще В.Л.Комаров писав про необхідність добитися того, щоб за змінами рослинного покриву можна було б безпомилково судити про ґрунт. На сьогодні відомості про індикацію ґрунтів значно збагатилися. Встановлено багато видів рослин, використовуючи які можна безпомилково визначити механічний, водний, хімічний, сольовий, та інші показники ґрунтів.

Фітондикація родючості ґрунтів

Індикаторами *високого вмісту живильних* речовин у ґрунті є – іван-чай вузьколистий, яглиця звичайна, розхідник звичайний, грястиця збірна, блекота чорна, чина лучна, тонконіг лучний, перстач гусячий, паслін солодко-гіркий, кропива дводомна, медунка темна.

Індикатори середнього *вмісту живильних* речовин у ґрунті – анемона жовтецева, калюжниця болотна, щитник чоловічий, бруслина бородавчаста, суниці лісові, підмаренник справжній, перстач білий, орляк звичайний, конюшина середня, купальниця європейська.

Індикатори *низького вмісту живильних* речовин у ґрунті – мітлиця собача, кошачі лапки дводомні, верес звичайний, костриця овеча, ліннея північна, багаторядник звичайний, щавель горобиний, конюшина польова.

Фітондикація механічного складу ґрунтів

За відношенням до механічного складу ґрунтів і материнських порід рослини поділяють на п’ять груп.

1. ***Псамофіти*** – ростуть на пісках (ефедра двоколоскова, верба гостролиста, верба каспійська, астрагал).

2. ***Пелітофіти*** – на глині (лобода розкидиста, гірчиця польова, лопух великий).

3. ***Алевритофіти*** – на суглинистих або супісчаних ґрунтах.

4. ***Хасмофіти*** – на кам'янистих ґрунтах (гвоздика іглолиста, мордовник звичайний, ломикамінь супротивнолистий).

5. ***Петрофіти*** – на скелях, те ж саме, що й літофіти. До літофітів відносяться ломикамінь, мінуарція залозистоволосиста, мінуарція шорстка, більшість видів дзвоників, костриці.

Індикатором ґрунтів середнього механічного складу (суглинистих) слугує, як правило, зональна рослинність. У зоні широколистяних лісів ґрунти світлих лісів з переважанням дібров – легкосуглинисті, а тінистих (клен, липа, осика) – важкосуглинисті і глинисті. Екологічний ряд деревних порід від піщаних ґрунтів до глинистих такий: сосна – дуб – береза – осика.

Фітондикація кислотності ґрунтів

Індикатори *найбільш кислих ґрунтів* – види, які мають оптимум розвитку на дуже кислих ґрунтах (pH 3,5–4,5), вони розповсюджені також на помірно кислих (pH 4,5–5,5), але відсутні або рідко зустрічаються на слабо кислих або нейтральних ґрунтах (ожика волосиста, осока малоквіткова, біловус стиснутий, мітлиця тонка, лерхенфельдія звивиста, багно звичайне, верес звичайний, щавель малий та ін.).

Індикатори *середньокислих* ґрунтів (pH 4,5–5,5) – ожика багатоквіткова, куничник сіруватий, осока попелясто-сіра, мітлиця собача, дзвінець малий, щитолисник звичайний.

Індикатори *слабокислих* ґрунтів (pH 5,5–6,5) – мезофіти з широкою екологічною амплітудою (очеретянка звичайна, жовтець їдкий, дзвінець відхилений, гравілат річковий, підмаренник болотний, котячі лапки дводомні).

Індикатори *нейтральних* ґрунтів (pH 6,5–7,3) – осока повисла, трясучка середня, лисохвіст лучний, костриця лучна, яглиця звичайна.

Індикатори *слаболужних* ґрунтів (pH 7,2–7,5) – айстра альпійська, березка польова, анемона жовтецева

Індикатори *помірно лужних* ґрунтів (pH 7,3–8,0) – тимофіївка лучна, гвоздика розчепірена, люцерна хмелевидна.

Індикатори *лужних ґрунтів* (pH вища 7,5–8,0) – пісколюб піщаний, очиток їдкий, гірчиця польова, мати-й-мачуха звичайна, айстра альпійська, березка польова, анемона жовтецева.

Фітондикція засолення ґрунтів

За відношенням до засолення ґрунту, досить умовно, виділяють дві великі групи рослин-індикаторів:

- ***галофіти*** – рослини, що зростають на засолених ґрунтах, поділяють на власно галофіти (галофіти хлоридного типу) та гіпсофіти (сульфатно-кальцієвого типу).

- ***глікофіти*** – мешкаці незасолених ґрунтів.

За пристосуванням до надлишкового вмісту солей рослини поділяють на:

- ***еугалофіти***, або власно галофіти, найбільш стійкі, типові солянки, які у великих кількостях накопичують солі і мають м'ясисті, соковиті стебла, редуковані м'ясисті листки (солонець європейський, содник блискучий та ін.).

- ***криногалофіти*** – рослини, які поглинають багато солей і виділяють їх через спеціальні залозки у вигляді краплин розсолу, після висихання здуваються вітром (армерія, кермек, тамарикс, франкенія).

- ***глікогалофіти*** – рослини, які характеризуються рядом анатомічних і фізіологічних пристосувань, що запобігають надходженню надлишку солей до їх тканин (полин, лобода, буряк).

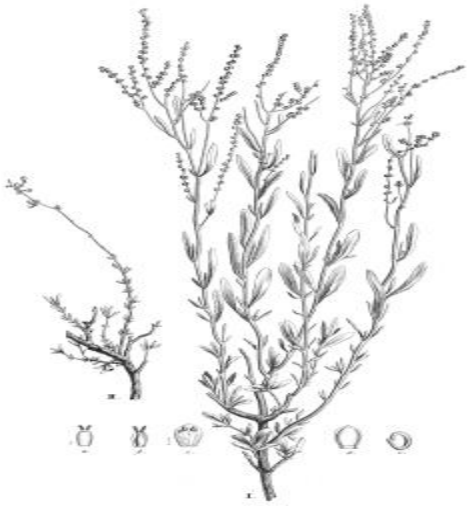
У рослин, які ростуть на ґрунтах з великим вмістом солей, спостерігаються відхилення від нормального розвитку. Це виражається в уповільненні розвитку рослин і у втраті ними здатності приносити плоди і насіння.

До незасолених відносяться ґрунти, що містять менше 0,3 %; до слабозасолених – 0,3–1,0 %; до середньозасолених – 1,1–2,0 %; до сильно засолених – 2,1–3,0 %; до солончаків – понад 3,0 % водорозчинних солей. *Постійними індикаторами засолених ґрунтів є облігатні галофіти*, що мають оптимум розвитку при засоленні ґрунтів понад 0,6–1,0 %. Вони відносяться частіше до родин Мареві, Портулакові, тамариксові та ін. (солонець трав'янистий, хаміліон бородавчастий, лутига сива, петросимонія товстолиста, калідіум каспійський, плоскуха або біюргун солончаковий, сарсазан шишковатий).

Постійні індикатори засолення ґрунтів представлені на рис. 33, 34.

В основу складання списку індикаторів засолення ґрунтів береться визначення середньої амплітуди засолення коренезаселеного шару ґрунту для основних рослин окремого географічного району. Найбільша кількість галофітів зустрічається в напівпустелях і пустелях. Так, Б.В. Виноградов (1964) виділяв серед них постійні, змінні та негативні галоіндикатори, в залежності від вмісту щільного залишку у коренезаселеному горизонті при максимальній величині засолення верхнього горизонту, % :

- для постійних 0,3–6,1 % та 7,4–45,8 %;
- для змінних 0,1–1,8 % та 7,3–35,9 %;
- для негативних 0,04–0,4 %.



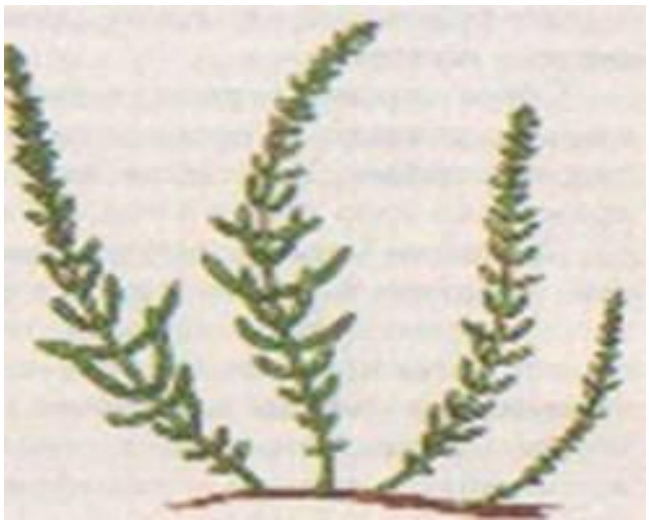
Лутига сива

Петросимонія товстолтста

Калідіум каспійський

Солонець трав’янистий

Біюргун солончаковий



Сарсазан шишкуватий

Рис.33. Постійні індикатори засолення ґрунтів

Содник сланкий

Прутняк звичайний

Селітрянка сибірська

Тамарикс щетинистоволосий

Курай содовий

Тамарикс безлистий

Рис. 34. Постійні індикатори засолення ґрунтів

До групи індикаторів засолених ґрунтів включають також види родів содника, прутняка, багато видів роду курая, тамариксів – щетинистоволосого і тонкоколистого, селітрянку сибірську (рис. 34). Природні причини засолення

ґрунтів – вихід на поверхню покладів солі, підняття солей з нижніх горизонтів за інтенсивного випаровування ґрунтового розчину тощо. Антропогенними чинниками забруднення ґрунтів є надлишок мінеральних добрив, надходження неочищених побутових та промислових стоків. До засолення ґрунтів призводить нераціональне зрошення. Засолені ґрунти частіше зустрічаються в посушливих місцях. Засолення пов'язано здебільшого з підвищеним вмістом натрію в ґрунті. Залежно від переважного нагромадження окремих солей натрію засолення може бути сульфатним, хлоридним, содовим або змішаним. Найбільш шкідливий вплив виявляє содове засолення.

У табл. 18. наводиться порівняльна отруйність солей, якщо за одиницю прийняти отруйність сірчанокислого натрію.

Таблиця 18. ***Порівняльний ступінь отруйності солей для рослин, ум. од. (Єгоров, 1954)***

Сіль	Ступінь отруйності солі	Неотруйні солі
Na_2SO_4	1	$MgCO_3$
$NaHCO_3$	3	$CaCO_3$
$MgSO_4$	3–5	$CaHCO_3$
$MgCl_2$	3–5	$CaSO_4$
NaCl	5–10	–
Na_2CO_3	10	–

Л.Г. Раменський (1956) виділяє 5 ступенів засолення ґрунтів.

Ступінь I. Слабозасолені, солончакуваті сіроземні, каштанові солонцеві ґрунти. Реакція ґрунтових розчинів – слаболужна (pH 7,5–8,3), у водній витяжці з верхнього півметрового шару міститься 0,05 % сульфатів та 0,01 – 0,03 % хлоридів.

Ступінь II. Середньозасолені ґрунти; зазвичай це лучні солончакуваті ґрунти (pH 7,5–8,3), сульфати – 0,1–0,3 %, хлориди – 0,05–0,1 %.

Ступінь III. Сильнозасолені ґрунти (солончаки) (pH до 9,1), сульфати – до 0,05 %, хлориди – до 0,3 %.

Ступінь IV. Різкозасолені ґрунти (солончаки). Вміст водорозчинних солей у поверхневому шарі ґрунту – кілька відсотків.

Ступінь V. Злісні солончаки (шори). Рослинність сильно зріджується або повністю відсутня.

Приклади рослин-індикаторів різних ступенів засолення ґрунтів наведено в табл. 19.

Таблиця 19. ***Рослинні індикатори відносних ступенів засолення ґрунтів на Південному сході Європейської частини (Раменський, 1938,1956)***

Ступінь засолення	Індикатори
I. Слабозасолені	Полин білоземельний, терескен, грудниця татарська, боялиг, або курай деревцеподібний
II. Середньозасолені	Плоскуха звичайна (півняче, або куряче просо), полин малоквітковий, ситник Жерара, курай жорсткий, морківник лучний
III. Сильнозасолені	Полин малоквітковий, хаміліон бородавчастий, франкения шорстка, або сайгача трава, курай Комарова, сосюрея солончакова
IV. Різкозасолені	Хаміліон черешковий, молочка приморська, сарсазан шишкуватий, соляноколосник прикаспійський, або карабаркар, солонець європейський
V. Злісні солончаки (шори)	Рослинність сильно зріджена або повністю відсутня

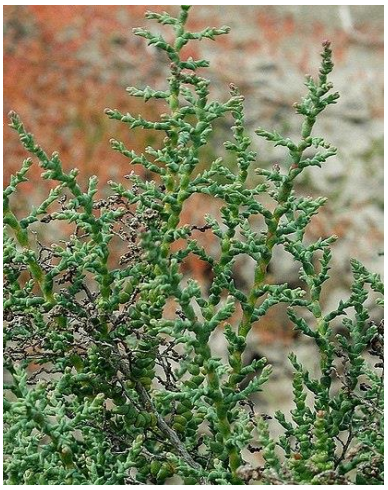
Критичний рівень засолення становить у середньому для глікогалофітів близько 2,5 %, криногалофітів – 3,4, евгалофітів – 4,8 %. Для мезофітів ця величина становить 1,5 %.

Індикаторами ***хлоридного засолення*** ґрунтів є: сарсазан шишкуватий, солонець європейський, тамарикс багатогіллястий; ***сульфатно-хлоридного***: поташник каспійський, тамарикс щетинистоволосий, солонець вузлуватий (рис. 35).

Фітоіндикатори ***хлоридно-сульфатного засолення*** – прибережниця солончакова, селітрянка Шобера, соляноколосник прикаспійський, саксаул чорний, петросимонія товстолиста (рис. 36); ***сульфатного*** – ожинар, або біюргун канделябрний та безлистий, нанофітон їжаковий

Тамарикс щетинистоволосий

Солонець вузлуватий



Поташник каспійськи

Рис 35. Індикатори сульфатно-хлоридного засолення ґрунту

Прибережниця берегова

Селітрянка Шобера

Соляноколосник прикаспійський

Біюргун безлистий

Рис. 36. Індикатори хлоридно-сульфатного засолення

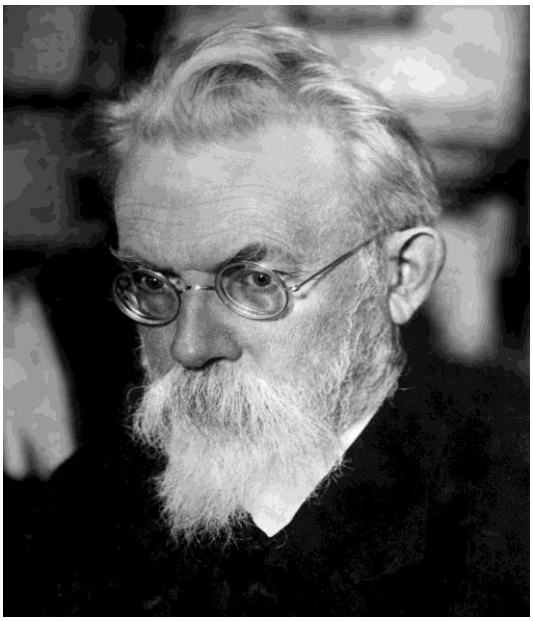
Індикаторами ***солонцевих ґрунтів із переважанням натрію над кальцієм*** слугують ксерогалофіти: полин малоквітковий, камфоросма марсельська; солонцюватих – ксеромезофити: соняшник російський, ліхніс сибірський. Індикатором ***загіпсованості ґрунтів*** слугує гіпсофіт ожинар, або біюргун гіпсовий і т.д.

Контрольні запитання

1. Назвіть фітоіндикатори родючості ґрунтів.
2. Які рослини є індикаторами механічного складу ґрунтів?
3. Назвіть рослини- індикатори кислотності ґрунтів?
4. Які дві великі групи рослин виділяють за їх івідношенням до засолення ґрунту?
5. На які групи поділяють рослини за пристосуванням до надлишкового вмісту солей у ґрунті?
6. На які градації поділяють ґрунти в залежності від вмісту в них солей?
7. Назвіть постійні індикатори засолених ґрунтів.
8. Які групи галоіндикаторів виділив Б.В. Виноградов в залежності від вмісту щільного залишку в коренезаселеному горизонті?
9. Які Л.Г. Раменський виділів ступені засолення ґрунтів і пов'язані з ними рослини-індикатори?
10. Назвіть фітоіндикатори хлоридно-сульфатного засолення.
11. Вкажіть індикатори солонцевих ґрунтів з переважанням натрію над кальцієм.

4.2. Фітоіндикація поверхневих покладів і корисних копалин

Вчення В.І. Вернадського про біосферу, ноосферу – основа біогеохімічного напряму в геології. Вивчення хімічного складу живої речовини і зв’язок з хімізмом оточуючого середовища поклали початок біогеохімічному методу пошуку корисних копалин і геохімічній екології. В.Л. Вернадським було чітко сформульовано декілька узагальнень стосовно ролі організмів у хімічних процесах Землі, що сприяло виділенню новому науковому напряму , що лежить на стику біології, геології, хімії й біогеохімії.



Володимир Іванович Вернадський (1963–1945) – українській і радянський учений-природознавець, мислитель і громадський діяч. Академик Імператорської Санкт-Петербургської академії наук (1912). Один із фундаторів Української академії наук. Творець наукових шкіл і науки біогеохімії. Засновник вітчизняної школи геохіміків, основоположник вчення про біосферу та ноосферу.

В.І Вернадський

Організми у процесі біологічного круговороту здатні накопичувати певні хімічні елементи. Серед рослин, як і серед тварин, є види, які акумулюють калій, кальцій, магній, літій, бор, залізо, алюміній, кремній і т.д. Живі організми можуть концентрувати окремі елементи та їх сполуки у великих кількостях. Наприклад, відомо, що в бурих водоростях концентрація йоду в 1000 раз вища, ніж в оточуючому водному середовищі. Рослини, акумулюючи ті чи інші елементи, вказують на певні геохімічні умови місць зростання. Вони можуть бути корисні під час пошуків нових родовищ корисних копалин й оцінці забруднення природного середовища людиною. В останньому випадку вони слугують своєрідними індикаторами, що дозволяють визначити наявність в оточуючому середовищі шкідливих речовин, які не реєструються прямими вимірюваннями через занадто малу кількість.

Рослинні індикатори, які використовуються при пошуку корисних копалин можна розділити на флористичні, фізіологічні, морфологічні та фітоценотичні.

Рослини-індикатори корисних копалин. Флористичні індикаційні ознаки

Флористичні індикаційні ознаки засновані на приуроченні ряду характерних видів і різновидів до певних гірських порід (табл. 20).

Розрізняють універсальні, або постійні, та локальні рослини-індикатори. ***Постійними, або універсальними індикаторами*** родовищ корисних копалин слугують види, які приурочені виключно до порід і ґрунтів з певною геохімічною мінералізацією і не зустрічаються в інших умовах.

Таблиця 20. ***Рослини-індикатори корисних копалин***

Індикатор	Рослина	Елемент
Локальний	Солянка натронна (*Salsola nitraria)*	B
Локальний	Кермек напівкущовий (*Limonium suffruticosum)*	B
Локальний	Астрагали трагакантові *Astragalus microcephalus, A.aureus, A.strictifolius*	B
Універсал.	Зозулині черевички (*Cypripedium calceolus*)	Ca
Універсал.	Порізник гірський (*Libanotis montana)*	Ca
Універсал.	Степова айстра (*Aster amellus*)	Ca
Універсал.	Папороть пеллея (*Pellaea* calomelanos)	Ca
Локальний	Стеллера карликова (*Stellera chamaejasme*)	Be
Універсал.	Солонець трав'янистий (*Salicornia herbacea*)	Na, Cl
Локальний	Одинарник європейський (*Trientalis europaea*)	Sn
Локальний	Клузія рожева (*Clusia rosea)*	Fe
Локальний	Бурачок Бертолоні і муровий (*Alyssum bertoloni, A.murale)*	Ni
Універсал.	Лещиця Патрена (*Gipsophila patrinii)*	Cu
Локальний	Ельшольція (*Elsholzia haichowensis)*	Cu
Локальний	Мох (*Merceya latifolia)*	Cu
Локальний	Смілки (*Silene otites, S.vulgaris)*	Cu
Локальний	Мінуарція весняна (*Minuartia verna)*	Cu
Локальний	Армерія Галлера (*Armeria halleri)*	Cu
Локальний	Каліфорнійський мак ((*Eschscholzia californica*	Cu
Локальний	Цианотис металічний (*Cyanotis metallorum)*	Cu
Універсал.	Віскарія альпійська (*Viscaria alpina)*	Cu

Продовження таблиці 20

Локальний	Рута садова (*Ruta graveolens0*	Zn
Універсал.	Фіалка галмейна (*Viola calaminaria)*	Zn
Універсал.	Талабан галмейний (*Thlaspi calaminaria*)	Zn
Локальний	Бурачок двонасінний (*Alyssum biovulatum)*	Co,Cu-Ni
Універсал.	Кроталярія кобалтіка (*Crotalaria cobalticola)*	Co
Універсал.	Силена кобальтикола (*Silene cobalticola)*	Co
Універсал.	Костянець муровий (*Asplenium ruta-muraria)*	Mg
Локальний	Костянець клинолистий *(Asplenium cuneifolium*)	Mg
Універсал.	Злинка альпійська *(Erigeron alpines)*	Se
Універсал.	Астрагал (*Astragalus thompsona, A. pattersoni)*	Se, U
Універсал.	Астрагал (*Astragalus bisulcatus)*	Se, U, V
Локальний	Астрагал волохатоцвітий (*Astragalus desianthus)*	Mo, Cu
Локальний	Алсина сетацеа (*Alsina setacea)*	Hg
Локальний	Эріантус (*Erianthus ravennae)*	Pb
Локальний	Аморфа кущова (*Amorpha fruticosa*)	Pb
Локальний	Злинка овальнолиста (*Erigeron ovalifoliati)*	Ag
Локальний	Жимолость оманлива (*Lonicera confusa)*	Ag, Au
Локальний	Хвощ польовий (*Equisetum arvense)*	Au

Постійні індикатори характеризуються специфічною витривалістю, а іноді і вимогливістю до певного геохімічного збагачення, що не властиве іншим видам (Виноградов, 1964, Артамонов, 1989).

Постійним індикатором виходу *крейди і вапняків, доломіту, гіпсу* та ін. гірських порід, до складу яких входить *кальцій*, є зозулині черевички (*Cypripediym calceolus*), порізник гірський (*Libanotis montana*), різні види сонцецвітів (*Helianthemum*), степова айстра (*Aster amellus*) і ін. (рис. 37).

Зозулині черевички

Порізник гірський

Сонцецвіт крейдолюбний

Степова айстра

Рис. 37. Індикатори порід, до складу яких входить кальцій

Реседа жовта

Волошка Маршалла

Чебрець вапняковий

Рис. 38. Рослини-індикатори крейдової рослинності

Крейдова рослинність – кермек крейдовий (*Limonium calcareus*), волошка Маршалла (*Centaurea marcshalliana*, резеда жовта (*Reseda lutea*), чебрець вапняковий (*Thymus calcareus*) (рис. 38). Вірними індикаторами порід, які перспективні на наявність *бору,* є рослинні угруповання з трагакантовими астрагалами (*Astragalus microcephalus, A. aureus, A. strictifolius*) (рис. 39), зі зменшенням кількості бору в навколишньому їх зовнішньому середовищі скорочується і чисельність видів індикаторів.

Астрагал мікроцефаллюс – індикатор бору

Кротолярія кобальтика – індикатор кобальту

Рис. 39. Рослини індикатори бору і кобальту

На початку 60-х років було виявлено, що бурачок двонасінний є індикатором *кобальтових руд.* В області Шаба в Заїрі зустрічається інший кобольтофіл – кротолярія (*Crotolaria cobaltica*) (рис. 39).

Костянець помісний (*Asplenium adulterrinum*) приурочений до магнезіальних силікатів і серпентів. Його велика чисельність вказує на наявність у ґрунті *магнію.*

У родині гвоздикових багато рослин індикаторів *міді.* Типовими вважаються лещиця Патрена (*Gipsophila patrinii*), види смілки (*Silene otites* та *S. vulgaris var. Humilis*), алсіна весняна (*Alsina verna*), мінуарція весняна (*Minuartia verna*), смілка альпійська (*Viskaria alpina)* (рис. 40)**.** Індикаторами підвищеного збагачення ґрунтів *цинком* слугують види галмейної флори – галмейна фіалка (*Viola calaminaria*), талабан галмейний (*Thlaspi calaminaria*), рута розлога (*Ruta graviolus)* (рис. 41) Індикатором на *залізо* є клюзія (*Clusia rosea*); на *нікель* – бурачок муровий (*Alissum murale*) (рис. 42).

Лещиця Патрена

Смілка звичайна

Алсіна весняна

Ельшольція війчаста

Рис. 40. Рослини індикатори міді

Фіалка галмейна

Талабан галмейний

Рута розлога

Рис. 41. Рослини індикатори цинку

Бурачок муровий – індикатор нікелю

Клузія рожева – індикатор заліза

Рис.42. Рослини індикатори нікелю і заліза

Локальні, або змінні індикатори корисних копалин використовуються частіше. Це широко розповсюджені види, які в умовах того чи іншого району в силу конкурентних, екологічних або історичних співвідношень виявилися приуроченим до певних гірських порід. Вони не пов'язані безпосередньо із збагаченням ґрунтів тим чи іншим елементом, а приурочені до порід, які в даному районі виявляються рудоносними.

Так, седмичник європейський (*Trientalis europaea*) широко поширений в хвойних лісах Європи, але в Богемії приурочений до порід, що містять *олово.* У штаті Монтана поклади *срібної* руди були відкриті за поширенням злинки овальнолистої, хоча в інших районах вона зустрічається на пісковиках, що не містять срібло.

Біогеохімічні індикаторні ознаки. Наступною категорією ознак, що використовуються як індикатори геологічних порід – біогеохімічні, які проявляються в зміні концентрації тих чи інших хімічних елементів в рослинах залежно від їх вмісту в ґрунтах і в породах.

Виділяються селективні і групові, або приурочені. Селективні концентратори в найрізноманітніших умовах зростання містять завжди підвищену кількість певного хімічного елемента (Li, Al, Se, Mn і ін.). Селективні концентратори пов'язані з локальним збагаченням активними металами, належать до групи універсальних індикаторів, так як у своєму поширенні вони обмежені ґрунтами збагаченими елементами. Наприклад, (*Thlaspi calaminare*) ярутка галмейна, в золі якої виявлено понад 13 % цинку, бурячок (*Alyssum bertholonii*) містить до 10 % NiO.

Інші селективні концентратори з виборчим поглинанням хімічних елементів, що знаходяться повсюдно в підвищеній концентрації, не мають індикаційного значення. Береза повисла (*Betula pengula*) містить у золі значну кількість Fe, Mn, хоча вона не обмежена ґрунтами з підвищеною концентрацією цих елементів. Не мають індикаційного значення також концентратори розсіяних елементів, такі як дуб і кукурудза, що концентрують у своєму листі рідкісні метали – золото і срібло.

Значно більший біогеохімічний інтерес представляють групові концентратори. Ці рослини в умовах незбагаченого фону характерезуються кларковим вмістом хімічних елементів, а в межах полів з високим вмістом тих чи інших хімічних елементів різко підвищують їх концентрацію.

У даний час найбільший інтерес являють пошуки за біогеохімічним ознаками наступних, головним чином рудних елементів: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Mg тощо (Виноградов, 1964).

Чому геологи іноді воліють орієнтуватися на рослини, а не на ґрунт? Справа в тому, що в деяких випадках підвищення концентрації елемента, що шукають, спостерігається не у верхніх шарах субстрату, а кількома метрами глибше. Коренева система рослин дозволяє їм поглинати і накопичувати в тканинах цей елемент.

Геологів цікавить не тільки хімічний склад живих рослин, а й відпади опалого листя, гілок, кори. Сосна може виявитися корисною в пошуку *берилієвих руд*. В її корі концентрація берилію перевищує в 300 разів місцеві фонові показники цього елемента. Середній вміст цього елементу в біомасі становить 3×10^{-5} %. Найбільш багаті ним листя і насіння берези і модрини.

Чітких і контрастних аномалій бору в ґрунтах не виявлено, тому цікавим є його вміст у рослинах. Рослини накопичують бору в 20–30 разів більше, ніж у ґрунті. Бор міститься у всіх органах, проте найбільш високі його концентрації виявлені в листі і квітках. Необхідно мати на увазі, що вміст бору в тканинах рослин залежить від глибини проникнення в субстрат кореневої системи. Чим глибше коріння вростає в субстрат, тим більше цього елемента накопичують рослини. Так, наприклад, поверхнева коренева система солянки ерікоідної забезпечує накопичення всього 0,042 % оксиду бору, тоді як коренева система полину запашного, що досягає глибини 2–3 м – 0,129 %. В астрагалі золотистому, коренева система якого дорівнює 3–5 м, накопичується 0,386 % оксиду бору.

Альтернатера сидяча накопичує у своїх тканинах ванадій. Підвищена концентрація його спостерігається в золі рослин, що мешкають на родовищах ванадієвих руд. Він концентрується головним чином у коренях.

Багато *свинцю* накопичує таволга звіробоєлиста, вишня тянь-шанська, жимолость монетолиста і т.д. (Артамонов, 1989).

Фізіологічні індикатори. Дикорosла флора більш стійка до змін геохімічного середовища, ніж культурні рослини. Вони відносно швидко адаптуються, і тому серед них частіше утворюються і нові форми, і ендемічні види. Нові форми є добрими індикаторами на різні хімічні елементи. Так, стійке почервоніння стебла й черешка рослини вказує на підвищені концентрації в ґрунті марганцю.

Порушення складу пігментів листя і особливо квіток, плодів і інших органів рослин слугує еколого-фізіологічною ознакою зміни концентрації хімічних елементів у ґрунті і в породі.

Найбільш часто при надлишку того чи іншого елемента виникає явище хлорозу – втрата зеленого забарвлення, що супроводжується пожовтінням, а іноді навіть і побілінням листя. Пожовтіння може бути суцільним або мозаїчним. В основі його лежить більш інтенсивне руйнування хлорофілу, викликане активацією ферментативних систем деградації зеленого пігменту, вивільнення хлорофілу зі зв'язаного стану. Разом з тим у ряді випадків пожовтіння викликається гальмуванням синтезу хлорофілу. Надлишкове накопичення в листках хімічних елементів впливає не тільки на вміст хлорофілу, а й жовтих пігментів – каротиноїдів.

Відбувається зміна забарвлення наземних органів рослин – блакитний, синюватий або інший неприродний колір листя; гілки, особливо верхні стають чорнуватими; стовбури розщепленими, а деревина стовбурів і гілок чорнувата або строката. Актинофілюм у ґрунті багатому на сірку розпускає не рожеві, а білі квітки, а листки набувають жовтуватий відтінок.

До виникнення на листках білих плям веде надлишок у ґрунті алюмінію. Хлороз листя може розвиватися, внаслідок великої кількості в ґрунті міді.

У деяких випадках листки набувають не жовте, а інше забарвлення. Так, наприклад, почорніння хвої сосни в ряді випадків може вказувати на підвищений вміст у ґрунтах і підстилаючих породах платини. У смілки, що поглинула багато свинцю, листки і стебла стають темно-червоними. У забарвленні квіток деяких видів під впливом йоду починають переважати темно-червоні тони. У разі збільшення в ґрунті марганцю квітки ряду рослин набувають невластиву їм в звичайних умовах рожево-червону гаму, а у

гвоздики і айстри ніжно-пурпурну. Присутність у ґрунті високих доз нікелю призводить до того, що у сон-трави, зростаючої на Уралі, оцвітина замість фіолетової стає білою. Пелюстки троянд під дією міді із рожевих перетворюються на голубі або навіть червоні.

В ореолі розсіювання уранових руд пелюстки зніту вузьколистого, або іван-чаю, замість рожевих, стають білими або яскраво пурпурними. Неприродно зелений колір деревини беріз і осик вказує на присутність тут барію і стронцію (Артамонов, 1989).

Почервоніння і пожовтіння листків і стебел, як правило, викликано надлишком Mo, Zn, Fe. Хлороз і знебарвлення відбувається під впливом збагачення ґрунтів Ni, Cu. Під впливом Mg, Fe, Zn у рослин може відбуватися зміна забарвлення віночків. У Центральній Якутії вільшнякові угруповання з *Duschekia fruticola* з густим трав'яним покривом, що приурочені до виходів кімберлітових порід, слугують непрямим індикатором родовищ алмазів.

За надлишку хрому з'являються форми, у яких листки жовті зі зеленими прожилками; кобальт викликає плямистість листків тощо.

Морфологічні індикаторні ознаки, або тератологічні зміни рослин. До них відносяться всякого роду зміни зовнішнього вигляду рослин, які пов'язані зі зростанням на ґрунтах, що містять багато солей або інших речовин, що доступні для мінерального живлення рослин.

1. Збільшення (гігантизм) або зменшення (карликовість) розмірів наземних органів рослин. Це явище спостерігається досить часто при зростанні рослин на ґрунтах, що містять невеликий надлишок яких-небудь солей або проявляється в результаті більш значного вмісту в ґрунті будь-яких солей або інших речовин. Відбувається воно в результаті гальмування або стимулювання нормального росту;

2. Виникнення деформацій органів рослин: стебел, листків, коренів, плодів, квіток і суцвіть;

3. Виникнення новоутворень, які не властиві рослинам у нормальних умовах існування (тобто в умовах, що виключають можливість інфікування або інвазування рослин, дії підвищених доз радіації і т. д.). До цієї групи аномалій росту відносяться автономні і неавтономні новоутворення (пухлини), які відрізняються поведінкою в живильному середовищі. Тканини автономних пухлин успішно ростуть на штучному живильному середовищі без додавання фітогормонів, а тканини неавтономних пухлин на такому середовищі не ростуть (Артамонов, 1989).

У ряді випадків корисні копалини удається виявити завдяки прискореному росту рослин і за їх гігантськими формами. Гігантизм у рослин відзначається при деякому надлишку в середовищі бору. У 2–3 рази вище норми бувають рослини полину.

Кобальт, що входить до складу вітаміну B_{12} і сприяє нітрифікації стимулює ріст рослин. Так,у кизильника (*Cotoneaster*) розмір листкових пластинок в 2–4 рази перевищує нормальний, а розмір і висота стовбурців в 3–5 разів більше звичайних. На підвищений вміст цинку в ґрунті вказує фіалка триколірна. На таких ґрунтах в неї найкрупніші квітки.

Гігантизм виникає у деяких рослин при наявності в середовищі торію. На ґрунтах, що містять підвищену кількість цього елемента, у осики (*Populus tremula*) листки досягають 30 см у діаметрі, а діаметр стовбура – 70 см. Є повідомлення про гігантизм вільхи та берези, які ростуть в районі уранторієвого родовища. Інтенсивність темпів росту рослин спостерігається на нафтогазоносних родовищах, де рослини засвоюють деякі специфічні фізіологічно активні речовини, що стимулюють ріст і призводять до гігантизму.

Інтенсивний ріст рослин дозволяє виявити і кімберлітові трубки, що приховують алмази. У модрин на кімберлітових трубках діаметр стовбура дорівнює 0,3 м, у їхній відсутності – 0,15 м. Найбільш активно розвивається на кімберлітових трубках підріст вільхи.

В умовах підвищеної бутімінозності відмічено гігантизм у видів роду *Suaeda, Salsola orientalis*, *Anabasis aphylla,*

Досить часто під впливом тих чи інших хімічних елементів у рослин спостерігається гальмування росту. При невеликому надлишку в середовищі бору починається прискорений ріст рослин (полин, терескен, кермеки, солянки), але якщо речовини дуже багато, то починається пригнічення рослин – спостерігаються хирляві низькорослі форми.

При надлишку бору солонець набуває низькорослу подушкоподібну форму. Також карликовими стають рослини полину, кермеки, солянка натронна.

Карликовість викликає надлишок радіоактивних елементів, цинку, міді, свинцю, наприклад у каліфорнійського маку, смілки.

Спостерігаються випадки зникнення окремих наземних органів рослин. Наприклад, часткове або повне зникнення оцвітини у анемони, що зростає поблизу родовищ нікелю. Квітки мальви блідої з ненормально розсіченими вузькими пелюстками вказують на родовища міді і молібдену.

Встановлені також індикатори визначення родовищ газу й нафти. На поклади цих корисних копалин вказують: гігантизм у рослин *Suaeda, Salsola, Anabasis,* вторинна вегетація – у *Agropyron fragile*; вторинне цвітіння у *Pyrethrum*, поява викривлень, наростів – у видів родини *Chenopodiaceae*; кулеподібних форм – у *Salicornia europaea*, видів роду *Petrosimonia,* витягнутих (свічкоподібних) форм – у *Atriplex cany*, *Nanophyton erinaceim*; карликовість, пригнічення росту – у *Halocnemum strobilaceum, Anabasis brachiata*. Виявлена спряженість з нафтовими покладами у кам'янистих степах з асоціацією *Stipa lessingiana*.

Контольні запитання

1. На які групи поділяють рослини за відношенням до механічного складу ґрунтів і материнських порід ?
2. Розкажіть про універсальні рослини-індикатори корисних копалин.
3. Назвіть універсальні індикатори виходу крейди і вапняків, доломіту, гіпсу та інших гірських порід, до складу яких входить кальцій.
4. Угруповання яких рослин є вірними індикаторами порід, які перспективні на наявність бору?
5. Які рослини є індикаторами кобальтових руд?
6. Назвіть рослини-індикатори міді
7. Які рослини слугують індикаторами збагачення ґрунтів цинком?
8. Розкажіть про локальні, або змінні індикатори покладів корисних копалин.
9. Чому геологи іноді воліють орієнтуватися на рослини, а не на ґрунт у пошуках корисних копалин?
10. Охарактеризуйте біогеохімічні індикаторні ознаки у пошуках рудних покладів.
11. Розкажіть про фізіологічні індикатори корисних копалин, зміни кольору листків у разі присутності у ґрунті тих чи інших елементів.
12. Охарактеризуйте морфологічні індикаторні ознаки, тератологічні зміни рослин.
13. Як змінюється колір органів рослин на рудних покладах?
14. Тератологічні зміни яких рослин є індикаторами нафти? Які це тератологічні зміни?

4.3. Фітоіндикація забруднення ґрунтів

Під забрудненням ґрунтів розуміють накопичення в них токсичних речовин, що негативно впливають на екосистеми, включаючи соціальні. Найчастіше ґрунти забруднюються інгредієнтами промислових викидів, у тому числі важкими металами, нафтопродуктами, неорганічними відходами, пестицидами, добривами, засобами захисту рослин, рідкими стоками, відходами тваринництва тощо. Проблема забруднення ґрунтів надзвичайно важлива, оскільки ґрунт є непоновлюваним ресурсом. Забруднення ґрунтів небезпечне для нашого здоров'я, негативно впливає на продовольчу безпеку. Органічні забруднювачі ґрунту розкладаються за дії фізико-хімічних чинників, а в найбільшій мірі внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів. Інколи навіть спостерігається рівновага між надходженням токсикантів у ґрунт (пестициди, бенз(а)пірен й інші речовини) та розкладанням у ньому.

Ґрунти класифікують за ступенем забруднення, спираючись на гранично допустимі концентрації (ГДК) хімічних речовин у них і їх фоновий вміст (табл. 5). В залежності від рівня їх забруднення виділяють три групи: 1) сильно забруднені; 2) середньо забруднені; 3) слабо забруднені. Ґрунти, в яких кількість забруднювачів у декілька разів більша за ГДК, вважаються сильно забрудненими. Вони відрізняються значними змінами хімічних, фізичних і біологічних показників, характеризуються низькою біологічною продуктивністю. До середньо забруднених відносять ґрунти, в яких не виявляються видимі зміни в їх складі на фоні перевищення ГДК. У слабо забруднених ґрунтах кількість забруднюючих речовин не більша за ГДК, але перевищує показники природного фону.

Ступінь стійкості ґрунту до забруднюючих речовин встановлюють за відношенням до певного інгредієнту забруднення або комплексу речовин, якими забруднений даний ґрунт. За ступенем стійкості до хімічних забруднюючих речовин і за характером реакцій ґрунти поділяють на: 1) дуже стійкі; 2) середньо стійкі; 3) малостійкі. Рівень стійкості ґрунту до хімічних забруднюючих речовин визначається такими основними характеристиками: 1) кислотноосновними властивостями; 2) катіонно-обмінними властивостями; 3) окисно-відновними властивостями; 4) часткою речовин у ґрунті, що знаходяться в розчинній формі; 5) гумусним станом; 6) біологічною активністю; 7) рівнем ґрунтових вод.

Інколи оцінювання здійснюють за рівнем забруднення певними конкретними забруднюючими речовинами (нафта і нафтопродукти, важкі метали, бенз(а)пірен тощо).

Фітомоніторинг забруднення ґрунту нафтою і нафтопродуктами

Забрудненими нафтопродуками (НП) вважаються ґрунти, якщо кількість цих забруднювачів в них викликає початкові прояви негативних екологічних змін: порушується екологічна рівновага в ґрунті, структура, хімічний склад, морфологія і водно-фізичні властивості, знижується їх родючість, змінюється мікробоценоз, зникають ґрунтові тварини, гальмується ріст і розвиток рослин, падає їх продуктивність, можлива загибель, виникає небезпека забруднення підземних і поверхневих вод. Перевищення межі *потенціалу самоочищення* ґрунту є небезпечним рівнем їх забруднення. У ряді країн за верхній безпечний рівень нафтопродуктів у ґрунті приймають 1–3 г/кг; а прояв початкових ознак суттєвої екологічної шкоди – при вмісті 20 г/кг і вище (Лисиця, 2018).

Приймаючі до уваги фізико-географічні умови України й особливості землекористування, які впливають на процеси самоочищення ґрунтів, що забруднені нафтопродуктами, для проведення практичних робіт з їх детоксикації рекомендується (з урахуванням кларку) додержуватися таких градацій забруднення ґрунтів:

– *незабруднені ґрунти* – до 1,5 г/кг;
– *слабке* забруднення – від 1,5 до 5 г/кг;
– *середнє* забруднення – від 5 до 13 г/кг;
– *сильне* забруднення – від 13 до 25 г/кг;
– *дуже сильне* забруднення – більше 25 г/кг.

Таблиця 21. ***Шкала рівнів екотоксичності ґрунтів***

Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект)	**Рівень токсичності**
0–20,0	Відсутність або слабкий рівень
20,1–40,0	Середній рівень
40,1–60,0	Вище середнього рівня
60,1–80,0	Високий рівень
80,1–100,0	Максимальний рівень

Для порівняння токсичності з використанням ростового тесту

фітоіндикатора запропонована шкала рівнів екотоксичності ґрунтів (табл. 21).

Слабке забруднення ґрунту може бути усунене в процесі його самоочищення протягом 2–3 років, середнє – через 4–5 років. Вважається, що початком суттєвої екологічної шкоди є забруднення ґрунту нафтопродуктами у концентраціях, що перевищують 13 г/кг, при таких концентраціях вже спостерігається міграція цих забруднювачів у підґрунтові води, і в ґрунтовому біоценозі суттєво порушується екологічна рівновага. Прийнято, що вміст менший за 5 г/кг, відповідає зоні е*кологічної норми* (*Н*), 5–13 г/кг – *ризику* (*Р*), 13–15 г/кг – *кризи* (*К*) і більш 25 г/кг – зоні *лиха* (*Л*).

Необхідно вказати, що рівень забруднення ґрунту нафтопродуктами не завжди впливає на їх переміщення, а отже і на ріст, розвиток, продуктивність сільськогосподарських рослин. Це, очевидно, пояснюється гідрофобністю більшості вуглеводневих і невуглеводневих фракцій.

Рослинні тест-системи (Н.Р. Джура, 2011) є досить зручними та надійними у виявленні рівня токсичності певних забруднювачів. Вони дають можливість визначити загальний ефект дії різноманітних забруднювачів, у тому числі для встановлення ступеня порушення екосистем ґрунту, на які впливають різнорідні антропогенні чинники. Найінформативнішими показниками стосовно екологічної небезпеки нафтопродуктів для екосистеми ґрунту є встановлення *фітотоксичності* – здатності ґрунту здійснювати гальмування росту рослинних організмів (рис. 43). При цьому пригнічуються фізіологічні процеси, знижується продуктивність і якість врожаю.

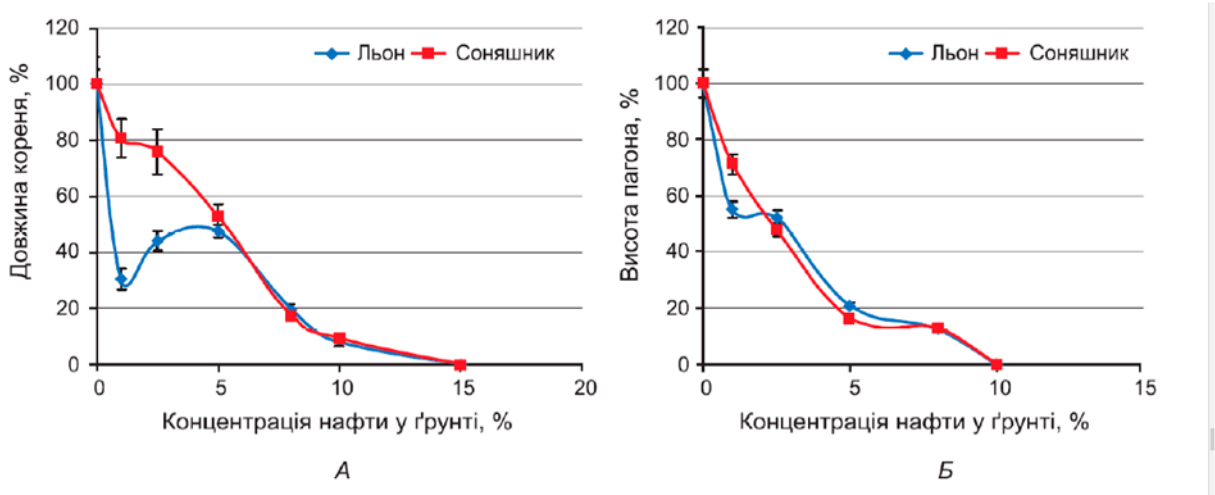


Рис. 43. Залежність довжини коренів (А) і висоти пагонів (Б) *Linum usitatissium* та *Helianthus annuus* від концентрації нафти у ґрунті (Лисиця, 2018)

Дія забруднення ґрунту нафтою та нафтопродуктами на рослини здійснюється двома шляхами: 1) безпосередньо – у результаті надходження складових нафти через корені або продихові щілини листків і включення їх у обмін речовин; 2) опосередковано – внаслідок зміни фізико-хімічного складу ґрунту та його біотичних властивостей. Безпосередня дія нафти та НП на рослинний покрив проявляється в тому, що пригнічується ріст рослин, спостерігається негативний вплив на важливіші енергетичні процеси фотосинтез і дихання, виявляються різноманітні морфологічні аномалії, значно пошкоджуються корені, надземні вегетативні та репродуктивні органи.

Діагностику й оцінювання токсичності ґрунтів, які забруднені нафтою, зазвичай здійснюють визначенням наступних параметрів: висота рослин, ширина і довжина листків, їх кількість, рясність цвітіння, довжина черешків, число пагонів і їх довжина, розміри квіток і плодів, кількість плодів і насінин в них, маса частин рослини і сумарна їх маса тощо. Для кількісної оцінки впливу чинників в умовах техногенного забруднення часто застосовують цитогенетичні та фізіолого-біохімічні показники рослин-індикаторів. Біоіндикацію нафтозабруднених ґрунтів у агроекосистемах проводять на основі реакцій сільськогосподарських рослин із різною чутливістю до даного фактора.

Встановлено, що толерантними до забруднення ґрунту нафтою є біб кінський, або біб звичайний (*Faba bona, або Vicia faba* L.*)* й осока шорстковолосиста (*Carex hirta* L.). У дослідах визначено, що нафта впливає на характер опушення верхньої поверхні листків *C. hirta*. Так, на ділянках, що забруднені нафтою, зростали форми рослин з неопушеними, гладенькими листками, які мали блискучу поверхню, а на контрольних площах поверхня листків була матовою з опушенням. У рослин *C. hirta* дослідних варіантів відбувалися порушення у формуванні продихів – злиття двох-трьох продихів. Нафтове забруднення ґрунту (50 г/кг) викликало збільшення числа продихів на одиницю поверхні епідерми листків дослідних рослин, зокрема у *V. faba* майже на 43 %, у *C. hirta* – на 13 % відносно контролю. Однак за дії високого рівня нафтового забруднення (100 г/кг ґрунту) відбувається навпаки зниження чисельності продихів на одиницю площі листка: у *C. hirta* – на 15 %, у *V. faba* на 18% порівняно з контролем.

Морфологічні та біометричні показники рослин-фіторемедіантів проявляють високу чутливість до впливу нафти (табл. 22), тому їх рекомендують застосовувати як тест-об’єкти для фітоіндикації нафтозабруднених територій, а рослини *C. hirta* і *V. faba* – для відновлення таких ґрунтів.

Таблиця 22. ***Рослинні тест-системи Carex hirta L. та Faba bona Medic. (Vicia faba L.) в умовах забруднення ґрунту нафтою***

Тест-системи	**Морфологічні та біометричні параметри**
Насіння *V. faba*	Схожість насіння за дії різних концентрацій нафти і нафтопродуктів
Цілісна рослина *C. hirta* і *V. faba*	Біомаса рослин; виживаність рослин у польових та лабораторних умовах
Вегетативні органи рослин	Довжина кореневищ *C. hirta;* висота пагонів рослин *C. hirta* і *V. faba*
Листки рослин *C. hirta* і *V. faba*	Довжина і ширина листкової пластинки, їх площа. Кількість продихів на одиницю поверхні епідерми листка. Вміст фотосинтетичних пігментів; наявність хлорозів, некрозів тощо. Характер опушення листкової пластинки *C. hirta*

Для отримання оперативної інформації стосовно фітотоксичності забрудненого нафтою ґрунту застосовують такі тест-об’єкти як насіння та проростки рослин. Показники, які при цьому аналізують, достатньо різноманітні: схожість насіння, динаміка його проростання, довжина головного і бічних коренів, їх кількість, висота пагона тощо. На основі отриманих даних визначають *фітотоксичну дію* ґрунту.

Фітомоніторинг забруднення ґрунту важкими металами

Необхідність моніторингу токсичності важких металів

Питома вага важких металів серед забруднювачів оточуючого середовища безперервно зростає. Ці полютанти потрапляють у довкілля двома шляхами – природним і техногенним. До найвагоміших природних джерел відносять ерозію, виверження вулканів, вивітрювання гірських порід. Техногенні джерела: спалювання палива, робота промислових підприємств, особливо

металургійних та металообробних, теплові електростанції, автомобільний транспорт, видобуток корисних копалин, побутові відходи, внесення в ґрунт добрив та інших хімікатів. Важкі метали надходять у ґрунт у формі численних хімічних сполук, негативно впливаючи на хімізм водних розчинів, кислотність і засоленість, змінюють колообіг і баланс речовин.

Поблизу промислових підприємств і автошляхів у ґрунті накопичується велика кількість цих забруднювачів, що призводить до локального забруднення територій цими полютантами. При цьому вони переважно концентруються у верхньому гумусовому горизонті, зв'язуючися з гумусовими речовинами. Слід вказати на біологічні шляхи перенесення металів. Із нижніх шарів ґрунту важкі метали переносять мікроорганізми. Значна роль у цьому процесі належить і кореневими системами рослин, а також режимам випаровування.

Зростання вмісту іонів металів у природному середовищі часто залежить від закислення ґрунтів. Кислотні опади підвищують мобільність таких елементів як Hg, Cd, Pb, Ni, Co, Zn, Cu, проте зменшують рухомість Cr, Mo, As. Потрапляючи у рідку фазу ґрунту, метали абсорбуються на колоїдах ґрунтового поглинального комплексу.

Біологічна активність іонів металів залежить у значній мірі від їхнього стану, так як їх токсичність визначається не лише концентрацією, а й хімічною формою, у якій полютант потрапив до організму. Найнебезпечними є органічні й леткі сполуки Hg, Te, Pb, Se, Cd, As, Pd. Вони надходять у довкілля з найдрібнішим техногенним пилом, а також з викидами автомобільного транспорту. Іони важких металів, що не зв'язані у комплекси, виявляють найбільшу токсичними. Це було встановлено при вивченні їх дії на різні групи організмів у польових і лабораторних дослідженнях. Іони важких металів порушують у рослин функціональну активність, обмін речовин. Проте виникають адаптивні реакції, що спрямовані на запобігання або ліквідацію несприятливих змін на різних рівнях: молекулярному, субклітинному, клітинному, організмовому та популяційному. Встановлено, що важкі метали можуть пригнічувати обмін речовин клітин кількома шляхами. Зв'язуючись зі SH-групами, вони викликають конформації білків і блокують активні сайти ферментів. Деякі метали (Hg, Cu, Cd та ін.) гальмують лужну фосфатазу, каталазу, рибонуклеазу. Ряд металів (Cd, Cu, Au, Fe), взаємодіючи з клітинними мембранами, змінюють їх проникність. Багато металів конкурує з необхідними рослині елементами, при цьому порушуються фізіологічні функції. Токсичність металів може бути наслідком заміщення необхідних кофакторів і спричинення дефіциту макроелементів.

Метали зі змінною валентністю (Ni, Cu, Cr тощо) ініціюють у клітині вільнорадикальні процеси, виникає оксидативний стрес внаслідок утворення реактивних форм кисню. Це спричиняє ушкодження основних біополімерів (перекисне окиснення ліпідів, білків і нуклеїнових кислот). За дії металів зі сталою валентністю спостерігається опосередковане утворення вільних радикалів внаслідок гальмування активності антиоксидантних ферментів, таких як супероксиддисмутаза, каталаза, аскорбатпероксидаза, глютатіонредуктаза, дегідроаскорбатредуктаза.

За ступенем токсичності важкі метали, зазвичай, розташовуються таким чином: Cu>Ni>Cd>Zn>Pb>Hg>Fe>Mo>Mn. Однак їх послідовність у ряду може дещо змінюватися внаслідок різного осадження металів ґрунтом, переходу у стан, який недоступний для рослин, неоднакових умов культивування та фізіолого-генетичних особливостей рослин. На послідовність важких металів у ряду шкідливості може впливати вид рослини та особливості експерименту, проте вона вельми добре співвідноситься із стійкістю хелатів, добутком розчинності сульфідів, електронегативністю іонів та біологічною доступністю.

Надлишок важких металів у живих організмах, викликає тератогенну (Pb, As, Co, Ni), канцерогенну (As, Zn, Cr, Pb, Co, Hg) та мутагенну (Cr) дію.

Забруднення ґрунтів важкими металами викликає занепокоєння не тільки тому, що воно може помітно знизити продуктивність рослин (в першу чергу сільськогосподарських, необхідних для живлення людини і годівлі сільськогосподарських тварин), але й тому, що може порушити природні фітоценози, викликати при певних умовах загрозу серйозної деструкції асиміляційного потенціала фітомаси, призвести до порушення нормальних процесів органогенеза – до появи специфічних тератологічних змін, що виникають у рослин різних систематичних груп. Актуальними є дослідження взаємодії важких металів із живою клітиною, вивчення їхнього мутагенного потенціалу та механізмів цитотоксичності.

ГДК хімічних речовин для ґрунтів встановлюється не тільки за загальносанітарним показником, як це прийнято для інших природних середовищ, а ще й за трьома іншими показниками: транслокаційному, міграційному водному і міграційному повітряному (Мотузова, 2007). Транслокаційний показник визначають за здатністю ґрунтів забезпечувати вміст хімічних речовин на допустимому рівні в рослинах (як тест-культури використовують *редис, салат, горох, квасолю, капусту* та ін.). Відповідно міграційний водний і міграційний повітряний визначають за здатністю ґрунтів забезпечувати вміст цих речовин у воді і повітрі не вищий за ГДК.

Таблиця23. ***Показники ступеня забруднення ґрунтів важкими металами (за Мотузовою, Безугловою, 2007)***

Елемент	Вміст (мг/кг), що відповідає рівню забруднення				
	1-й рівень, допустимий	2-й рівень, низький	3-й рівень, середній	4-й рівень, високий	5-й рівень, дуже високий
Cd	< ГДК	від 1 до 3 ГДК	від 3 до 5	від 5 до 20	> 20
Pb	< ГДК	від ГДК до 125	від 125 до 250	від 250 до 600	> 600
Hg	< ГДК	від ГДК до 3	від 3 до 5	від 5 до 10	> 10
As	< ГДК	від ГДК до 20	від 20 до 30	від 30 до 50	> 50
Zn	< ГДК	від ГДК до 500	від 500 до 1500	від 1500 до 3000	>3000
Cu	< ГДК	від ГДК до 200	від 200 до 300	від 300 до 500	> 500
Co	< ГДК	від ГДК до 50	від 50 до 150	від 150 до 300	> 300
Ni	< ГДК	від ГДК до 150	від 150 до 300	від 300 до 500	> 500
Mo	< ГДК	від ГДК до 40	від 40 до 100	від 100 до 200	> 200
Sn	< ГДК	від ГДК до 20	від 20 до 50	від 50 до 300	> 300
Ba	< ГДК	від ГДК до 200	від 200 до 400	від 400 до 2000	> 2000
Cr	< ГДК	від ГДК до 250	від 250 до 500	від 500 до 800	> 800
V	< ГДК	від ГДК до 225	від 225 до 300	від 300 до 350	> 350

Класифікацію ґрунтів за ступенем забруднення проводять за гранично допустимими концентраціями (ГДК) хімічних речовин у ґрунтах і їх фоновому вмісту (табл. 23).

Фітомоніторинг важких металів

Враховуючи, що популяційно-генетичні наслідки мутагенної дії виникають при суттєво менших концентраціях забруднюючих речовин, ніж токсичність, і вони значно важливіші, необхідно виконувати моніторинг генотоксичності цих полютантів, у зонах забруднення ними довкілля. Для цього здійснюється пошук видів рослин, які характеризуються високою чутливістю до токсичних і мутагенних речовин.

Індикаторами металопресингу у антропогенно трансформованому середовищі можуть бути види рослин, які *акумулюють* у тканинах більше важких металів порівняно з іншими видами, на територіях, які тестують. Пасивний акумулятивний моніторинг – це порівняльні дослідження рослин в екологічно різних місцях зростання. Для цього цілком прийнятні асиміляційні органи вищих рослин. Важкі метали можна визначити в тканинах рослин різними методами, в тому числі атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

У цьому напрямку виконана значна кількість робіт. Дослідження проводилися як з деревними, так і трав'янистими рослинами.

Так, було визначено вміст важких металів у листках 24 видів деревних рослин в умовах забруднення ними атмосферного повітря і ґрунту. За величиною коефіцієнту відносного накопичення цих полютантів у листках встановлено, що найбільш інформативними видами забруднення довкілля залізом є клен несправжньоплатановий, робінія звичайна, абрикос звичайний, горобина звичайна; марганцю – абрикос звичайний, клен-явір, робінія звичайна, верба біла; цинку – горіх грецький, бузина чорна, ясен звичайний; міді – абрикос звичайний, бузина чорна, яблуня домашня, горіх грецький; свинцю – в'яз дрібнолистий, абрикос звичайний, бузина чорна, тополя канадська, бузок звичайний. Листки берези повислої активно накопичують мідь і цинк.

Серед дикорослих трав'янистих рослин найбільше заліза в листках акумулює *Melilotus albus, Taraxacum officinale, Lactuca serriola, Artemisia vulgaris*; марганцю – *Taraxacum officinale, Melilotus albus, Artemisia vulgaris, Poligonum aviculare*; міді – *Poligonum aviculare, Lactuca serriola, Plantago media, Taraxacum officinale,* свинцю – *Poligonum aviculare, Taraxacum officinale, Chenopodium album.* Дані види рослин рекомендується використовувати для

пасивного моніторингу забруднення довкілля цими важкими металами (Бессонова, 1991).

Співставлення накопичення важких металів у листках декоративних квіткових рослин на забруднених ділянках з фоновим рівнем показало, що більш значними коефіцієнтами відносного накопичення заліза, цинка і хрому характеризуються *Begonia semperflorens, Antirrhinum majus;* міді – *Lathyrus odoratus, Antirrhinum majs;* марганцю – *Begonia semperflorens, Lathyrus odoratus;* свинцю – *Begonia semperflorens, Salvia splendens.*

Як біоіндикатор забрудненя зовнішнього середовища важкими металам С.М. Сердюк (2001) пропонує дворічну хвою ялини звичайної (*Picea abies* L.).

Виявлені чутливі тест-об'єкти забруднення ґрунту важкими металами: Cu – *Tripleurospermum inodorum,* Zn – *Tragopogon major,* Pb – *Plantago major* й *Reseda lutea,* Cd – *Cicorium intubus,* Ni – *Reseda lutea*. За транслокаційними коефіцієнтами важких металів у рослинах встановлено можливість проведення моніторингових досліджень та визначення рівнів забруднення техногенного середовища (Глухов та ін., 2006).

Для використання листків деревних рослин найбільш зручний час для відбору проб – серпень – вересень, коли ще не розвинулися активні процеси старіння і зв'язаний з цим відток елементів в інші органи. Цей період найбільш об'єктивно відображує результуючий ефект накопичення важких металів у листі рослин.

І.І Коршиковим зі спів. (1995) на підставі даних стосовно акумуляції мінеральних елементів, у тому числі важких металів, у листі тополі Болле в 47 точках спостережень проведена умовна оцінка якості середовища у промисловому місті. Для кожної точки визначали бал забруднення середовища як за окремими класами, так і за сукупністю всіх чотирьох класів шкідливості інгредієнтів забруднення для здоров'я людини. Запропонована така формула:

$$C_{бал} = \frac{А - Б}{N} : 10,$$

де А – сумарний вміст елементів одного класу шкідливості в листках контрольних рослин, %; N – число елементів; В – сумарний вміст елементів одного класу шкідливості в листках дослідних рослин, %.

Отримані результати були нанесені на карту міста, яка була передана управлінню охорони природного оточуючого середовища для практичного використання.

Таким чином, за накопиченням важких металів в листках рослин достатньо об'єктивно можна провести біоіндікацію якості середовища.

Звичайно, акумулятивна біоіндикація не може бути методом оперативного контролю якості довкілля, вона відображує взаємодію організма зі забрудненим середовищем у тривалому часовому інтервалі. Але отримані результати необхідні для кадастрової оцінки екологічного стану територій. Практичним підсумком фітомоніторингу є більш точна оцінка просторово-часового розподілу важких металів, що важливо знати при проектуванні нових житлових районів міст.

Індикацію забруднення ґрунту важкими металами здійснюють за змінами фізіологічних і морфологічних показників рослин. Внаслідок впливу на рослини цих забруднювачів довкілля змінюється швидкість росту і репродуктивний цикл, порушується цвітіння, формування пилку, розвиток і достигання плодів й насіння тощо. Кожен з цих параметрів або усі разом можна використовувати для фітоіндикації забруднення цими полютантами. Застосовують також оцінку стану пилку рослин і ряд цитогенетичних критеріїв.

Система фітоіндикації забруднення ґрунтів важкими металами з використанням *показників мінливості рослин-індикаторів* розроблена О.З. Глуховим зі спів. (2006). Статистично доведено, що при збільшенні рівня забруднення важкими металами вірогідно зростає ступінь структурного поліморфізму тест-об’єктів. Такі дискретні ознаки будови *Cicorium intubus* як ступінь дефектності пилкових зерен, варіабельність поверхні плодів, особливості анатомічної їх будови та сім’янок є інформативно-індикаторними. Прояв індикаторного поліморфізму є видоспецефічним, що встановлено за будовою листкових пластинок *Cicorium intubus* та *Plantago major*, ступенем дефектності пилку *Cicorium intubus, Tanacetum vulgare, Tripleurospermum inodorum, Berteroa incana* та *Echium vulgare,* індексами структурної пластичності плодів *Cicorium intubus, Tripleurospermum inodorum, Tanacetum vulgare* (Глухов та ін., 2006).

Встановлені чіткі залежні від дози ознаки трансформації морфологічної будови листків рослин за надлишку Cu^{2+} і Zn^{2+}у ґрунті, що дозволило пропонувати в якості багаторічного фітоіндикатора посіви *Trifolium pratens* L. для моніторингу забруднення довкілля цими важкими металами (Денчиля-Сакаль, 2020).

Для виявлення забруднення ґрунту важкими металами можна рекомендувати такі індикаційні показники як патологічні зміни квіток і суцвіть квіткових декоративних рослин. Це такі патології: проліфікації (проростання квіток і суцвіть), махровість (тичинки перетворюються на пелюстки), фітоподії тичинок (їх перетворення на плоскі листоподібні утворення), редукція будь-

яких частин квіток. Такі порушення розвитку спостерігали на ділянках металургійного підприємства за надлишку у ґрунті сполук заліза, марганцю, хрому, цинку (Бессонова, Фендюр, 2004)

Як вже вказано в підрозділі 4.2, найчастіше збільшення в ґрунті того чи іншого елементу вище фізіологічних концентрацій викликає хлороз – зникнення зеленого кольору, при цьому листки жовтіють, а часом навіть біліють. Надлишок рухомого цирконію проявляється у відмиранні тканин листка, проте між відмерлими зонами часто залишаються зелені ділянки. Перенасичення ґрунту цинком викликає розповсюдження хлорозу від верхівки листка до основи. Симптомами надлишку цинку, кадмію і міді є міжжилковий хлороз, потім відбувається почервоніння й пожовтіння листків дерев поблизу джерела забруднення в середині літа. Внаслідок акумуляції того чи іншого хімічного елементом також змінюється забарвлення квіток.

У закритій теплиці токсичні випаровування від барвників, що містять ртуть, можуть негативно впливати на багато рослин, особливо троянди. На їх листках з'являються бурі плями, листки жовтіють, а потім опадають. Пелюстки в'януть і буріють, тичинки при цьому можуть загинути.

Біотестування ґрунту на забруднення важкими металами рекомендують здійснювати методом проростків. Як тест-рослини використовують пшеницю, ячмінь, овес, проростки деревних порід, наприклад тополі чорної. Проте насіння останньої швидко втрачає схожість (Fedorova, Nikolskaya, 2001).

Для біомоніторингу важких металів використовують мохи і лишайники. Відомо, що поглинання металів лишайниками – це пасивний процес дифузії, за рахунок якого різні види лишайників вибірково абсорбують метали. Лишайник *Lecanora conizaeoides* добре накопичує ці забруднювачі. Поглинання мохами важких металів із розчинів являє собою процес іонного обміну, який протікає як в живих, так і мертвих тканинах. У системі біомоніторинга важких металів найбільш найчастіше застосовують широко розповсюджений вид моху *Hypnum cupressiforme.*

Контрольні запитання

1. Які існують шляхи забруднення ґрунтів?
2. За якими критеріями можна проводити загальне оцінювання ступеня забруднення ґрунтового покриву?
3. Коли ґрунти вважаються забрудненими нафтопродуктами? Який рівень забруднення ґрунту нафтопродуктами вважається небезпечним?

4. Назвіть градації забруднення ґрунтів нафтопродуктами (з урахуванням кларку).
5. Які дані є найбільш інформативними щодо екологічної небезпеки нафтопродуктів для ґрунтової екосистеми?
6. В чому виявляється безпосередній вплив нафти на рослинний покрив?
7. Які показники зазвичай враховуються для діагностування й оцінки токсичності нафтозабруднених ґрунтів?
8. Які тест-об’єкти використовують, щоб отримати оперативну інформацію щодо фітотоксичності забрудненого нафтопродуктами ґрунту?
9. Чому необхідно здійснювати моніторинг токсичності важких металів в оточуючому середовищі?
10. Леткі й органічні сполуки яких металів є найбільш небезпечними?
11. Напишіть послідовність розташування важких металів за ступенем токсичності.
12. Розкажіть про акумулятивну фітоіндикацію важких металів у ґрунті.
13. Які тест-рослини використовують для біотестування ґрунту на забруднення важкими металами?
14. Мінливість яких показників рослин свідчить про забруднення ґрунтів важкими металами ?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

Бельгард О.Л. Степове лісознавство. Дніпропетровськ : Лісова промисловість. 1971. 336 с.

Бессонова В.П. Індикація забруднення оточуючого середовища важкими металами за їх накопиченням в рослинах. *Питання біоіндикації та екології*. 1999. Вип. 4. С. 11–21

Бессонова В.П. Методи фітоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля. Навч.пос. Ч. 1. Запоріжжя: ЗДУ. 2001. 196 с.

Бессонова В.П. Пасивний моніторинг забруднення середовища важкими металами з використанням трав'яних рослин. *Укр. бот. журн*. 1991. Т.48. № 2. С. 77–80.

Бессонова В.П. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами. *Экология*. 1992. № 4. С .45–50.

Бессонова В.П., Іванченко О.Є. Шкала стійкості декоративних деревних рослин до інгредієнтів викидів підприємств чорної металургії. Рослини і урбанізація. Дніпропетровськ: ДДАЕУ. 2013. С. 84–87.

Бессонова В.П., Лиженко І.І. Козюкіна Ж.Т. Використання пилку в регіональному моніторингу мутагенності довкілля. Дніпропетровськ. 1993. Деп. в УкрНИИНТИ 23.03.9, 3625-Ук 93. 15 с.

Бессонова В.П., Фендюр Л.М. Аномалії розвитку квіток і суцвіть декоративних квіткових рослин в умовах забруднення оточуючого середовища важкими металами. *Питання біоіндикації та екології*. 2004. Вип. 9. № 2. С. 74–96.

Глухов О.З., Сафонов А.У., Хижняк Н.А. Фітоіндикація металопресенгу в антропогенно трансформованому середовище. Донецьк: Норд-Прес. 2006. 360 с.

Горова А.І. Методологічні аспекти оцінки генетичних наслідків техногенезу *Екологія і природокористування*. Зб. наук. праць Вип. 3, Дніпропетровськ. 2001. С. 143–152.

Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ: Наукова думка. 1991. 280 с.

Ількун Г.М. Забруднювачі атмосфери і рослини. Київ: Наукова думка, 1978. 246 с.

Коршиков І.І., Котов В.С., Михеенко І.П. та ін. Взаємодія рослин з техногенно забрудненим середовищем. Стійкість. Фітоіндикація. Оптимізація. Київ: Наукова думка. 1995. 191 с.

Кубланов С.Х., Шпаківський Р.В. Моніторинг довкілля: Навч.-метод. посібник. К. 1998. 92 с.

Левон Ф.М. Зелені насадження в антропогенно трансформованому середовищі. Київ: ННЦІАЕ. 2008. 364 с.

Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій. Методичні рекомендації. Рівне: Дока-центр. 2018. 94 с.

Мовчан Я.І., Канєвський В.О., Семичаєвський В.Д. Фітоіндикація в дистанційних дослідженнях. Київ: Наукова думка. 1993. 309 с.

Моніторинг стану лісів у Європі. Женева : ООН. 2002. 16 с.

Моніторинг довкілля: підручник / [Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. та ін.] ; під ред. В. М. Боголюбова. 2-е вид., перероб. і доп. Вінниця : ВНТУ. 2010. 232 с

Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологічний моніторинг ґрунтів. Академичний Проект. Вид. Поліграфічний центр ВДУ: Гаудеаму. 2007. 237 с.

Мусієнко М.М. Екологія рослин: Фітоіндикація та фітомоніторинг. Підручник. Київ. 2006. С. 344–404.

Ничик О.В. Моніторинг довкілля: Курс лекцій для студ. напряму 6.040106 " Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване ПриродокористуванняДля ден. та заоч. форм навч.: НУХТ. 2011. 67 с.

Ольхович О.П., Мусієнко М.М. Фітоіндикація та фітомоніторинг. Київ: Фітосоціоцентр. 2005. 64 с.

Раменський Л.Г. Проблеми і методи вивчення рослинного покриву. Вибрані роботи. Л.: Наука.1971. 334 с.

Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування: навч. посіб. для студ. вищ.навч. заклад. Львів: Новий Світ-2000. 2003. 248 с.

Фітотоксичність органичних и неорганичних забруднювачів. В.П.Тарабрин, Е. М. Кондратюк, В.Г. Башкатов, А.А. Игнатенко, І.І. Коршиков та ін. Київ: Наукова думка. 1986. 216 с.

Alekseev A.S. Monitoring of forest ecosystems: Textbook: St. Peters.: SPbGLTA. 2003. 116 p.

Alekseev A.S. Radial growth of trees and stands under atmospheric pollution. Forestry, № 4. 1993. P. 66–69.

Artamonov V.I. Plants and purity of the natural environment. M: Sciens. 1986. 172 c.

Biological control of the environment: bioindication and biotesting: Textbook for universities / Edited by O.P. Melikhov, E.I. Egorova. M: Academy. 2007. 288 p.

Bulokhov A.D. Ecological assessment of the environment by methods of phytoindication. Bryansk: BTU. 1996. 104 p.

Fedorova A.I., Nikolskaya A. N. Practicum on ecology and environmental protection. M.: Vlados. 2001. 288 p.

Getko N.V. Plants in an anthropogenic environment. Structure and function of assimilation apparatus. Mn.: Science and Technology. 1989. 208 p.

Guderian R. Air Pollution. Berlin–Heidelberg. Springer-Verlag. 1979. 200 p.

Kavelenova L.M. Problems of organizing a system for monitoring the urban environment in the forest-steppe. Samara: Samara University. 2003. 124 p.

Kulagin Y.Z. Woody plants and industrial environment. M.: Sciens. 1974.124 p.

Manning W.D., Feder W.A. Biomonitoring air pollution with plants. Applied Science Publishers LTD. London. 1988. 240 p.

Nikolaevsky V.S. Biological bases of gas resistance of plants. Novosibirsk : Sciens. 1979. 280 p.

Opekunova M.G. Bioindication of pollution. Publishing house of St. Peters. University. 2004. 266 p.

Sergeichik S.A. Plants and ecology. Mn.: Crop. 1997. 224 p.

Skupchenko V.B., Sokolova L.O. Bioindication of the environment. Textbook. Edited by V.A. Soloviev. St. Petersburg. 2008. 92 p.

Trass H. H. Lichen field tolerance classes and ecological monitoring. Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems. L. Gidrometeorological. 1985. T.7. P. 122–137.

Turovtsev V.D., Krasnov V.S. Bioindication. Textbook. Tver: Tver State University. 2004. 260 p.

Vaganov E.A., Terskov I.A. Analysis of tree growth by the structure of annual rings. Nov.: Sciens. 1977. 92 p.

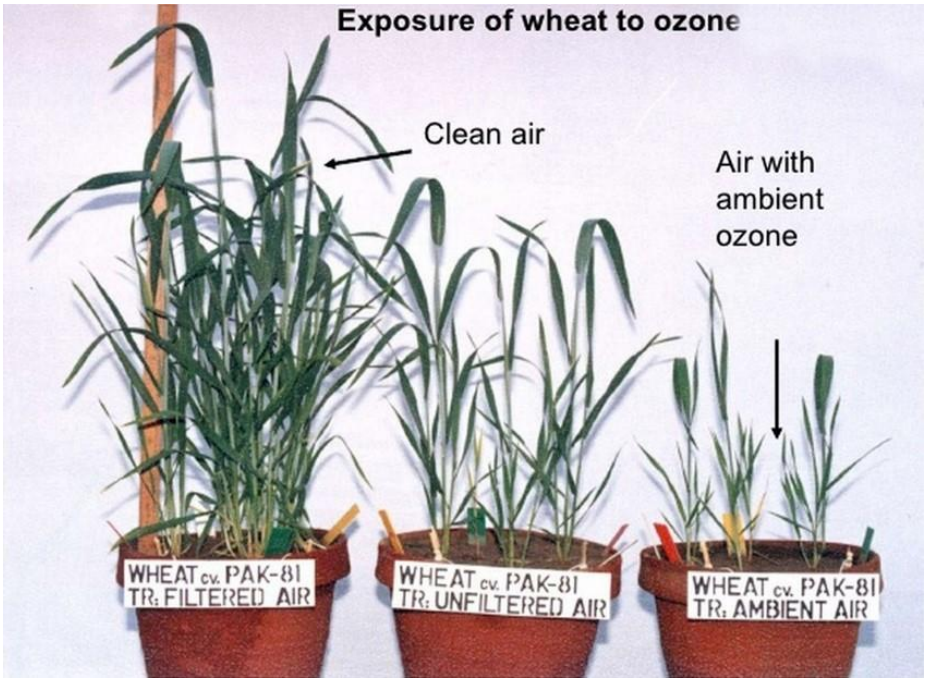
Viktorov S.V., Remezova G.L. Indicative geobotany. M.: MSU. 1988. 168 p.

Vinogradov B.V. Plant indicators and their use in the study of natural resources. M.: Higher School. 1964. 328 p.

Weinert E. Walter R. Wetzel Th. Bioindikation in terrestrischen Okosystemen. Herausgegeben von Rudolf Schubert. Veb Gustav Fischer Verlag Jena. 1988. 339 s.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1



Вплив забруднення повітря озоном на ріст рослин пшениці

ДОДАТОК 2

Базові шкали оцінки екологічних факторів

Нижче наведені шкали, за якими Я.П. Дідухом і П.Г. Плюта (1994) створювалася база даних екологічних амплітуд флори України, і які викладені в монографії цих авторів. Це – довідкові матеріали до таблиць Д.М. Циганова, Г. Елленберга, Е. Ландольта, Е. Ландольта – Т. Зажицького

Шкали вологості ґрунту

Шкала вологості (Hd) Д.М. Циганова (1983)

1. Пустельний – дуже слабке нерегулярне промочування ґрунту атмосферними опадами (на рік до 100 мм), дефіцит запасів вологи – різкий.

2. Напівпустельний – спостерігається постійний дефіцит запасів вологи, атмосферні опади (до 300 мм на рік) дуже незначно нерегулярно промочують

3. Сухостеповий – незначне нерегулярне весняне промочування атмосферними опадами, кількість яких досягає 400 мм на рік.

4. Степовий – весняне промочування ґрунту нерегулярне незначне, кількість атмосферних опадів досягає 450–500 мм на рік.

5. Лучностеповий – помірне промочування грунту навесні атмосферними опадами, дефіцит вологи спостерігається в другій половині літа. Ґрунтові води знаходяться на глибині біля 10 м.

6. Сухолісолучний – повне промочування ґрунту навесні атмосферними опадами з доповненням транзитним стоком на схилах. Дефіцит вологи спостерігається в другій половині літа, ґрунтові води на глибині 5–7 м.

7. Вологолісолучний – зволоженість капілярно-підперто-підвішеною вологою, ґрунтові води на глибині 1–2 м.

8. Сиролісолучний – максимальне капілярне зволоження. Ґрунтові води на глибині менше 1 м.

9. Мокроболотнолісолучний – обводнення відбувається внаслідок того, що ґрунтові води застійного та проточного характеру виходять до поверхні, капілярна кайма досягає поверхні, інтенсивні процеси оглеєння та торфоутворення.

10. Болотний – з режимом затоплення, формування мочажин, на поверхню виходить капілярна кайма, що сприяє інтенсивному торфонакопиченню.

11. Прибережноводний – зі застійним або постійним проточним водним режимом.

12. Водний – з водною товщею понад 1 м.

Шкала змінності зволоження (fH) Д.М. Циганова

1. Постійне зволоження.
2. Відносно постійне зволоження.
3. Слабко змінне зволоження.
4. Помірно змінне зволоження.
5. Досить змінне зволоження.
6. Різко змінне зволоження.

Вологість ґрунтів (F-Zahl) за Г. Елленбергом

Шкала вологості ґрунтів (Die Feuchtezahl) заснована на розповсюдженні видів від сухих скель до боліт і водойм (за Г. Елленбергом).

1 – сильно сухі місця існування (рослини на сухих ґрунтах, місця існування, що часто висихають);

2 – від сильно сухих до сухих (між 1 і 3 ступенями);

3 – сухі місця існування (рослини, що зустрічаються на сухих ґрунтах частіше, ніж на свіжих ґрунтах);

4 – від сухих до свіжих місць існування (між 3 і 5 ступенями);

5 – свіжі місця існування (середньо-вологі);

6 – від свіжих до вологих місць існування (між 5 і 7 ступенями);

7 – вологі місця існування (добре просочені вологою, але не сирі);

8 – від вологих до сирих місць існування (між 7 і 9 ступенями);

9 – сирі місця існування (переважно бідні киснем ґрунту);

10 – тимчасово затоплювані місцеперебування (рослини пересихаючих водойм);

11 – мілководне середовище (надводні рослини);

12 – глибоководне середовище (підводні рослини).

Шкали сольового режиму, кислотності ґрунтів, вмісту гумусу та азоту

Шкала кислотності ґрунтів (Rc) Д.М. Циганова

1. Дуже кислі ґрунти (pH = 3,5)
2. Досить кислі ґрунти (pH = 3,5–4,5)
3. Кислі ґрунти (pH = 4,5 – 5,5)
4. Слабокислі ґрунти (pH = 5,5–6,5)
5. Нейтральні ґрунти (pH = 6,5–7,2)
6. Слабо лужні ґрунти (pH = 7,2–8,0)
7. Лужні ґрунти (pH = 8,0–10,0)

Кислотність ґрунтів (R-Zahl) за Г. Елленбергом

Шкала кислотності ґрунтів (Reaktionszahl R) оцінює залежність видів від кислотно-лужних умов ґрунтів, заснована на розповсюдженні видів рослин від

ґрунтах); вкрай кислих до лужних (багатих карбонатами або кальцієм) місць існування. При цьому, значення шкали не відповідають значеннями pH ґрунтів.

1 – сильнокислі ґрунти (рослини, які ростуть тільки на кислих, але ніколи на слабкокислих і лужних

2 – від сильнокислих до кислих (між 1 і 3 ступенями);

3 – кислі ґрунти (рослини, які ростуть на кислих ґрунтах і тільки як виняток на нейтральних);

4 – від кислих до помірно кислих ґрунтів (між 3 і 5 ступенями);

5 – помірно кислі ґрунти (рослини, які ростуть як на сильно кислих, так нейтральних ґрунтах);

6 – від помірно кислих до слабо кислих ґрунтів (нейтральних) (між 5 і 7 ступенями);

7 – від слабо кислих до слабо лужних ґрунтів (рослини, ніколи не зростають на сильно кислих ґрунтах);

8 – слабко лужні ґрунти (між 7 і 9 ступенями; рослини, що вказують на наявність вапна в ґрунтах);

9 – лужні і карбонатні ґрунти (рослини, завжди ростуть на ґрунтах багатих вапном).

За відношенням до кислотності ґрунтів рослини поділяють на дві групи:

1. *Ацидофіли* – рослини кислих ґрунтів (верес, білоус, щавель та ін.).

2**.** *Базифіли*, або *ацидофоби* – рослини лужних ґрунтів (бузина, крушина, бересклет та ін.)

Шкала загального сольового режиму ґрунтів (Tr) Д.М. Циганова

1. Особливо бідні солями сильновилуговані мінеральні підзолисті ґрунти: 35–75 мг/л; жорсткість води боліт 0,6–1,4; HCO_3' SO_4'' Cl' – відсутні.

2. Бідні сильно вилуговані ґрунти: 80–90 мг/л; жорсткість 2,0–4,5; HCO_3' SO_4'' Cl' – відсутні.

3. Небагаті солями підзолисті ґрунти: 95–150 мг/л; жорсткість 4,5–6,5; HCO_3' SO_4'' Cl' – відсутні.

4. Досить багаті солями вилуговані чорноземи: 160 – 200 мг/л; жорсткість 7,0 – 10,0; HCO_3' – 4–16 мг/100 г ґрунту, SO_4'' Cl' – сліди.

5. Багаті солями чорноземні та каштанові ґрунти: 200 мг/л при відсутності ознак засолення; HCO_3' – 30–50 мг/100 г ґрунту, SO_4'' Cl' – сліди.

6. Слабко засолені солончакуваті чорноземні ґрунти: SO_4'' – 0,01–0,05 %, Cl' – 0,01–0,03 %.

7. Середньо засолені ґрунти: SO_4'' – 0,1–0,3%, Cl' – 0,05–0,1 %.

8. Сильно засолені ґрунти: SO_4'' – 0,5%, Cl' – 0,3 %.

9. Різко засолені ґрунти: SO_4'' Cl' – до 2 %.

10. Злісні солончаки, покриті солями.

Сольове багатство, засоленість ґрунтів (S-Zahl) за Г. Елленбергом

Шкала сольового багатство або засоленості ґрунтів (Die Salzzahl) показує концентрацію солей (особливо, вміст іона хлору) в області розповсюдження коріння: від 0 (рослини, що не виносять засолення) до 9 (рослини, що виносять крайнє засолення).

0 – не виносять засолення (рослини, які ростуть тільки на ґрунтах без розчинних солей);

1 – від незасолених до бідних солями ґрунтів (вміст іона хлору 0–0,1 %);

2 – оліготрофні, бідні солями ґрунти (вміст іона хлору 0,05–0,3 %);

3 – мезотрофні, бідні солями ґрунти (вміст іона хлору 0,3–0,5 %);

4 – мезотрофні ґрунти (вміст іона хлору 0,5–0,7 %);

5 – помірно засолені ґрунти (вміст іона хлору 0,7–0,9 %);

6 – від помірно до засолених (вміст іона хлору 0,9–1,2 %);

7 – засолені ґрунти (вміст іона хлору 1,2–1,6 %);

8 – сильно засолені ґрунти (вміст іона-хлору 1,6–2,3 %);

9 – дуже сильно засолені ґрунти, солончаки (вміст іона хлору понад 2,3 %).

Шкала забезпечення ґрунтів азотом (Tr) Д.М. Циганова

1. Безазотні ґрунти.
2. Дуже бідні на мінеральний азот ґрунти (0,05–0,2 %).
3. Бідні мінеральним азотом ґрунти (0,2–0,3 %).
4. Досить забезпечені азотом ґрунти (0,3–0,4 %).
5. Багаті азотом ґрунти (0,4–0,5 %).
6. Надлишково багаті азотом ґрунти (>0,5%)

Азотне багатство (N-Zahl) за Г. Елленбергом

Шкала азотного багатства (Die Stickstoffzahl) згідно з новими даними є скоріше шкалою поживних речовин, оскільки показує загальний запас поживних речовин в ґрунті – азоту, калію, фосфору, магнію. Початкове число N інтерпретувалося як міра постачання рослини мінеральним азотом (NH_4^+ і NO_3^-). В органогенних ґрунтах відповідно багатих гумусом (наприклад, торф'яно-болотні), число N не характеризує наявність там азоту, оскільки той перебуває в недоступному стані.

1 – вкрай бідні азотом місця існування;

2 – від вкрай бідних до бідних (між 1 і 3 ступенями);

3 – бідні азотом місця існування (рослини, що зустрічаються на багатих азотом ґрунтах тільки як виняток);

4 – від бідних до помірно забезпечених азотом (між 3 і 5 ступенями);

5 – помірно забезпечені (помірно багаті) азотом місцеперебування;

6 – від помірно забезпечених до багатих азотом (між 5 і 7 ступенями);

7 – багаті азотом місця існування (рослини, що зустрічаються на бідних азотом ґрунтах тільки як виняток);

8 – від багатих до дуже багатих азотом (між 7 і 9 ступенями);

9 – дуже багаті (надмірно багаті) азотом місцеперебування (забруднені азотом).

Шкала вмісту гумусу в ґрунтах (Gm) Е. Ландольта

1. Нерозвинені ґрунти, на яких гумусовий шар відсутній.

2. Мінеральні ґрунти з малим вмістом гумусу (до 150 т/га валового запасу в метровому шарі).

3. Ґрунти з середнім вмістом гумусу (150–400 т/га валового запасу в метровому шарі).

4. Багаті гумусом (муль, модер) ґрунти (500–600 т/га при наявності частини кореневої системи в мінеральних шарах).

5. Дуже багаті гумусом чорноземи, торф’янисті ґрунти (600 т/га валового запасу в метровому шарі).

Шкала дисперсії та аерації ґрунтів (Ar) Е. Ландольта – Т.Зажицького

1. Скелі та розщілини.

2. Щебенюваті, галечні та гравійовані частки розміром понад 2 мм.

3. Добре аеровані скелетні піщані ґрунти, розмір часток яких 0,05–2 мм.

4. Ґрунти поганої скелетної будови, піщаноглинистої, глинисто-піщаної (пилуватої) структури, що характеризується дисперсними частками (розміром 0,002–0,05 мм).

5. Ґрунти дуже дрібнозернисті, глинисті, мулисті або торф’янисті (дисперсні частки менше 0,02 мм).

Шкала освітленості в ценозах (Lc) Г. Елленберга

1. Рослини, що зростають у глибокому затінку, в більшості до 1 %, рідко більше 3 % відносного освітлення.

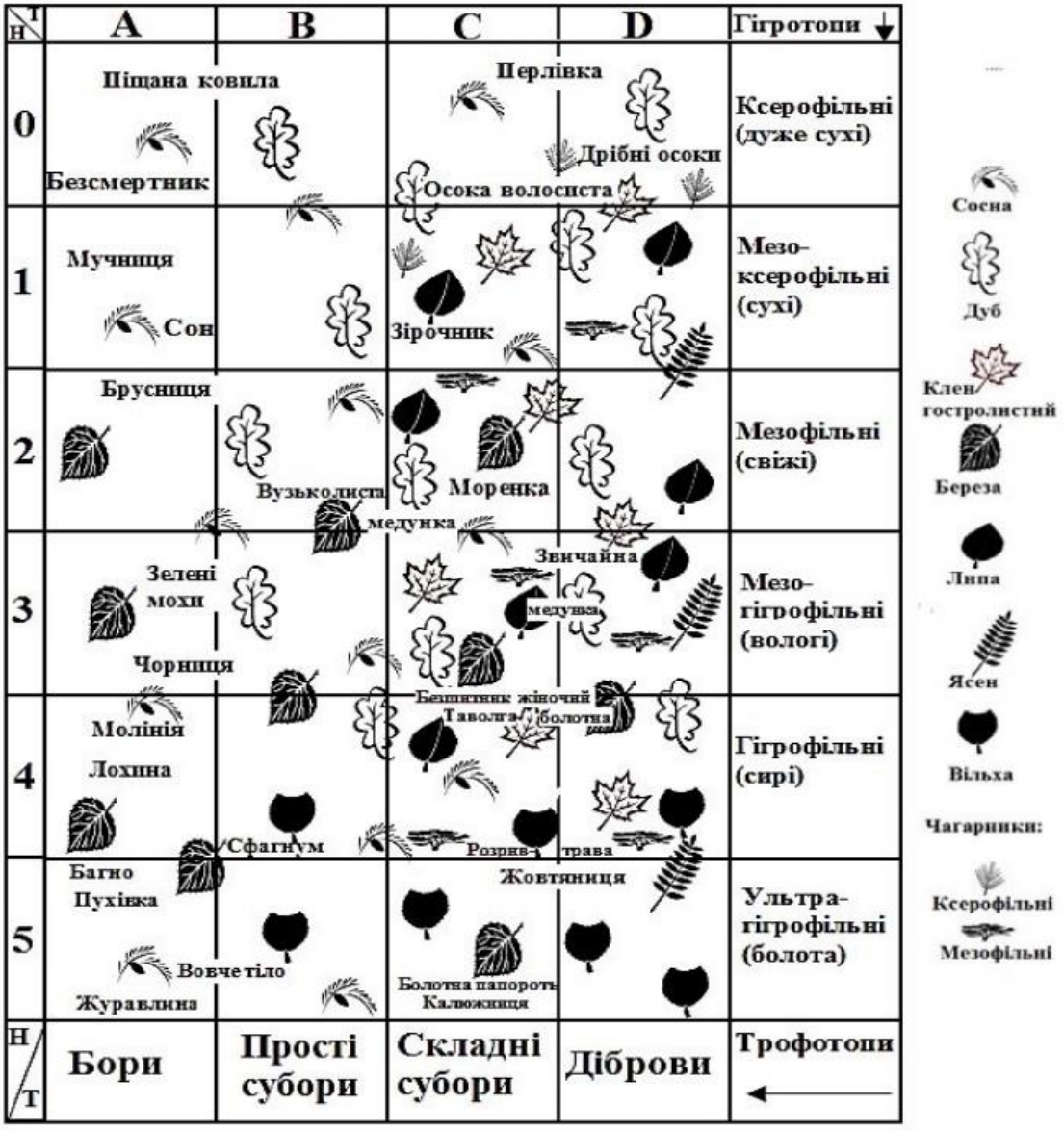
2. Тіньові рослини, що зростають при відносному освітленні до 5 %, зрідка на відкритих місцях.

3. Напівтіньові рослини, що зростають при відносному освітленні менше 10 %, зрідка при повному.

4. Напівосвітлені рослини, більшість яких росте при повному освітленні, але витримують затінення.

5. Світлолюбні рослини, що зростають тільки при повному освітленні, окремі витримують відносне освітлення до 50 %.

ДОДАТОК 3



Едафічна сітка Алексєєва- Погребняка (Ranskyi, 2014)

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА 3

3

РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ ФІТОІНДИКАЦІЇ ТА ФІТОМОНІТОРИНГУ 4

1.1. Історія розвитку фітоіндикаційних досліджень 4

1.2. Основні поняття фітоіндикації 15

1.3. Основні поняття моніторингу та фітомоніторингу 21

РОЗДІЛ 2. ФІТОІНДИКАЦІЯ ТА ФІТОМОНІТОРИНГ АНТРОПОГЕННО ПОРУШЕНИХ НАЗЕМНИХ ЕКОСИСТЕМ 28

2.1.Типи забрудненя довкілля та критерії оцінки рівня забруднення 28

2.2. Рослини як монітори й фітоіндикатори забруднення довкілля 35

2.3. Рівні фітоіндикації 42

2.4. Ліхеноіндикація 66

2.5. Дендроіндикація 80

2.6. Фітомоніторинг SO_2 і другорядних забруднюючих речовин (NH_3, B, Cl_2 та його сполуки) 95

2.7. Фітомоніторинг фотохімічних оксидантів та фторидів 106

2.8. Моніторинг антропогенного впливу на стан лісових екосистем 119

2.9. Фітоіндикація антропогенного впливу на ландшафт 128

РОЗДІЛ 3. ФІТОІНДИКАЦІЯ НЕПОРУШЕНИХ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ 141

3.1. Індикація місць існування рослинних угруповань за екологічними шкалами 141

РОЗДІЛ 4.ФІТОІНДИКАЦІЯ ҐРУНТІВ 163

4.1. Фітоіндикація ґрунтових умов 163

4.2. Фітоіндикація поверхневих покладів і корисних копалин 171

4.3. Фітоіндикація забруднення ґрунтів 184

ЛІТЕРАТУРА 197

ДОДАТКИ 200

БЕССОНОВА
Валентина Петрівна

ФІТОІНДИКАЦІЯ ТА ФІТОМОНІТОРИНГ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

За редакцією автора

Підписано до друку 07.05.2024 р. формат 60Х 90/16. Папір офсетний.
Умовних друкар., арк., 12,87.Обл.- вид., арк., 12,87. Друк ризографія.
Тираж 50 пр. Замовлення № 7

Надруковано ВТК «Друкар» Дніпровський державний
медичний університет
м. Дніпро, пл. Соборна, 4.