**Методичні рекомендації до ПР. 8.**

**Тема. Технології багаторівневої біоіндикації стагу ґрунтів та довкілля у системі фіторемедіаційних технологій.**

## Теоретичі відомості

***Ґрунт*** - це особливе органо-мінеральне природне утворення, яке виникло як внаслідок пливу живих організмів на мінеральний субстрат і розкладу мертвих організмів, так і за рахунок впливу природних вод і атмосферного повітря на поверхневі горизонти гірських порід у різних умовах клімату і рельєфу в гравітаційному полі Землі.

З іншого боку, ґрунт - це найбільш малорухоме природне середовище порівняно, наприклад, з атмосферою або поверхневими водами. Міграція забруднювальних речовин в ґрунті протікає відносно повільно. Як наслідок цього, високі рівні забруднення ґрунтів деякими речовинами локалізуються в місцях їх викиду у зовнішнє середовище. Окрім того, можлива поступова зміна хімічного складу ґрунтів, порушення єдності геохімічного середовища та живих організмів.

***За ступенем деградації ґрунти класифікують таким чином:***

0 недеградовані: продуктивність відповідає природній родючості або менша за 5 %;

1 слабодеградовані: продуктивність зменшена від 5 до 25 %;

2 середньодеградовані: продуктивність зменшена від 25 до 50 %;

3 сильнодеградовані: продуктивність зменшена від 50 до 75 %;

4 дуже сильнодеградовані: продуктивність зменшена більше ніж на 75 %.

Отже, забруднення може призвести до порушення рівноваги ґрунтових систем, загибелі живих організмів, що мешкають у них, і відповідно  до руйнування ґрунтів як найважливішого компонента біосфери та як природного ресурсу. Для збереження ґрунтів та розроблення технічних заходів щодо їх охорони необхідна інформація про токсичніть ґрунтів. Токсичність ґрунтів обумовлена небезпечністю речовин, що їх забруднюють. Під токсичністю розуміють властивість речовини у певній концентрації (дозі) викликати патологічні зміни в організмі або його загибель. Це міра несумісності речовини з життям. Токсичність речовини залежить від кількості, що надійшла до організму, і тривалості впливу на нього.

***Біотестування (БТ)***  це експериментальний метод визначення токсичних властивостей компонентів середовища, що ґрунтується на реєстрації реакцій тест- об’єктів на вплив забруднюючої речовини. БТ дозволяє визначити інтегральну оцінку шкоди, заподіяної організму забруднюючою речовиною. БТ

застосовують для токсикологічного контролю об’єктів довкілля, нормування вмісту шкідливих речовин у навколишньому середовищі та ін. Отже, БТ  це експеримент з біологічними об’єктами у суворо заданих умовах. Під тест-об’єктом розуміють будь-який біологічний об’єкт, здатний реагувати на присутність шкідливої речовини. Це можуть бути живі організми і їх групи, спільноти організмів, популяції, модельні екосистеми та інше, а також ферменти та інші біологічно активні речовини.

***Поширеним методом визначення токсичності ґрунтів є біотестування (***ДСТУ ISO 11268-1:2003, ДСТУ ISO 22030:2007, ДСТУ ISO 11269-1:2004, ДСТУ ISO 11269-2:2002, ДСТУ ISO 17126:2007, ДСТУ ISO 20963:2007 та ін.).

***Найбільш інтенсивним шляхом переносу забруднень, які потрапляють на ґрунт, може бути*** перенесення з атмосферним повітрям у випадку потрапляння забруднень з ґрунту в атмосферу через випаровування або разом з пилом. Іншим відносно швидким шляхом розповсюдження забруднювачів є змив їх стічними водами. Але далеко не всі ці механізми переносу грають суттєву роль у забрудненні ґрунтів. Під впливом фізико-хімічних факторів і, головним чином, в результаті діяльності мікроорганізмів, відбувається розкладання забруднювальних речовин органічного складу. У ряді випадків (забруднення ґрунтів бенз(а)піреном, пестицидами та іншими речовинами) можливе навіть встановлення рівноваги між надходженням на ґрунт та їх розкладанням у ґрунті.

Загальне **оцінювання ступеня забруднення** ґрунтового покриву можна проводити за критеріями, які виділяють *слабко-*, *середньо-* і *сильно* забруднені ґрунти.

У *слабкозабруднених ґрунтах* вміст забруднюючих речовин (ЗР) не перевищує ГДК або фонове значення. У *середньозабруднених* - перевищення ГДК (фону) незначне і не призводить до істотних змін властивостей ґрунтів. У *сильно забруднених* ґрунтах вміст ЗР у кілька разів перевищує ГДК (фон), що істотно позначається як на властивостях ґрунтів, так і на якості сільськогосподарської продукції.

Іноді проводять оцінювання за ступенем забруднення окремими ЗР (важкими металами, нафтою і нафтопродуктами, бенз(а)піреном тощо).

***Нафтопродукти.*** Ґрунти вважаються забрудненими, коли концентрація нафтопродуктів (НП) у них досягає такої величини, при якій починаються негативні екологічні зміни в НПС: порушується екологічна рівновага в ґрунті, гине ґрунтова біота, падає продуктивність чи настає загибель рослин, відбувається зміна морфології, водно-фізичних властивостей ґрунтів, падає їх родючість, створюється небезпека забруднення підземних і поверхневих вод.

Небезпечним рівнем забруднення ґрунту вважається рівень, що перевищує межу ***потенціалу самоочищення***.

У деяких країнах прийнято вважати верхнім безпечним рівнем (*Н*) вміст НП у ґрунті 1 - 3 г/кг; початок серйозної екологічної шкоди (*К*) - при вмісті 20 г/кг і вище.

З огляду на фізико-географічні умови України (а також характер землекористування), що впливають на процеси самоочищення при забрудненні природного середовища НП, для практики проведення робіт з детоксикації НП у ґрунті доМетано прийняти такі ***ступені градації забруднення ґрунтів НП*** (з урахуванням кларку):

- *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.

Слабке забруднення може бути ліквідоване в процесі самоочищення ґрунту в найближчі 2-3 роки, середнє - протягом 4-5 років. Початком серйозної екологічної шкоди є забруднення ґрунту НП у концентраціях, що перевищують 13 г/кг, при цих концентраціях починається міграція НП у підґрунтові води, істотно порушується екологічна рівновага в ґрунтовому біоценозі. Вважається, що концентрації, менші 5 г/кг, відповідають зоні *екологічної норми* (*Н*), 5-13 г/кг - *ризику* (*Р*), 13-15 г/кг - *кризи* (*К*) і більш 25 г/кг - зоні *лиха* (*Л*).

Слід зазначити, що ступінь забруднення ґрунтового покриву НП не завжди відбивається на їх транслокації (відповідно і на якості сільськогосподарської продукції), що, очевидно, пов'язано з гідрофобністю більшості вуглеводних і невуглеводних фракцій.

***Рослинні тест-системи*** є досить надійними та зручними у встановленні ступеня токсичності певних забруднювачів, також вони дають змогу оцінити сумарний ефект дії різних видів забруднювачів, у тому числі для оцінки ступеня деградації ґрунтових екосистем, що зазнають різнопланово антропогенного впливу. Найбільш інформативними даними щодо екологічної небезпеки **нафтопродуктів** для ґрунтової екосистеми є визначення ***фітотоксичності*** - здатності ґрунту чинити пригнічувальний вплив на рослини, що призводить до порушення фізіологічних процесів, погіршання якості рослинної продукції.

Вплив нафтового забруднення на рослинні організми відбувається двома шляхами: безпосередньо (внаслідок проникнення компонентів нафти через кореневу систему або продихи листків і включення їх у метаболізм) і опосередковано (через зміни фізико-хімічного складу ґрунту та порушення його біотичних властивостей).

Безпосередній вплив нафти на рослинний покрив виявляється в тому, що сповільнюється ріст рослин, порушуються функції фотосинтезу і дихання, відзначаються різні морфологічні порушення, сильно страждають коренева система, листки, стебла та репродуктивні органи.

Для діагностування й оцінки токсичності нафтозабруднених ґрунтів зазвичай враховуються такі показники, як висота рослин, кількість, довжина і ширина листків, довжина черешків, кількість і довжина пагонів, кількість квіток, розміри частин оцвітини, кількість плодів і насінин у плоді, загальна маса рослини і маса окремих її частин тощо. Фізіолого- біохімічні та цитогенетичні параметри рослинних тест- систем є придатними для кількісної оцінки дії факторів в умовах техногенного забруднення. Біоіндикацію нафтозабруднених ґрунтів у агроекосистемах проводять на основі реакцій сільськогосподарських рослин із різною чутливістю до даного фактора.

***Наприклад, стійкими до забруднення ґрунту нафтою є*** осока шорстковолосиста (*Carex hirta)* та біб кінський або біб звичайний (*Faba bona або Vicia faba* L.*)*. Дослідженнями виявлено вплив нафти на характер опушення верхньої частини листків *C. hirta*: на забруднених нафтою площах спостерігали форми з гладенькими неопушеними листками та блискучою поверхнею, а на контрольних ділянках - листки опушені, мали матову поверхню; у дослідних рослин *C. hirta* спостерігали аномалії при утворенні продихів (злиття двох-трьох продихів). За дії нафтового забруднення ґрунту (50 г/кг) збільшувалася кількість продихів на листковій поверхні дослідних рослин, зокрема у *V. faba* майже на 43%, у *C. hirta* - на 13% щодо контролю. Проте за дії сильного нафтового забруднення (100 г/кг ґрунту) спостерігали зменшення кількості продихів на одиницю площі листка: у *V. faba* на 18%, у *C. hirta* - на 15% щодо контролю.

Тест-реакції фіторемедіантів (табл. 2) є чутливими до дії нафти, тому їх доМетано використовувати як тест-системи при фітоіндикації нафтозабруднених територій, а рослини *C. hirta* і *V. faba* - для відновлення нафтозабруднених ґрунтів.

Оперативну інформацію про фітотоксичність забрудненого ґрунту можна отримати, використовуючи як тест-об'єкти насіння та проростки рослин. Тест-функції, що використовують у біотестуванні, досить різноманітні: динаміка проростання насіння, відсоток схожості, довжина головного і бічних коренів, довжина пагона тощо. На їх основі визначають *фітотоксичний ефект* ґрунту.

Для порівняння токсичності за ростовим тестом фітоіндикатора розроблена шкала рівнів токсичності ґрунтів (табл. 3).

Таблиця 2 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;<br>• виживаність рослин у польових та лабораторних умовах |
| Вегетативні органи рослин | • довжина кореневищ *C. hirta;*<br>• висота пагонів рослин *C. hirta* і *V. faba* |
| Листки рослин *C. hirta* і *V. faba* | • довжина і ширина листкової пластинки;<br>• кількість продихів на одиницю поверхні листка;<br>• вміст фотосинтетичних пігментів;<br>• наявність хлорозів, некрозів тощо;<br>• характер опушення листкової пластинки *C. hirta* |

Таблиця 3

Шкала рівнів токсичності ґрунтів

| Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект), % | Рівень токсичності |
|---|---|
| 0-20 | Відсутність або слабкий рівень токсичності |
| 20,1-40 | Середній рівень |
| 40,1-60 | Вище середнього рівня |
| 60,1-80 | Високий рівень |
| 80,1-100 | Максимальний рівень |

***У біотестуванні основним параметром оцінки забруднення виступає не концентрація полютанта, а реакція та відповідь живого організму***. Перевагою біотестування токсичності забрудненого середовища є врахування впливу антагоністичних і синергічних взаємодій полютантів, оцінка сумісної біологічної активності впливу фізико-хімічних факторів на біоту. Проведено цінку токсичності нафтозабруднених ґрунтів методами фітотестування. Встановлено залежність „концентрація-ефект” між пригніченням росту коренів і пагонів досліджуваних фітотестів - льону звичайного (*Linum usitatissimum* L.) і соняшника однорічного (*Helianthus annuus* L.) та ступенем нафтового

забруднення на проміжку 5-15% нафти (рис. 6). Виявлено специфічність і чутливість даних фітотестів, що вказує на можливість їх використання для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів.

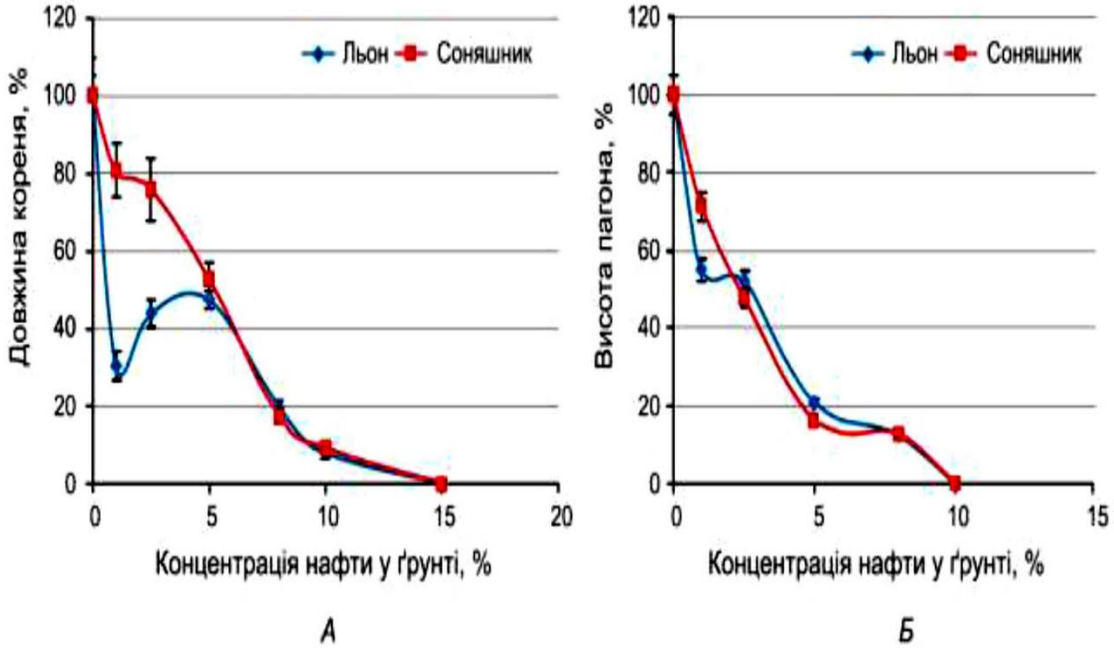


Рис. 7. Залежність довжини коренів (Д) і висоти пагонів (Б) *Linum usitatissimum* L. та *Helianthus annuus* L. від концентрації нафти у ґрунті.

***Біомоніторинг ґрунтів.*** На основі екологічної характеристики організмів, тобто їх реакцій на вплив факторів середовища, виокремлюють ***еврибіонти*** - види з широкою адаптаційною здатністю, які можуть жити при різних значеннях фактору, і ***стенобіонти*** - види з низькою адаптаційною здатністю, життєдіяльність яких обмежена вузьким діапазоном змін певного фактора. Саме стенобіонти (організми або їх угруповання), життєві функції яких тісно корелюють з певними чинниками середовища використовують для біоіндикації ґрунту.

На основі дослідження рослинного покриву можна визначити основні складові ґрунтів (рухомі сполуки основних елементів живлення рослин Ca, N, P, S, K, Mg), оскільки певні види рослин домінують у місцевостях з відповідним складом ґрунту. Наприклад, ***нітрофіти*** (азотолюби) можна вважати надійними індикаторами ґрунту, збагаченого азотом, до них відносять берест, черемху, бузину, бруслину європейську. Найбільше їх росте на землях з підвищеним вмістом нітратів, дуже рідко вони трапляються на бідних азотом землях. Домінування різних ***рослин-галофітів*** (солестійких) пов'язано з засоленістю ґрунтів різними йонами. Певні види рослин відображають якісний склад катіонів у поглинаючому комплексі ґрунту.

***Фітоіндикацію широко застосовують при*** визначенні кислотності

ґрунтів. Так, на дуже кислих ґрунтах (pH = 3- 4,5) ростуть крайні ацидофіли (надають перевагу кислим ґрунтам), до яких належать сфагнум, плавун булавовидний; на кислих ґрунтах (pH 4,5-6,0) - помірні ацидофіли (калюжниця болотна, їдкий і повзучий жовтець); на слабо кислих ґрунтах (pH 5,0-6,7) - слабкі ацидофіли (медунка, купина багатоквіткова, анемона жовтецева).

Теоретичною передумовою застосування ґрунтов-зоологічного методу з метою діагностики ґрунтів сформульоване М.С. Гиляровим у 1949 р.

***Тварини - індикатори забруднення ґрунту.*** Популяції та комплекси видів ґрунтових тварин відзначаються стабільністю і стійкістю навіть за дуже несприятливих змін в екосистемі, тому на землях, активно використовуваних людиною, ґрунтові тварини лишаються останньою групою, за якою оцінюють ступінь впливу людини на біоту. Цьому сприяють особливості ґрунту як середовища існування.

Різноманіття ґрунтових тварин дуже велике, тому вибір об'єктів серед них повинен бути обмеженим. Якщо це стосується видів, то до них ставиться цілий ряд вимог. Перевага віддається великим ґрунтовим безхребетним, багато з яких мешкає в досить широкому діапазоні екологічних умов. Середовище існування представників цієї групи - не найменше скупчення ґрунтової вологи, не порожнини і ходи в ґрунті, а весь ґрунт як середовище. Тому зв'язок зі змінами ґрунтових умов, хімізму ґрунтових розчинів, гумусу у великих ґрунтових тварин набагато тісніший, ніж у дрібних. Ареали багатьох видів добре відомі, і їх популяції на протязі всього ареалу мають досить високу чисельність. Важливе й те, що серед великих безхребетних багато видів-поліфагів, слабко пов'язаних із певною групою рослин чи тварин у своєму живленні. Серед них для моніторингу найбільш зручні представники таких груп: дощові черв'яки, ковалики та їх личинки, великі хижі туруни, деякі види мокриць і диплоподів.

Високий ступінь осілості цих груп, широка харчова база, достатня вивченість особливостей екології, розподілу, розміри ареалів, висока чисельність у різних місцях уможливлюють використання видів із цих груп як основних об'єктів екологічного моніторингу.

Популяції ґрунтових тварин чутливі до змін, які відбуваються в екосистемах і ґрунтовій біоті, і реагують в основному зменшенням кількості видів, чисельності та біомаси популяцій, зникненням характерних для екосистем видів і появою еврибіонтних форм. У сильно пошкоджених екосистемах популяції ґрунтових тварин, у першу чергу мікроартроподів, залишаються останнім «уламком» тваринного світу, що колись існував. Водночас у результаті господарської діяльності людини виникає велика кількість екосистем, у яких немає багатьох груп ґрунтової фауни, головним чином ґрунтоутворювачів, таких як дощові черв'яки, ківсяки, мокриці. Такі

зміни в комплексах помітні на ділянках, що на них людина безпосередньо здійснює господарську діяльність.

***Рослини - індикатори родючості ґрунтів.*** Повний аналіз ґрунту вимагає багато часу та праці. Однак багато особливостей ґрунту, в тому числі і родючість, можна визначити за рослинами-індикаторами, які його ростуть в ньому. Так наприклад, про високу родючість свідчать такі рослини: малина, кропива, іван-чай, таволга, снить, чистотіл, копитняк, кислиця, валеріана.

Індикатори помірної (середньої) родючості: медунка, дудник, грушанка, гравілат річковий, вівсяниця лугова, купальниця, вероніка довголиста. Про низьку родючість свідчать сфагнові (торф'яні) мохи, наземні лишайники, котяча лапка, брусниця, журавлина, ситник ниткоподібний, запашний колосок. Байдужі до ґрунтової родючості жовтець їдкий, пастуша сумка. Маловимоглива до ґрунтової родючості сосна звичайна.

***Рослини - індикатори забезпеченості ґрунту певними елементами.*** Про високий вміст азоту свідчать рослини-нітрофіли - іванчай, малина, кропива; на луках і ріллі - розростання пирію, споришу (горця пташиного). При хорошому забезпеченні азотом рослини мають інтенсивно-зелене забарвлення.

Навпаки, нестача азоту проявляється блідо-зеленим забарвленням рослин, зменшенням гіллястості і числа листя. Високу забезпеченість кальцієм показують кальцієфіли: багато бобових (наприклад люцерна серповидна), модрина сибірська. При нестачі кальцію панують кальцієфоби - рослини кислих ґрунтів: щучка (луговик дернистий), квас, сфагнум та ін. Ці рослини стійкі до шкідливої дії іонів заліза, марганцю, алюмінію.

***Кислотність*** - одна з характерних властивостей ґрунту лісової зони. Підвищена кислотність негативно позначається на рості і розвитку ряду видів рослин. Це відбувається через появу в кислих ґрунтах шкідливих для рослин речовин, наприклад розчинного алюмінію або надлишку марганцю. Вони порушують вуглеводний і білковий обмін в рослинах, затримують утворення генеративних органів і призводять до порушення насіннєвого розмноження, а іноді викликають загибель рослин. Підвищена кислотність ґрунтів пригнічує життєдіяльність ґрунтових бактерій, що беруть участь в розкладанні органіки і вивільнення поживних речовин, необхідних рослинам.

Таблиця 4 Біоіндикатори родючості ґрунтів

| Рівень родючості | Біоіндикатори | |
|---|---|---|
| | на луках | в лісах |
| Дуже високий | Чина лучна, стоколос безостий, таволга, осока лисяча | Малина, кропива, іван-чай, таволга, чистотіл, копитняк,кислиця, валеріана |

| | | |
|---|---|---|
| Помірний (середній) | Костриця лучна, лисохвіст луговий, щучкадерниста, купальниця, вероніка довголиста | Майник дволистий, медунка, дудник, грушанка. купальниця, гравілат річковий |
| Низький | Білоус, ситник нитковидний. запашний колосок, котяча лапка | Сфагнові мохи, наземні лишайники, чорниця, брусниця, журавлина |

Таблиця 5 Зовнішні ознаки хвороб рослин при нестачі або надлишку поживних речовин

| Речовин | Недостача | Надлишок |
|---|---|---|
| Азот (N) | Уповільнення росту. Пожовтіння, побуріння й засихання листя. Одеревіння стебел. Зменшення розміру квіток | Побуріння листя (обпалені краї) і їх загибель. Скорочення періоду вегетації |
| Калій (К) | Поява «крайового опіку» нижнього листя. Ослабленняросли. Блакитно-зелене листя плодових і ягідних культур | Утворення на плодах гіркого слизу |
| Фосфор (Р) | Бурі плями між жилками листя Засихання листя. Ослаблення росту. Фіолетово-червонезабарвлення стебла, гілок і нижньої сторони листя Загинання листя вгору Квітки дрібні, опадаючі | Зменшення вегетаційного періоду Зниження врожаю |
| Кальцій (Са) | Припинення росту й розвитку коріння. Верхнє листя білясте, нижнє - зелене. Відмирання вегетаційних точок росту | Стимуляція розвитку не тільки корисних, але й шкідливих мікроорганізмів |
| Магній (Mg) | | Листя злегка темніє і трохи зменшується; іноді спостерігається згортання й зморщування молодих листочків, на пізніх стадіях росту кінці їх втягуються і відпадають. особливо при ясній погоді |
| Хлор ($C1_2$) | | Загальне огрубіння рослин. листя маленьке, тьмяно-зелене, стебла тверді, у деяких рослин на більш старому листі з'являються пурпурно-коричневі плями, що |

| | | |
|---|---|---|
| Сірка(S) | | Загальне огрубіння рослин. листя маленьке, тьмяно-зелене, стебла тверді, пізніше листя може скручуватися всередину й покривається наростами, краї його стають коричневими. потім блідо-жовтими |

Таблиця 6 Зовнішні ознаки хвороб рослин при надлишку мікроелементів

| Елемент | Зовнішні ознаки хвороб рослин |
|---|---|
| Залізо (Fe) | Тканина без некрозів: хлороз розвивається між жилками молодих листочків, жилки залишаються зеленими, пізніше весь листок стає жовтим або білуватим, шо подібно з голодуванням |
| Марганець (Мп) | Перші ознаки з'являються на молодих рослинах, ураження місцеве Тканина некротична, хлороз розвивається між жилками молодих листочків, перетворюючи їх у жовті або білуваті з темно-коричневими або майже бі лими некротичними плямами, листя викривляє ться й зморщується (у цьому основна відмінність від |
| Кобальт (Со) | У деяких рослин уздовж основних жилок листя з'являються прозорі, наповнені водою ділянки: між жінками розвивається некроз: пізніше листя стає коричневим й обпадає |
| Цинк *(Zu)* | Тканина некротична, хлороз листя, молоді листочки жовтіють: верхівкові бруньки відмирають, більш старе листя може обпадати без зів'янення. жилки знебарвлюються в червоний або чорний кольори (на ранніх стадіях ушкодження подібно з дефіцитом заліза). Перші ознаки з'являються на молодих рослинах, при цьому уражується вся рослина |
| Міль (Си) | Слабкий розвиток коріння, хлороз молодого листя, жилки залишаються зеленими |
| Бор (В) | Хлороз кінців і країв листя, шо поширюється всередину, особливо МІЖ жилками, поки все листя не стає блідо-жовтим або білуватим; опіки країв листя і некроз із закручуванням країв, опадання листя |

У лабораторних умовах кислотність ґрунтів можна визначити універсальним індикаторним папером, набором Алямовського, pH-метром, а в польових умовах - за допомогою рослин-індикаторів. У процесі еволюції сформувалися три групи рослин: ацидофіли - рослини кислих ґрунтів, нейтрофіли - мешканці нейтральних ґрунтів, базіфіли - ростуть на лужних ґрунтах. Знаючи рослини кожної групи, в польових умовах можна приблизно визначити кислотність ґрунту.

Таблиця 7 Біоіндикатори кислотності ґрунтів

| Ґрунти | Біоіндикатор |
|---|---|
| Кислі (pH менше 5,0) | Білоус, запашний колосок, щавель малий, хвощ, журавлина, лохина, сфагнум, верес, зелені мохи, сфагнум плаун |
| Слабкокислі (pH 5,1-5,5) | Ромашка непахуча, манжетка, метлипя польова, куничник ланцетний, щучка, жовтець їдкий |
| Нейтральні, близькі до нейтральних (pH 5,5-7,0) | Лисохвіст луговий, цикорій, костриця лугова, тонконіг луговий, борщівник сибірський, тимофіївка лучна, конюшина лугова, яглиця європейська, мильнянка лікарська |
| Лужні (pH більше 7,0) | Бересклет бородавчастий. бузина сибірська. піщанка, мати-й-мачуха, очиток їдкий, гірчиця |

***Група біоіндикаторів pH ґрунту.*** Виражені ацидофіли: сфагнум, зелені мохи - гілокоміум, дікранум, плавун булавовидний, плавун річний, плавун сплюснутий, пухівка піхвова, підбіл багатолистий (андромеда), котяча лапка, касандра, цетрарія, щучка дерниста, хвощ польовий, квас малий - pH 3,0-4,5.

***Помірні ацидофіли***: чорниця, брусниця, багно, калюжниця болотна, сухоцвіт, жовтець отруйний, мучниця, білозір болотний, фіалка собача, сердечник луговий, куничник наземний - pH 4,5-6,0.

***Слабкі ацидофіли***: папороть чоловічий, медунка неясна, зеленчук, дзвіночок кропиволистий, дзвіночок широколистий, бор розлогий, осока волосиста, осока рання, малина, смородина чорна, вероніка довголиста, горець зміїний, орляк, кисличка заяча - pH 5,0-6, 7.

***Ацидофільно-нейтральні***: зелені мохи – гілокоміум, плеврозіум, верба козяча - pH 4,57,0.

***Нейтрофільні***: яглиця європейська, полуниця зелена, лисохвіст луговий, конюшина гірська, конюшина лучна, мильнянка лікарська, борщівник сибірський, цикорій - pH 6,0-7,3.

***Нейтрально-базіфільні***: мати-й-мачуха, люцерна серповидна, келерія, осока волохата, лядвенець рогатий, гусяча лапка - pH 6,7-7,8.

***Базіфільні***: бузина сибірська, в'яз шорсткий - pH 7,8-9,0.

***Існує класифікація певних груп рослин-індикаторів по відношенню до ґрунтового зволоження:***

1. ***Фреатофіти*** - рослини, пов'язані з водоносними горизонтами у яких добре розвинена коренева система (до 5-30 м).Наприклад, середньоазіатські тамариски мають кореневу систему до 7 м, а чорний саксаул - 25 м.
2. ***Омброфіти*** - рослини, що існують за рахунок атмосферних опадів. Вони мають сильно розгалужену систему поверхневих коренів, які здатні швидко

всмоктувати вологу під час опадів.

3. ***Трихогідрофіти*** - життя цих рослин, насамперед, пов'язане з капілярною вологою ґрунтових вод. Вони часто поєднують риси фреатофітів і омброфітів і мають кореневі системи універсального типу.

***По відношенню до механічного складу ґрунтів і материнських порід рослини поділяють на:***

1. ***Псамофіти*** - ростуть на пісках.
2. ***Пелитофіти*** - на глині.
3. ***Алевритофіти*** -на суглинистих або супісчаних ґрунтах.
4. ***Хасмофіти*** - на кам'янистих ґрунтах.
5. ***Петрофіти*** або літофіти - на скалах.

***По відношенню до засолення ґрунту, досить умовно, виділяють дві великі групи рослин - індикаторів***:

- ***галофіти*** - мешканці засолених ґрунтів ( за перевагою аніонів розрізняють галофіти хлоридного типу, або власно галофіти та сульфатно - кальцієвого типу, або гіпсофіти; та
- ***глікофіти*** - рослини, що мешкають на ґрунтах, які не містять зайвої кількості солей.

***За пристосуванням до надлишкового вмісту солей рослини поділяють на:***

- ***еугалофіти***, або власно галофіти, які накопичують солі у великих кількостях в тканинах рослини і мають соковиті і м'ясисті стебла;
- ***кріногалофіти*** - рослини які здатні виділяти надлишок солей у вигляді краплин розсолу крізь особливі залози (їх іноді називають фільтруючими галофітами) і мають характерний сольовий наліт;
- ***глікогалофіти*** - рослини, що мають кореневий бар'єр, тобто систему анатомічних і фізіологічних пристосувань, які захищають рослину від зайвого надходження солей до тканин рослини.

***По відношенню до умов зволоження ґрунтів виділяють рослини:***

- ***ксерофіти*** - види посушливих місцезростань, для них характерні вузколистість, опушення листків, жорсткі стебла та видозміни листків (колючки);
- ***мезофіти*** - рослини помірно зволожених районів;
- ***гігрофіти*** - рослини-індикатори надлишкового зволоження;
- ***гідрофіти*** - рослини мілководь та прибережних смуг водойм, мають темно- зелене листя та товсті соковиті стебла.

***За однією з основних характеристик ґрунтів, їх кислотністю, рослини поділяють на дві великі групи***:

***Ацидофіли*** - рослини кислих ґрунтів (вереск, пушиця, білоус та ін.)

та ***базифіли, або ацидофоби*** - рослини лужних ґрунтів (бузина, крушина, бересклет та ін.).

Ще В.Л. Комаров писав "***Потрібно добитися того, щоб за змінами рослинного покриву можна було б безпомилково судити про ґрунт***". Сьогодні знання про індикацію ґрунтів значно розширилися. Існує багато рослин, за показниками яких можна безпомилково визначити механічний, хімічний, сольовий, водний та інші показники ґрунтів.

***Система біотестування токсичності ґрунту, забрудненого важкими металами:***

Визначення забруднення ґрунту важкими металами (ВМ) (валовий вміст та рухомі форми) аналітичними методами, на жаль, не дає повної інформації щодо зниження родючості, приміром за розрахунком бонітету, та рівня його небезпеки для рослин і ґрунтової мікробіоти.

Традиційно для біотестування токсичності ґрунту використовували вищі рослини, а саме: овес, крес-салат, редис, цибулю, квасолю, тобто першу ланку трофічного ланцюга в системі "ґрунт – рослини – тварини – людина". Проте, мікроорганізми і ферменти ґрунту беруть участь у синтезі і розкладанні органічної речовини, колообігу макро- і мікроелементів, трансформації техногенних забруднювачів.

***Тісний взаємозв'язок між біологічною активністю і родючістю дозволяє*** її використовувати в якості індикаторного показника, як для діагностики безпосередньо родючості ґрунту, так і для визначення техногенного впливу, а також ефективності заходів щодо його відновлення. Тому розробка і використання комплексної системи біотестування токсичності ґрунту забрудненого ВМ, яка відображає не тільки реакцію вищих рослин на забруднення, а й інтенсивність протікання основних мікробіологічних процесів, що відповідають за його родючість, є актуальним науковопрактичним завданням в умовах техногенного навантаження в наслідок забруднення ВМ навколишнього середовища. Аналіз останніх публікацій.

В теперішній час існує декілька підходів до тестування ґрунту залежно від напрямку оцінки його екологічних функцій, а саме: забезпечення рослин поживними речовинами – в рослинництві; рівня токсичності при забрудненні ксенобіотиками урбанізованих територій.

***Альгологічні методи визначення токсичності*** себе не виправдовують, адже вони не дають повної інформації щодо небезпечності забруднення, впливу його на родючість та життєдіяльність ґрунтових організмів, тому що більшість з них, як тест-культури, використовує тільки вищі рослини.

***Для екологічної оцінки біогенності ґрунтів Д.Г.Звягінцевим (1978) були виділені три групи індикаторних показників***:

1 – чисельність основних груп мікроорганізмів, де особливу увагу приділено амоніфікуючим бактеріям, які здійснюють первинну мінералізацію органічних азотмістких сполук;

2 – фізична активність ґрунтової мікрофлори, яка оцінюється за інтенсивністю виділення $CO_2$ і азотфіксуючою здатністю;

3 – ферментативну активність за шкалою, що включає три гідролітичних (інвертаза, уреаза, фосфатаза) і два окислювально-відновних (каталаза і дегідрогеназа) ферментів.

Проте виникають деякі проблеми при оцінці чисельності основних фізіологічних груп мікроорганізмів, яка може змінюватися в 2-4 рази залежно від сезону року.

В.П.Кучерявим (2000) для діагностики стану техногенно забруднених ВМ ґрунтів запропоновано використовувати загальну біологічну активність, яка опосередковано відбивається через інтенсивність виділення $CO_2$ в процесі життєдіяльності мікроорганізмів (в першу чергу грибів – 2/3 від загальної кількості СО2 і в меншій мірі бактерій), а також дихання кореневих систем рослин.

Проте, даний показник не відображає змін всередині ґрунтового мікробіоценозу, в той час як, добре відомо пригнічення фосформобілізуючих, кислотоутворюючих і бактерій, які засвоюють мінеральний азот, на фоні збільшення чисельності бактерій, котрі засвоюють азот органічних сполук, та мікроскопічних грибів в результаті токсичної дії ВМ. Крім того, виникає необхідність у комплексній оцінці рівня забруднення ВМ і заходів щодо їх детоксикації, для якої В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев і С.І. Колесніков (2001) рекомендують використовувати ***інтегральний показник біологічного стану (ІПБС)***.

В даний час він розраховується за наступними факторами: кількість бактерій роду Azotobacter, які традиційно й успішно використовують як біоіндикатор хімічного забруднення ґрунту; каталазна, дегідрогеназна і целюлозолітична активність для відображення інтенсивності різних біологічних процесів у ґрунті; довжина коренів чутливої до дії ВМ рослини, котра свідчить про фітотоксичність.

Проте здається доМетаним прослідкувати як відбивається токсичний ефект ВМ на рослині в цілому, а саме, вибрати за тестфункції не тільки довжину кореня, а й висоту проростку та приріст біомаси та замість целюлозол тичної активності визначати активність уреази, як більш чутливого ферменту.

Крім того, виникає потреба в нормуванні ІПБС, а не тільки в порівнянні отриманих значень з контролем. Розроблена система біотестування ґрунту забрудненого ВМ повинна бути універсальною і включати показники, як ті, що

відповідають за токсичність, насамперед, для першої ланки трофічного ланцюга – рослин, так і ті, що визначають його родючість.

### *Рекомендована література*


1. Цицюра Я.Г., Шкатула Ю.М., Забарна Т.А., Пелех Л.В. Інноваційні підходи до фіторемедіації та фіторекультивації у сучасних системах землеробства. Монографія. Вінниця: ТОВ «Друк». 2022. 1200 с.
2. Панас Р.М. Екологія ґрунтів: навчальний посібник. Львів: «Новий Світ- 2000», 2021. 481 с.
3. Войтків П. С. Технології захисту та відновлення ґрунтів : методичні вказівки для самостійної роботи студентів Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 50 с.
4. Моніторинг та охорона земель. Практикум : навчальний посібник / В. С. Мошинський, Т. В. Бухальська, А. Г. Ліщинський, Ж. В. Наконечна. Вид. 2-ге, перероб. та доповн. Рівне : НУВГП, 2019. 202 с.
5. Чорний С.Г. Оцінка якості ґрунтів : навчальний посібник. Миколаїв : МНАУ, 2018. 233 с.
6. Охорона ґрунтів і відтворення їх родючості: навчальний посібник / Забалуєв В.О., Балаєв А.Д., Тараріко О.Г. та ін.; за ред. д-рів, проф. В.О. Забалуєва та В.В. Дегтярьова. Вид. 2-ге, змін. і допов. Х.ФОП Бровін, 2017. 348 с.
7. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Частина 1. Нормування інгредієнтного забруднення: навчальний посібник / Петрук В. Г., Васильківський І. В., Іщенко В. А., Петрук Р. В., Турчик П. М. Вінниця : ВНТУ, 2013. 253 с.
8. Дідух Я.П. Основи біоіндикації. Київ: Наукова думка, 2012. 312 с.