

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**



А.В. Павличенко, С.М. Лисицька

**БІОІНДИКАЦІЯ.  
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та  
183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Дніпро  
НГУ  
2018

Біоіндикація. Методичні рекомендації до виконання курсової роботи для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» [Текст] / А.В. Павличенко, С.М. Лисицька; Дніпро: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2018. – 29 с.

Автор:

А.В. Павличенко, д-р. техн. наук, канд. біол. наук, доц.;

С.М. Лисицька, канд. с.-г. наук, доц.

Затверджено методичними комісіями з спеціальностей 101 «Екологія» (протокол №5 від 12.02.2018) та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (протокол №5 від 12.02.2018) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол №6 від 31.01.2018).

Подано методичні рекомендації до виконання курсової роботи з дисципліни «Біоіндикація» для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

Відповідальний за випуск, завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища д-р. техн. наук, доц. А.В. Павличенко.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Методика виконання курсової роботи базується на теоретичних положеннях, поняттях про фізіологічні та морфологічні можливості існування живих організмів, зокрема рослин, в умовах, які відрізняються від природних, уявленнях про їхню здатність зберігати свої репродуктивні властивості й стабільність розвитку.

**Біоіндикація** (лат. «indico» – вказувати, виявляти) – метод оцінки абіотичних і біотичних чинників середовища за допомогою біологічних систем.

**Біоіндикаторами** виступають організми або їх угруповання, життєві функції яких тісно пов'язуються з певними чинниками середовища і можуть використовуватися для їх оцінювання.

Важливим є те, що стан **організмів-біоіндикаторів**, а саме, особливості розвитку, їхня присутність або кількість віддзеркалює характеристику природних процесів, умов або антропогенних змін середовища їх проживання. Індикаторна значимість таких організмів залежить від екологічної стійкості біологічної системи. У межах зони толерантності (де можливі оптимальні умови існування) організм здатний підтримувати свій гомеостаз. Будь-який фактор, що виходить за межі «зони комфорту» даного організму, можна вважати стресовим. Тому його дія призводить до формування в організмі відповідної реакції різної інтенсивності й тривалості.

Біологічна система, яку можна використовувати в ролі **біоіндикатора**, реагує на вплив середовища в цілому, а не тільки на окремі несприятливі фактори (наприклад, на забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, водних джерел токсичними речовинами). Відповідна реакція **біоіндикатора** на певний фізичний або хімічний вплив повинна бути чітко вираженою, тобто специфічною, легко реєструватися візуально або за допомогою спеціальних приладів. **Біоіндикаторами** можуть бути представники всіх царств живої природи – бактерії, водорості, вищі рослини, безхребетні тварини, ссавці та ін.

Рослини – це універсальні **біоіндикатори** завдяки тому, що мають значні ареали поширення, існують у різних екологічних умовах. Не маючи можливості переміщуватися в просторі і тим самим уникати впливу негативних чинників навколишнього середовища, рослини постійно піддаються дії несприятливих факторів. З огляду на це вони можуть бути використані як комплексні індикаторні тест-системи, що відбивають сумарний вплив екотоксикантів.

Вивчення реакцій рослин на дію забруднювачів в об'єктах довкілля є найбільш простим та вірогідним методом діагностування змін у параметрах навколишнього середовища.

Можна легко спостерігати, як в умовах достатньо високих концентрацій забруднювачів у багатьох рослин ушкоджується листя, а зі зростанням кількості абіотичних факторів протягом короткої експозиції відбувається значне ураження й інших структурних частин. Невеликі концентрації певних сполук також можуть призводити до хронічного ушкодження рослин, якщо вони діють протягом тривалого часу.

Оцінка негативних наслідків забруднення навколишнього середовища

може розглядатися не тільки як загальнотоксична дія, що викликає дезактивацію функцій, послаблення життєздатності й передчасну загибель окремих особин, але й фіксувати результати віддалених ефектів, це можуть бути прояви ембріотоксичності, тератогенності, мутагенності, цитотоксичності тощо. При цьому рослини зазнають погіршення фізіологічного стану потомства, що викликає зміни генетичного статусу популяції в цілому.

## **2. МЕТА Й ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

**Мета курсової роботи** полягає в формуванні у майбутніх фахівців (бакалаврів) умінь та компетенції для забезпечення застосування теоретичних знань та практичних навичок щодо організації, планування та проведення біоіндикаційних досліджень екологічного стану об'єктів навколишнього середовища.

### **Завдання роботи:**

- ❖ ознайомитись із специфікою впливу атмосферних забруднювачів на стан та рівень ушкодження рослинних організмів у промислових зонах;
- ❖ дати характеристику територій дослідження за видовим складом рослин;
- ❖ визначити функції та адаптивні властивості рослин в умовах впливу токсичних речовин;
- ❖ визначити види факторів, що впливають на стан рослин в урбоекосистемах;
- ❖ визначити точки постів спостережень на техногенних територіях;
- ❖ вибрати тестові рослини для проведення фітодіагностування тест-полігонів;
- ❖ проаналізувати результати фітоіндикаційних досліджень в умовах антропогенної дії;
- ❖ опанувати методику комплексної оцінки стану рослинних організмів під впливом техногенних чинників.

В результаті виконання курсової роботи студенти повинні набути практичні навички з:

- ❖ розроблення схеми проведення біоіндикаційних досліджень;
- ❖ оцінки впливу промислових об'єктів на складові природного середовища з використанням методів біоіндикації;
- ❖ використання методів біоіндикації в науковій та практичній роботі;
- ❖ аналізу стану довкілля за результатами біомоніторингу;
- ❖ оцінки ефективності природоохоронних заходів за допомогою методів біоіндикації тощо.

Методичні рекомендації призначені для закріплення теоретичних знань, набутих студентами в лекційному курсі «Біоіндикація», а також для формування практичних навичок щодо використання біоіндикаційних методів дослідження для оцінки екологічного стану об'єктів навколишнього середовища. Методичні рекомендації містять опис структури курсової роботи, що викладений за типовою структурною схемою – тема, мета роботи, подання теоретичних положень та завдання на експериментальну і розрахункову роботу.

### 3. СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота подається до захисту у вигляді пояснювальної записки, що складається з титульного аркуша, завдання, змісту, вступу, розділів, згідно з пунктами завдання, висновку та списку використаної літератури.

Текст пояснювальної записки набирається на комп'ютері в текстовому редакторі Word Office на листах формату А4 (210x297 мм), через один інтервал, шрифтом Times New Roman 14 кегля (поля зліва, справа, зверху та знизу – 20 мм). Абзацний відступ – 1 см. Обсяг пояснювальної записки має становити 20...30 сторінок. Назви розділів наводяться заголовними буквами, жирно, вирівнювання по центру без переносів. Назви підрозділів – малими буквами, жирно, вирівнювання по центру без переносів. Між назвами розділів (підрозділів) та їх текстом – інтервал. Текст вирівнюється за шириною сторінки.

Для виконання курсової роботи студентам рекомендується така тема: «Комплексна фітоіндикаційна оцінка стану об'єктів довкілля на територіях з різним рівнем техногенного навантаження».

**Актуальність досліджень** цієї теми полягає у виявленні специфічних змін, які формуються у рослинних організмах під дією забруднених об'єктів навколишнього середовища, що призводять до послаблення їх життєвих і захисних функцій. При цьому рівні ушкодження рослинних організмів залежать від інтенсивності та обсягів впливу антропогенних чинників. Саме тому реакції рослин на дію забруднювачів, можна використовувати для оцінювання ступеня деградації природних екосистем.

Курсова робота повинна включати такі складові елементи (табл. 3.1):

*Вступна частина:*

- титульний аркуш (див. додаток А);
- зміст;
- вступ;

*Основна частина:*

- характеристика дослідної території та чинників, що впливають на стан довкілля;
- характеристика зелених насаджень, представників рослин, які зростають в антропогенному середовищі;
- дані про розміщення мережі постів екологічного спостереження;
- вихідні дані для розрахунку екологічних показників фізіолого-морфологічної стійкості рослин до шкідливих факторів;
- розрахунки параметрів, що характеризують адаптивні властивості рослин: їх стійкість, фільтрувальну здатність, можливість газопилового поглинання тощо;
- класифікація рослинних угруповань за рівнем ушкодженості;
- біоіндикаційне оцінювання стану досліджуваних рослин;
- розроблені заходи щодо поліпшення екологічної ситуації в техногенній зоні.

*Висновки.*

*Перелік літературних джерел.  
Додатки.*

Таблиця 3.1 – Зміст курсової роботи й рекомендований обсяг розділів пояснювальної записки

| Назва розділів                                                                                                                                                                                                                                                      | Кількість сторінок |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Титульний аркуш</b> (див. додаток А)                                                                                                                                                                                                                             | 1,0                |
| <b>Зміст</b>                                                                                                                                                                                                                                                        | 1,0                |
| <b>Вступ</b> (актуальність теми, мета й завдання роботи)                                                                                                                                                                                                            | 1,0...2,0          |
| <b>Теоретичний розділ.</b> Загальні теоретичні засади проведення біоіндикаційних досліджень. Розкриття причин наявних екологічних зміни у рослинних організмах, викликаних антропогенною діяльністю                                                                 | 5,0....7,0         |
| <b>Технологічний розділ.</b> Загальна характеристика конкретної території зелених насаджень в умовах дії техногенного фактора. Аналіз впливу його на окремі рослини та їх угруповання                                                                               | 4,0....6,0         |
| <b>Розрахунковий розділ.</b> Вихідні дані. Розрахунок показників адаптивної здатності рослин. Визначення стану рослин-біоіндикаторів за фізіолого-морфологічними змінами. Обґрунтування заходів щодо поліпшення екологічної ситуації в техногенно навантаженій зоні | 5,0...6,0          |
| <b>Висновки</b> (аналіз й оцінка результатів дослідження життєвого стану рослин в умовах техноекосистем та доцільність проведення біоіндикаційних досліджень)                                                                                                       | 2,0...3,0          |
| <b>Перелік літературних джерел</b>                                                                                                                                                                                                                                  | 1,0                |
| <b>Додатки</b>                                                                                                                                                                                                                                                      | 2,0...4,0          |

#### 4. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Виконання курсової роботи на тему: «Комплексна фітодіагностика стану об'єктів довкілля на територіях з різним рівнем техногенного навантаження» студентами передбачає проведення експериментальних досліджень стану зелених насаджень на територіях, які відрізняються життєвими умовами від природних.

Студентам рекомендується в цьому розділі охарактеризувати рослини, які в техногенних зонах піддаються впливу різноманітних забруднень та дії змінених факторів (повітряного середовища, ґрунтового покриву, а також температурного, світлового й гідрологічного режимів та ін.).

Необхідно показати, що міське середовище, в цілому, істотно відрізняється від природних умов, у яких були сформовані й спадково закріплені еколого-фізіологічні особливості трав'яних і деревних рослин. Тому сьогоденні екологічні проблеми міст зробили надзвичайно актуальними питання збереження, відновлення й створення нових садово-паркових об'єктів у межах міста. Однак, створення куточків природи в мегаполісах (поруч із багатоповерховими будинками, промисловими підприємствами, автотрасами та

іншими) повинно базуватися тільки на наукових принципах, які враховують усі ознаки сучасного урболандшафту та морфолого-фізіологічні характеристики зелених насаджень.

Також треба відзначити, що сучасне місто – це складна багатофункціональна система, що поєднує в собі промислові підприємства, житлову забудову, розвинуту транспортну й комунальну інфраструктури. Характерною рисою сучасності є постійне зростання темпів розбудови міст за рахунок зменшення площ зелених насаджень і неминучої втрати їх основних природоохоронних функцій та провідної ролі у поглинанні й затриманні шкідливих речовин з атмосфери.

Доцільно дати опис умов, які створюють основні чинники підвищеного антропогенного впливу на зелені насадження в даному місті за таким планом:

- комплексна дія урбанізованого середовища (переважно в межах міської забудови);
- забруднення повітряного басейну й ґрунтів;
- рекреаційні навантаження (витоптування, створення пожежонебезпечної ситуації, фізичне знищення);
- безпосередній вплив людини на довкілля (надлишковий збір рослин, ущільнення ґрунту, витоптування, скошування, вирубання рослинності тощо);
- вплив на генетичні й видові зміни рослин.

Масштаб впливу на зелені насадження залежно від чутливості виду й розмірів навантаження може бути різним: від стану пригнічення до повної загибелі рослини.

За таких обставин зростає потреба у збільшенні використання важливих функцій і можливостей зелених насаджень для поліпшення екологічного стану атмосферного повітря з метою забезпечення оптимальних умов життєдіяльності людини, що виявить позитивний вплив на стан здоров'я населення.

## **5. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВИХ НАСЛІДКІВ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ РОСЛИН**

Враховуючи, що рослини чутливо реагують на зовнішні умови (за достатньо високих концентрацій забруднювачів у багатьох з них ушкоджується листя, а зі зростанням кількості забруднювального фактора протягом короткого часу можливе значне їхнє ураження), доцільно дати розвинену характеристику окремим факторам техногенного впливу.

### **5.1. Вплив атмосферних забруднювачів на морфолого-фізіологічні показники рослин**

У роботі рекомендується розкрити можливі наслідки морфолого-фізіологічних змін у рослинах на досліджуваній території, викликані впливом навіть невеликих концентрацій певних речовин. Це можуть бути такі ознаки:

- загибель тканин, яка характеризується змінами кольору від металевосірого до коричневого або його втратою (некроз);

- хронічне ушкодження листя, його бронзове забарвлення;
- передчасне старіння листя, його знебарвлення (хлороз).

Найбільш характерні морфологічні зміни листової пластинки – це поява некротичних уражень у вигляді точок, плям та інших аномальних конфігурацій (рис. 5.1).

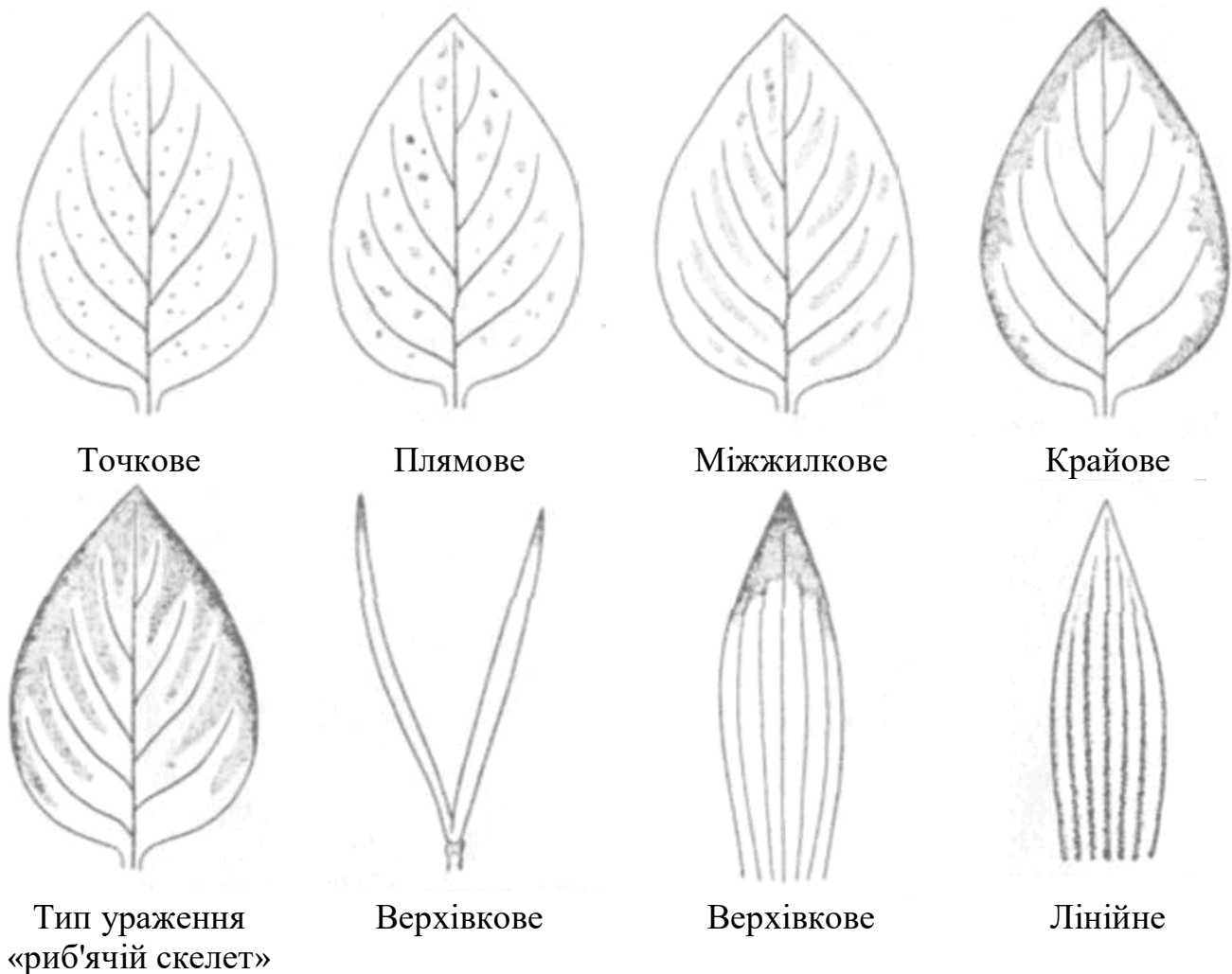


Рис. 5.1 – Специфічні ураження листової поверхні рослин  
(за Р. Шубертом, 1988)

Відомо, що живі організми, в тому числі й рослини, здатні поглинати певні забруднюючі речовини в особливо великих кількостях, тобто в них процеси накопичення або концентрування відбуваються інтенсивніше, ніж у навколишньому середовищі.

Гази, пил, що містять різні компоненти, легко проникають у тканини рослин через продири й можуть безпосередньо впливати на обмін речовин у клітинах. Вступаючи в хімічну взаємодію з рослинами на рівні клітинних стінок і мембран, вони пошкоджують їхні життєво важливі функції.

До основних речовин, які забруднюють атмосферне повітря і на які реагують рослини, належать озон ( $O_3$ ), оксиди азоту, диоксид сірки й фториди (табл. 5.1). Охарактеризуємо кожну з них.

**Озон ( $O_3$ )** – це газоподібна речовина, яка утворюється з кисню

внаслідок дії ультрафіолетових променів сонячного світла та під час електричних розрядів. Озон являє собою отруйний газ, здатний вибухати. Він потрапляє в рослину через листя внаслідок звичайного газообміну між нею і навколишнім середовищем.

Встановлено, що найбільш чутливе до дії озону листя, яке формується, але найпомітніше він уражає старі листки рослини. Загальною ознакою ураження рослин озоном є плямистість, яка вказує на його гостру дію. Ознаки ушкоджень рослин озоном різні й залежать від виду та сорту рослини, концентрації забруднювача, експозиції (дії світла), а також від багатьох інших факторів. Специфічна ознака гострої дії озону на рослину – поява цяточок, які з часом зливаються, утворюючи плями на поверхні листка. Цяточки можуть бути білими, чорними, червоними або червонувато-пурпуровими. За низьких концентрацій  $O_3$  у межах  $0,04-0,7 \text{ млн}^{-1}$  грам листя набуває червоно-бурого або бронзового кольору, що, як правило, призводить до хлорозу, старіння й опадання листя. Хлороз може бути єдиною ознакою хронічного впливу озону протягом тривалого часу.

Оксиди азоту ( $N_xO_y$ ) являють собою газоподібні забруднюючі токсичні сполуки  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ . Вони забруднюють повітря в районах розташування металургійних і хімічних заводів, теплоелектростанцій та підприємств інших галузей промисловості, поглинаються листям рослин, порушуючи при цьому властивий їм тип обміну речовин. У забрудненому повітрі вміст оксидів азоту зумовлює утворення озону. Однак у багатьох випадках концентрація оксидів азоту надто мала, щоб помітно ушкодити рослину. Низькі концентрації  $NO_2$  стимулюють ріст рослин, листя набуває темного кольору. Проте у деяких випадках при концентрації  $N_xO_y$  понад  $0,2 \text{ млн}^{-1}$  грам виникає неспецифічний хлороз із наступним ушкодженням та опаданням листя. Гостра дія  $NO_2$  може бути схожа на гострий вплив на рослини  $SO_2$ .

Діоксид сірки ( $SO_2$ ) – забруднююча речовина, яку викидають у повітря теплові електростанції (особливо ті, що працюють на вугіллі) й деякі промислові підприємства (чорної металургії, коксохімічні, цементні заводи), її концентрація в повітрі висока поблизу джерела викидів і поступово знижується із збільшенням відстані від нього. За природних умов можливе поєднання гострої та хронічної дії  $SO_2$ .

Діоксид сірки, потрапляючи на листя, окиснюється до високотоксичної сполуки  $SO_3$ , а потім повільно перетворюється на сульфат  $SO_4$ , менш токсичний. За низьких концентрацій  $SO_2$  у повітрі  $SO_3$  практично повністю окиснюється до сульфату, тому рослини не страждають.

За високої концентрації  $SO_2$  перетворюється на іон  $SO_3^{2-}$  швидше, ніж  $SO_3^{2-}$  на аніон  $SO_4^{2-}$ . Унаслідок цього процесу відбувається гостре ушкодження, коли листя широколистяних рослин знебарвлюється, а між його жилками з'являється буре або біле забарвлення, чи по краях деяких листків спостерігається ефект «ялинки».

Ознакою хронічної дії  $SO_2$  є хлороз, або знебарвлення листя із зміною його кольору до червоно-бурого; у хвойних рослин – почервоніння голок зверху вниз. Рослини страждають за наявності концентрації  $SO_2$  у межах  $0,05 -$

0,50 млн<sup>-1</sup> грам й тривалості дії понад 8 годин. Наслідки впливу діоксиду сірки наведено на рис. 5.2.

Таблиця 5.1 – Класифікація речовин-забруднювачів атмосфери і їх сумішей, що впливають на рослинний покрив

| Назви забруднювачів                                                                        | Джерела викидів                                   | Ефект ушкодження                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>1. Основні фотохімічні оксиданти:</i>                                                   |                                                   |                                                                                                                          |
| озон                                                                                       | двигуни внутрішнього згорання                     | плямистість, хлороз, опадання листя                                                                                      |
| оксиди азоту                                                                               | печі, двигуни внутрішнього згорання               | неспецифічний хлороз, опадання листя                                                                                     |
| оксиди сірки                                                                               | печі (вугілля або нафта), інші промислові процеси | знебарвлення листя, хлороз, ефект «ялинки»                                                                               |
| фториди                                                                                    | виробництво алюмінію, фосфатів, цегли та ін.      | скручування листя, хлороз уздовж його прожилок                                                                           |
| <i>2. Другорядні речовини:</i>                                                             |                                                   |                                                                                                                          |
| аміак                                                                                      | втрати при виробничих процесах                    | зміна кольору листя до бурого або чорного                                                                                |
| бор                                                                                        |                                                   | плямистість, знебарвлення листя                                                                                          |
| хлор                                                                                       | двигуни внутрішнього згорання                     | плямистість, некроз                                                                                                      |
| етилен і пропілен                                                                          | різні виробничі процеси                           | уповільнення росту листя, передчасне старіння й опадання, погіршення цвітіння, передчасне розкриття бруньок, скручування |
| хлористий водень                                                                           | печі, різні виробничі процеси<br>печі             | плямистість                                                                                                              |
| тверді частинки й важкі метали                                                             |                                                   | пригнічення фотосинтезу, зниження транспірації, послаблення процесів дихання й асиміляції                                |
| <i>3. Суміші забруднюючих речовин: озон і діоксид сірки; діоксид сірки і діоксид азоту</i> | усі перелічені вище джерела                       | часткова деградація рослинного покриву, зниження продуктивності та природоохоронних функцій                              |

Фториди перебувають в атмосфері у вигляді газу, твердих домішок або газоподібної речовини, адсорбованої іншою твердою речовиною. Фтористі сполуки викидаються в атмосферу в процесі виробництва фосфатів і фосфорних добрив, емалевих і керамічних виробів, а також під час спалювання вугілля. Фтористий водень (HF) у газоподібному стані виявляє найбільшу токсичність.

Хронічна дія HF навіть у концентрації  $0,001 \text{ млн}^{-1}$  грам викликає у рослин хлороз уздовж прожилок листя, а в результаті гострої дії – виникає некроз країв листя, який починається з верхньої частини листка і поширюється до його основи, внаслідок чого листя може деформуватися або скручуватися.

Індикатором цього виду забруднення може слугувати така однодольна рослина, як гладіолус. У нього колір листя змінюється від білого до бурого, починаючи з верхівки листка до основи. Чітка темно-бура смуга відокремлює мертву тканину рослини від живої. У хвойних рослин з'являються голки з «обпаленими» краями або «обпалені» повністю.

Особливістю фториду водню є його здатність накопичуватись у листках, особливо на їхніх краях і верхівках. Для оцінки ступеня ушкодження рослин цим забруднювачем застосовують аналіз тканини листка.

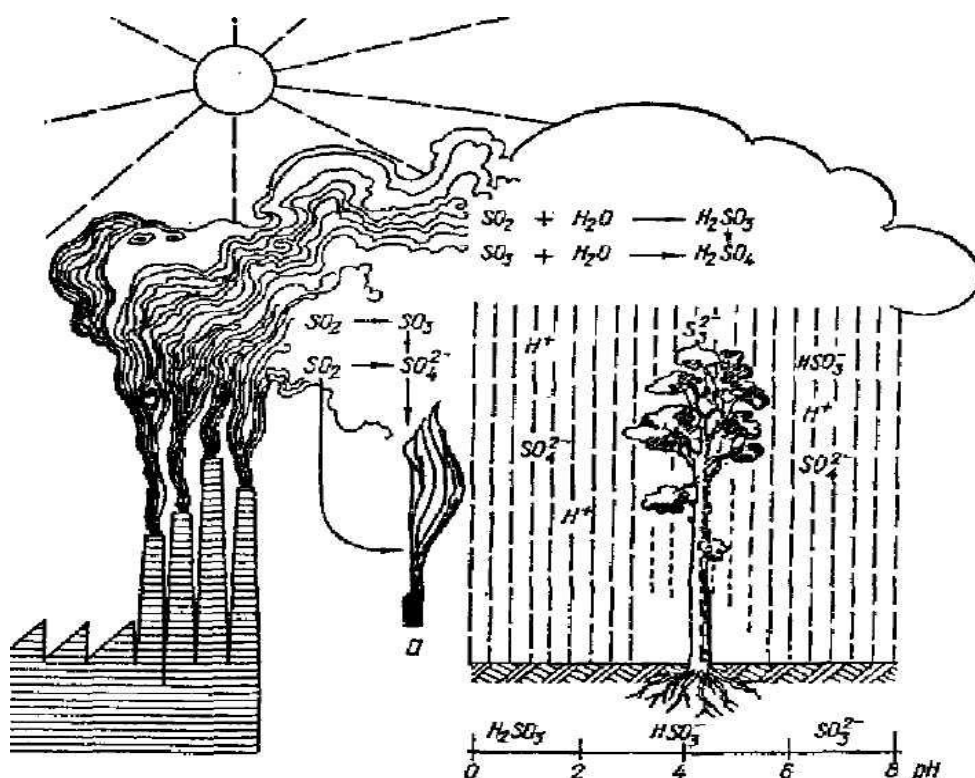


Рис. 5.2 – Схема процесу забруднення атмосферного повітря сірчанним газом й можливі його наслідки

До так званих забруднювачів другорядної дії як правило відносять аміак, бор, хлор, етилен, пропилен, хлористий водень. Розглянемо їхні особливості.

**Аміак** (NH<sub>3</sub>) надходить в атмосферу в як наслідок аварій на виробництві, а також у невеликій кількості викидається металургійними підприємствами, під час виробництва аміачних добрив, сечовини, азотної кислоти. Має відновні властивості, які зумовлюють токсичний ефект у момент поглинання його рослинами. Подібно до дії оксидів сірки, рослини ушкоджуються тільки за високої концентрації аміаку. Найбільш чутливе до впливу NH<sub>3</sub> листя середнього віку, яке може змінити колір із тьмяно-зеленого до бурого або чорного. Дія низьких концентрацій NH<sub>3</sub> зумовлює появу внизу листка

глянцюватості або сріблястості.

*Хлор* ( $\text{Cl}_2$ ) застосовують як окиснювач. Спостереження свідчать, що в зоні розливу хлору внаслідок аварій при його транспортуванні рослини особливо ушкоджуються. На краях листків з'являються плями від темно-зеленого до чорного кольору, які потім знебарвлюються до білого або стають бурими. Ознаки ушкодження листя між жилками подібні до ознак, спричинених дією  $\text{SO}_2$ . Можлива також поява цяточок, що нагадує результат впливу озону. У хвойних, як і при дії озону, може виникати некроз кінчиків голок і плямистість. Особливо чутливі до дії хлору гірчиця й соняшник.

*Етилен* ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) – природний рослинний гормон, який утворюється при ушкодженні рослин різними забруднювачами повітря. Ця речовина впливає на процеси цвітіння, дозрівання плодів, їхнє старіння й на опадання листя. Етилен також присутній у вихлопних газах автотранспорту, тому вважається забруднювачем. До ознак ушкоджень рослин етиленом належать уповільнення їх росту, передчасне старіння й опадання листя, погіршення цвітіння, передчасне розкриття бруньок, повільне розпускання листків, їх скручування.

*Пропілен* ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ) – ненасичений ациклічний вуглеводень, безбарвний газ. Вплив пропілену на рослини подібний до дії етилену, але за вищих концентрацій. Пропілен пригнічує цвітіння хризантем, уповільнює вертикальний ріст рослин, але стимулює появу листя. Рослини, уражені пропіленом, мають менше за розміром, але товще листя.

*Хлористий водень* ( $\text{HCl}$ ) – безбарвний газ, має різкий запах. Типовою реакцією на дію хлористого водню є міжжилковий і крайовий хлороз листя, після чого настає його некроз, який проявляється у зміні кольору від жовтого, бурого, червоного до чорного. Межі некротизованих ділянок на листках можуть бути від білого до кремового кольору. Ознаками ушкодження рослин аерозолем соляної кислоти вважають появу цяточок від червоно-коричневого до чорного кольору, а соляною кислотою – листову плямистість, причому плями як правило оточені смугою білого або кремового кольору.

Хлориди, як і фториди, часто акумулюються у верхівках листків рослин. Аналіз ушкодженого листя дає змогу встановити рівень вмісту в них хлоридів.

*Тверді частинки (пил) і важкі метали.* Вони проникають крізь листя або пошкоджені клітини епідермісу. Значної шкоди завдають рослинам пил і сажа, які, осідаючи на поверхні листків, утруднюють поглинання світла, порушують водний обмін. Наслідком їхньої дії виступає пригнічення фотосинтезу, багатьох біохімічних процесів, зниження транспірації, послаблення процесів дихання й асиміляції. Це проявляється в зміні забарвлення листя та в його опаданні, некрозах, загальному пригніченні росту й розвитку рослин.

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

Найпоширенішим металом, що може потрапляти в рослину і ґрунт, є свинець. Він накопичується в ґрунті, але чітких доказів відносно того, що він уражає рослину, немає. Цинк, кадмій, мідь у середині літа спричиняють

міжжилковий хлороз із наступним почервонінням листя дерев, які ростуть поблизу джерел забруднення.

*Суміші забруднюючих речовин.* У повітрі, що оточує рослини за звичайних умов, міститься кілька потенційних фітотоксичних забруднювачів. Їхні суміші можуть спричинити ті самі ушкодження рослин, що й окремі забруднювачі, а суміш газів сприяє зміні порогової чутливості рослин. Охарактеризуємо найбільш типові поєднання забруднювачів.

*Суміш озону й діоксиду сірки.* Ознаки ушкоджень нею схожі на ознаки ураження  $O_3$  або  $SO_2$  залежно від їх концентрацій. Якщо концентрації  $O_3$  і  $SO_2$  нижчі від порогової для  $SO_2$ , але дорівнюють або нижчі від порогової для  $O_3$ , то спостерігаються ознаки ушкоджень, схожі на виниклі внаслідок дії озону.

*Діоксид сірки в поєднанні з діоксидом азоту.* Спільна дія цих речовин, коли їхні концентрації нижчі від порогових значень для кожного газу, проявляється в ушкодженні верхньої частини листя рослин.

З огляду на сказане вище, можна зробити висновок, що забруднення довкілля хімічними сполуками призводить до часткової деградації рослинного покриву, знижуючи його біомасу та природоохоронні функції.

Забруднюючі речовини умовно можна розташувати в такому порядку за ознакою зменшення їх токсичності для рослин: фтор – фтористий водень – хлор – діоксид сірки – оксиди азоту – хлористий водень – формальдегід – туман сірчаної кислоти – аміак – бензол – метанол – циклогексан – сірководень – сірковуглець – оксид вуглецю – піридин.

Характер впливу забрудненого повітря на рослини залежить від джерел забруднень, їх розповсюдження, специфіки фізико-хімічних властивостей токсичних компонентів, їхньої концентрації, тривалості, частоти та його повторюваності, а також від фізико-географічних і кліматичних умов району зростання й фізіолого-біохімічного стану самих рослин.

Відомо, що негативний вплив атмосферного забруднення найбільшою мірою позначається на хвойних рослинах.

Таким чином, проведення досліджень ступеня забрудненості атмосфери викидами промислових підприємств необхідно починати з ретельного аналізу компонентів-забруднювачів, їх можливого впливу на життєдіяльність рослин, відбору тестових фітоіндикаторів.

## **5.2. Адаптивні властивості рослин**

Важлива властивість живих організмів – їхня здатність поєднувати стійкість і пристосування будови та функцій до факторів зміненого середовища, що дає можливість вижити в умовах наростаючого антропогенного екологічного стресу.

Адаптивна стратегія рослин являє собою комплекс морфологічних, фізіологічних і біохімічних характеристик, які дозволяють ефективно використовувати ресурси середовища. Завдяки різним типам такої стратегії, рослини пристосовуються до місця зростання з різною інтенсивністю антропогенного впливу.

Відомо, що деякі рослини мало ушкоджуються внаслідок дії шкідливих компонентів атмосфери. Такі рослини привертають значну увагу екологів, бо можуть бути широко використані для озеленення територій, які більш-менш постійно піддаються впливу забруднювачів.

Біологічну стійкість пов'язують зі здатністю ушкоджених рослин до регенерації. Чим швидше рослина відновлює свої тканини й органи після отруєння шкідливими домішками атмосфери, тим вона менше до них чутлива.

За ступенем стійкості рослини поділяють на стійкі, середньої стійкості й нестійкі (чутливі до забруднюючих речовин). Анатомо-морфологічна стійкість багато в чому залежить від особливостей будови рослин, оскільки на інтенсивність надходження всередину цих організмів шкідливих речовин можуть впливати такі параметри ознаки, як потужність кутикули, воскового нальоту, режим роботи апарату продишу, площа поверхні рослини та ін. Найбільш стійкими до всіх видів забруднень виявляються листки, які мають міцний восковий наліт, що перекриває клітини продишу.

Фізіолого-біохімічна стійкість рослин визначається індивідуальними особливостями їхнього метаболізму, швидкістю перебігу біохімічних реакцій, здатністю утилізувати отруйні речовини, зв'язувати їхніми білками цитоплазму.

Критерієм стійкості рослин виступає площа некрозу у відсотках від загальної поверхні листка. Крім того, для цієї характеристики можуть використовуватися такі показники, як зменшення схожості насіння, енергія росту й урожайності рослин, деякі фізіолого-біохімічні й анатомо-морфологічні показники.

Листяні породи порівняно із хвойними більш стійкі, бо мають досить яскраво виражену здатність до регенерації.

Важливою характеристикою рослин виступає їх газостійкість, тобто здатність рослин протистояти дії шкідливих газів, зберігаючи при цьому нормальний ріст, розвиток і декоративність. Велике значення для стійкості рослин до газів мають деякі біологічні особливості: інтенсивність морфо-біологічних процесів росту й розвитку, їхня екологічна пластичність, географічне походження, вік, фотоперіодизм. Наприклад, гранично допустима середньодобова концентрація сірчистого ангідриду для сосни звичайної – 0,4 мг/м<sup>3</sup>, липи дрібнолистої – 0,6 мг/м<sup>3</sup>, ялини звичайної та клена гостролистого – по 0,7 мг/м<sup>3</sup>. Якщо концентрація шкідливих газів перевищує гранично допустимі норми, то клітини рослин руйнуються й це призводить до пригнічення росту й розвитку, а іноді й до загибелі рослин.

Активацію процесу пошкоджуваності рослин газами викликають такі чинники: підвищена температура, вологість повітря й сонячна радіація. Саме вони ініціюють підвищення газообміну і поглинання токсичних газів.

Стійкість рослин підвищується з віком, а також при поліпшенні умов зростання (грунтового середовища, агротехніки тощо), і знижується на малородючих і сухих ґрунтах.

В урбоекосистемах більшість рослин, як правило змушені пристосовуватися до несприятливих для них екологічних умов забрудненого атмосферного повітря, недостатнього освітлення, своєрідного фізико-хімічного

режиму міських ґрунтів та інших факторів середовища. Все це призводить решті-решт до зниження стійкості рослин, у тому числі до появи шкідників і хвороб.

Отже, оцінка екологічної пластичності рослин і визначення їх адаптивного потенціалу дозволяє вирішувати різноманітні екологічні й прикладні завдання, а також прогнозувати життєдіяльність видів в умовах кліматичних змін й антропогенних впливів навколишнього середовища.

### **5.3. Фільтрувальна здатність рослин**

Міське повітря забруднюється твердими частинками, пилом, сажею, золою, аерозолями, газами, парами, димом, пилом, спорами рослин тощо. Активними забруднювачами атмосфери передусім вважають промислові підприємства, теплові електростанції, транспорт. Встановлено, що із загальної кількості забруднень 27% надходить від електростанцій, 24,3% – від підприємств чорної металургії, 10,5% – від виробництва кольорової металургії, 15,5% – від нафтовидобутку й нафтохімії, 13,1% – від транспорту, 8,5% – від промисловості будівельних матеріалів і 1,5% – з інших джерел.

У спекотний літній день над нагрітими асфальтом і залізними дахами будинків утворюються потоки теплого повітря, що піднімають дрібні частки пилу, які довго тримаються в повітрі. А над старим парком, розміщеним у центрі міста, виникають спадні потоки повітря, оскільки поверхня листя дерев значно прохолодніша від асфальту й заліза. Пил, що підхоплюється спадними потоками повітря, осідає на листі. Наприклад, кількість пилу в насадженнях, які перебувають поблизу двох населених пунктів (близько 1 км), становила приблизно 2,5 тис. частинок на 1 л, тим часом, як у великому населеному пункті вона сягала 9 тис, а в меншому – близько 4 тис.

Зелені насадження, залежно від їхньої площі, можуть бути потужними пилевловлювачами. Їх фільтрувальна здатність пояснюється архітектонікою будови крони й листя рослин. Під час проходження запиленого повітря через цей природний лабіринт відбувається своєрідна його фільтрація. Значна частина пилу затримується на поверхні листя, гілок і стовбура. Унаслідок випадання опадів пил змивається і разом з водяними радіальними потоками виноситься в каналізаційну мережу.

Деревні й трав'яні рослини вловлюють з повітря в середньому до 50% пилу влітку і до 37% – взимку. Хвойні породи, пилозахисні властивості яких зберігаються весь рік, у 1,5 рази інтенсивніше осаджують пил в розрахунку на одиницю маси листя, ніж листяні породи. У глибині лісового масиву, на віддалі 250 м від узлісся, запиленість повітря знижується майже в 3,5 рази. Листя з гладкою поверхнею звільняється від пилу значно швидше, ніж із зморшкуватою. На міській вулиці, де немає зелених насаджень, запиленість у 10 разів вища, ніж на озелененій.

Належить підкреслити, що значною є також пилевловлювальна здатність газонів: листяна поверхня трави заввишки 10 см дорівнює 20 м<sup>2</sup> на 1 м<sup>2</sup>. Трава затримує в 3–6 разів більше пилу, ніж гола земля, але в 10 разів

менше, ніж дерева.

Величина осадження пиловидних частинок фітоценозами залежить від напрямку поширення запилених потоків повітря і атмосферних опадів. Пиловловлювальні властивості рослин охарактеризована в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Атмосферні пилозахисні властивості рослин деревних порід (за даними М.І. Калініна, 1991)

| Назва породи          | Площа поверхні дорослого дерева, м <sup>2</sup> | Кількість пилу, що затримується 1 м <sup>2</sup> листя, мг | Кількість пилу, який поглинається дорослим деревом за вегетаційний період, кг |
|-----------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Акація біла           | 36                                              | 1209                                                       | 4,23                                                                          |
| Айлант високий        | 202                                             | 1410                                                       | 24,18                                                                         |
| В'яз перистогіллястий | 66                                              | 4062                                                       | 18,19                                                                         |
| Вербка плакуча        | 157                                             | 8113                                                       | 37,92                                                                         |
| Гледичія триколючкова | 140                                             | 5130                                                       | 17,63                                                                         |
| Горіх волоський       | 164                                             | 1444                                                       | 19,03                                                                         |
| Гіркокаштан звичайний | 78                                              | 1216                                                       | 16,35                                                                         |
| Клен польовий         | 171                                             | 3551                                                       | 19,90                                                                         |
| Клен татарський       | 58                                              | 1728                                                       | 11,63                                                                         |
| Клен гостролистий     | 276                                             | 1803                                                       | 29,21                                                                         |
| Тополя канадська      | 267                                             | 1022                                                       | 34,12                                                                         |
| Тополя пірамідальна   | 72                                              | 1592                                                       | 12,47                                                                         |
| Шовковиця біла        | 112                                             | 8119                                                       | 31,31                                                                         |
| Ясен зелений          | 195                                             | 1845                                                       | 29,62                                                                         |
| Ясен звичайний        | 124                                             | 1076                                                       | 27,17                                                                         |

Якщо ж рослина розміщується поряд із забруднювачем повітря, то її лісовий масив повинен бути в міру відкритим для повітряного потоку, який несе всередину насадження пил, сажу або хімічні токсиканти (рис. 5.3).

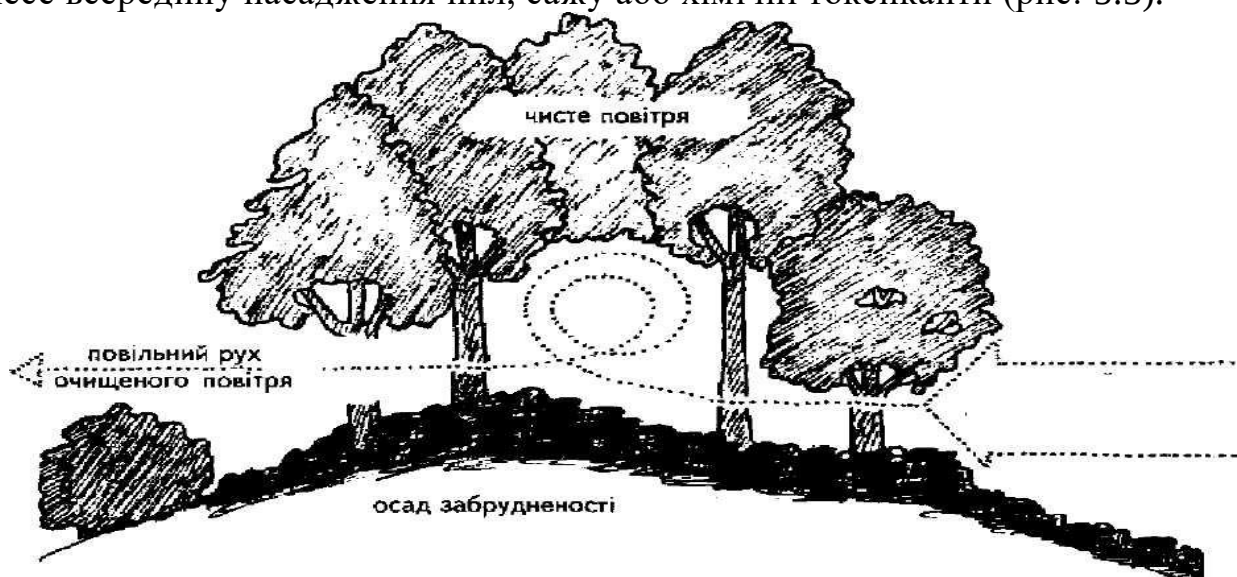


Рис. 5.3 – Схема фільтрувальної дії рослин

Мінімальне співвідношення складових повітря для людини – одна частина забрудненого повітря на 3000 чистого. Уздовж багатьох магістралей це співвідношення нижче 1:1000. Тому пояс зелені завширшки близько кілометра, що зростає на узбіччі траси, може повністю відновити баланс повітря.

При підборі асортименту деревно-чагарникових порід для озеленення населених пунктів також необхідно брати до уваги поповнення кисню, який інтенсивно споживається сусідніми промисловими територіями, транспортними магістралями або ж житловими масивами.

#### 5.4. Газозахисна функція рослин

Рослинні організми в умовах газового забруднення повітряного середовища виконують функцію біофільтра. Ефективність фільтрування повітря від шкідливих речовин окремими рослинами та фітоценозами визначається площею листкового апарату й кількістю накопичених у них токсичних елементів. У табл. 5.3 наводяться дані про газопоглинальну здатність рослин та їхню газостійкість.

Таблиця 5.3 – Газопоглинальна здатність дерев та їх середня відносна стійкість до газопилових викидів (за дослідженнями Вергелеса, 2000)

| Назва рослини         | Поглинання SO <sub>2</sub> однією рослиною, грами/вегетативний період | Середня відносна стійкість до газопилових викидів, бал |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Клен ясенелистий      | 4                                                                     | 30                                                     |
| Тополя чорна          | 4                                                                     | 180                                                    |
| Тополя канадська      | 3,8                                                                   | 180                                                    |
| Ясен звичайний        | 3,8                                                                   | 170                                                    |
| Тополя пірамідальна   | 3,75                                                                  | 180                                                    |
| Гірко каштан кінський | 3,6                                                                   | 100                                                    |
| В'яз граболистий      | 3,5                                                                   | 80                                                     |
| Клен гостролистий     | 3,5                                                                   | 20                                                     |
| Яблуня домашня        | 3,75                                                                  | 50                                                     |
| Липа серцелиста       | 3,5                                                                   | 100                                                    |
| Робінія псевдоакація  | 3,4                                                                   | 20                                                     |
| В'яз гірський         | 3,3                                                                   | 80                                                     |
| Тополя бальзамічна    | 3,3                                                                   | 180                                                    |
| Абрикос звичайний     | 3,25                                                                  | 50                                                     |
| Береза повисла        | 3                                                                     | 90                                                     |
| В'яз гладкий          | 3                                                                     | 80                                                     |
| Горобина звичайна     | 3                                                                     | 50                                                     |

Однак, зростаючи понад допустиму, концентрація фітотоксичних газів стає шкідливою для життєдіяльності рослин. Газові й пилоподібні компоненти атмосферних домішок, насамперед оксидів сірки, сполук фтору, хлору,

вуглеводів, озону, пероксиацетилнітрату й інших, активно взаємодіють з рослиною. Названі речовини характеризуються різною швидкістю проникнення і накопичення токсичних речовин у тканинах листової пластинки і клітинних органелах. Вони викликають порушення фотосинтезу, дихання, транспірації та інших біосинтетичних і обмінних процесів.

Ступінь ушкодження рослин атмосферними токсикантами залежить головним чином від їх індивідуальних особливостей, забезпеченості елементами мінерального живлення, водою, а також від їхньої освітленості та від інших зовнішніх факторів.

Отже, найважливішим завданням в озелененні територій, які зазнають впливу фітотоксикантів, є правильний підбір асортименту дерев і чагарників.

## **6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА**

Для проведення дослідження спочатку необхідно вибрати тест-полігони з різним рівнем техногенного навантаження, дати їх загальну характеристику й провести обстеження основних видів зелених насаджень.

### **6.1. Об'єкти дослідження**

На території кожного тест-полігону належить вибрати моніторингові точки, які охоплюють як техногенні об'єкти, так і населені території. На кожному пункті обстеження виділити пробну ділянку розміром 20 x 20 м. Такий спектр моніторингових точок можна пояснити необхідністю більш детальної оцінки рівня ушкодженості та змін стану зелених насаджень залежно від рівня техногенного навантаження.

### **6.2. Оцінка життєвого стану дерев за рівнем і характером ушкодження крони, стовбура та поверхні листя**

Виконання курсової роботи полягає в дослідженні фактичного стану зелених насаджень, виміру їх основних морфологічних показників на територіях з різним рівнем техногенного навантаження.

### **6.3. Оцінювання стану зелених зон за морфологічними показниками**

Щоб оцінити стан дерев, рекомендується вибрати три дослідні полігони, які відзначаються різним рівнем техногенного навантаження.

Досліджувані полігони вибирають за таким принципом:

- перший має бути розташований поблизу промислового об'єкта (заводу, шахти, гірничо-збагачувального комбінату, відвалу, хвостосховища або автомагістралі та ін.);

- другий – на відстані 0,5–1,0 км від першого полігону;

- третій – на відстані 5–10 км від першого.

Досліджуючи кожен полігон, потрібно виконати такі завдання:

1) скласти карту-схема території розташування з позначенням відстані до джерела забруднення (можливе використання топографічних або електронних карт місцевості);

2) вибрати ділянку розміром 20x20 м для вивчення стану зелених насаджень;

3) скласти схему вибраної ділянки, позначивши види й кількість дерев на ній;

4) виміряти обхват стовбура кожного дерева на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту (результати вимірів позначити таким чином:  $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, \dots, L_n$ );

5) візуально оцінити життєвий стан крони й стовбура за характером ушкодження рослин;

6) скласти протокол обстеження досліджуваної ділянки й занести у нього результати вимірів (зразок див. у додатку Б).

Життєвий стан рослин на досліджуваних ділянках візуально оцінюється за спеціальною шкалою (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Шкала оцінки життєвого стану дерева за ушкодженням крони й стовбуру

| Оцінка стану дерева                             | Характер ушкодження крони й стовбура                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Здорове дерево<br>– 0%                          | Крона й стовбур не мають зовнішніх ознак ушкодження. Одиначні сухі гілки, й ті, що відмирають, зосереджені у нижній частині крони. Листя та хвоя, що припинили своє зростання, мають зелений або темно-зелений колір. Будь-які ушкодження листя та хвої незначні (менше 10%) і не впливають на стан дерева                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Ослаблене (ушкоджене) дерево<br>– 30%           | Обов'язково є хоча б одна з таких ознак: а) густина крони менша на 30% (25–40%) за рахунок передчасного опадання чи недорозвиненості листя (хвої) або зрідження каркасної частини крони; б) наявність 30 % (25–40%) сухих, або таких, що засихають гілок, у верхній половині крони; в) ушкодження (об'їдання, скручування, опіки, хлорози, некрози і т. д.) й втрата асиміляційної діяльності 30% всієї площі листя (хвої) внаслідок життєдіяльності шкідливих комах, патогенних мікроорганізмів, через пожежу, атмосферні забруднення або з невідомих причин. У цю категорію входять також дерева з одночасною наявністю ознак «а», «б», «в» та інших, що виявляються меншою мірою, але призводять до сумарного послаблення життєвого стану дерева на 30% |
| Дуже ослаблене (дуже ушкоджене) дерево<br>– 60% | У верхній половині крони спостерігається хоча б одна з наступних ознак: а) густина крони менше на 60% за рахунок передчасного опадання або недорозвиненості листя (хвої), або зрідження каркасної частини; б) наявність 60% сухих або, що засихають гілок, у верхній частині крони; в) ушкодження (об'їдання, скручування, опіки, хлорози, некрози і т. д.) і втрата фотосинтетичної функції на 60% (50–70%) всієї площі листя (хвої) унаслідок життєдіяльності шкідливих комах, патогенних мікроорганізмів, через пожежу, атмосферні забруднення або з невідомих причин. До цієї категорії                                                                                                                                                                |

| Оцінка стану дерева       | Характер ушкодження крони й стовбура                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | відносять також дерева з одночасною наявністю ознак «а», «б», «в» та інших, які виявляються меншою мірою, але призводять до сумарного послаблення життєвого стану дерева на 60%                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Вмираюче дерево<br>– 95 % | Основні ознаки відмирання дерева: крона порушена, її густина становить менше ніж 15–20% порівняно із здоровим деревом; понад 70% гілок крони (в тому числі у її верхній частині) сухі або майже сухі. Листя (хвоя), що збереглося на дереві, хлоротичне: тобто має блідо-зелене, жовтувате, жовте або помаранчево-червоне забарвлення; некроз має білястий, коричневий або чорний колір. У комлевій і середній частинах стовбура можливі ознаки заселення стовбуровими шкідниками |
| Сухостій<br>– 100 %       | У перший рік після загибелі на дереві можуть бути залишки сухої хвої або сухого листя. Часто спостерігаються ознаки заселення комахами-ксилофагами. Надалі поступово втрачаються гілки й кора.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

#### 6.4. Оцінка життєвого стану дерева за рівнем й характером пошкодження крони, стовбура та поверхні листя рослин

Найбільш інформативним показником для прогнозних оцінок є стан гілок верхньої половини крони дерева, оскільки навіть після повного припинення дії факторів, які викликали їх відмирання, потрібні десятиріччя, щоб відновилась життєздатність дерева (повернення до нормального стану для більшості деревних порід практично неможливе).

Стан окремого дерева та деревостою в цілому рекомендується оцінювати за даними візуальних досліджень та з використанням певних характеристик і рівнянь.

**Фітоіндикація** являє собою оцінювання життєвого стану рослин в умовах впливу чинників середовища їх зростання. Найбільш оптимальний для фітоіндикаційних досліджень час – початок другої половини вегетаційного періоду рослини.

Індекс життєвого стану деревостою визначають з урахуванням чисельності дерев за таким рівнянням:

$$L_n = \frac{100 \cdot n_1 + 100 \cdot n_2 + 40 \cdot n_3 + 5 \cdot n_4}{N}, \quad (6.1)$$

де  $L_n$  – відносний життєвий стан деревостою який розраховано за кількістю дерев, %;  $n_1$  – кількість здорових дерев;  $n_2$  – ослаблених;  $n_3$  – дуже ослаблених;  $n_4$  – кількість дерев лісоутворювальних, які відмирають, на пробній ділянці або на 1 га;  $N$  – загальна кількість дерев (з урахуванням сухостою) на пробній ділянці.

Стан деревостою зелених насаджень міста оцінюється за допомогою спеціальної шкали, яку подано в табл. 6.2.

У деяких випадках необхідно знати не стільки життєвий стан деревостою, скільки міру його ушкодженості. У таких випадках різним категоріям стану

дерев відповідають такі коефіцієнти: 0% – здорове неушкоджене дерево; 30 % – послаблене (ушкоджене) дерево; 60% – дуже ослаблене (дуже ушкоджене) дерево; 95% – дерево, яке засихає, 100% – сухостій.

Таблиця 6.2 – Шкала оцінки життєвого стану деревостою за індексом збереженості дерев

| Значення індексу збереженості, % | Стан деревостою      |
|----------------------------------|----------------------|
| 100...80                         | Здоровий             |
| 79...50                          | Ушкоджений           |
| 49...20                          | Дуже ушкоджений      |
| 19 і нижче                       | Повністю зруйнований |

Стан рослинних угруповань на території міста оцінюється за шкалою, що наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Класифікація рослинних угруповань за рівнем ушкодженості фітоценозів антропогенними забруднювачами

| Клас | Характеристика ушкоджень                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I    | <b>Екосистема не порушена діяльністю забруднювачів.</b> Життєвий стан деревостою оцінюється як «здоровий» ( $L_n=99-90\%$ ). Багаторічний вміст диоксиду сірки у повітрі над зеленим масивом – менше 0,005 мг/м <sup>3</sup> . Випадіння сульфатів з атмосфери – до 15–20 кг/га на рік. Оскільки значну частину зелених насаджень у місті вже не можна віднести до цієї категорії, екосистеми I класу можна використовувати як еталонні для порівняльного вивчення ушкоджених                                                                                                                                                                                                                                                |
| II   | <b>Початкове ушкодження рослинних екосистем міста.</b> Одна з важливих ознак – порушення або руйнування покриву епіфітних лишайників. Здорові дерева у деревостой переважають, а їхній життєвий стан не має істотних (понад 10%) відхилень від стану еталонних аналогів, тобто незабруднених рослинних екосистем міста. Якщо ж це не спостерігається, то $L_n$ деревостой з початковим ушкодженням не має бути нижчим 80%. Зелені насадження цього класу присутні за наявності локальних (регіональних) джерел забруднення (наприклад, ТЕС)                                                                                                                                                                                  |
| III  | <b>Ушкоджені лісові екосистеми.</b> Основні лісоутворювальні породи становлять менше 50% як за чисельністю, так і за обсягом деревини. Життєвий стан деревостой оцінюється як «ослаблений». Ушкодження дерев дорівнює 20–49%. При забрудненні атмосфери у таких насадженнях спостерігається масовий хлороз і некроз листя, значно знижена тривалість життя хвої, гілки відмирають у верхній частині крон. Покрив епіфітних лишайників практично відсутній. Зелені насадження цього класу широко розповсюджені у зоні дії викидів підприємств чорної та кольорової металургії, заводів з виробництва мінеральних добрив, підприємств целюлозно-паперової промисловості. Їх стан може відображати тривале локальне забруднення |

| Клас | Характеристика ушкоджень                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IV   | <b>Дуже ушкоджені екосистеми.</b> Здорові дерева основної лісоутворювальної породи у деревостой являють собою поодинокі екземпляри або взагалі відсутні. Стан деревостою оцінюється як «дуже ослаблений» і характеризується втратою життєвого потенціалу на 50–80%. Тривалість життя хвої знижується більш ніж у 2 рази. Спостерігається масовий хлороз і некроз листя та хвої. Молоді дерева підліску сильно ушкоджені. Територію, на якій переважають екосистеми цього класу, можна характеризувати як зону руйнування лісових екосистем. Істотне значення у погіршенні життєвого стану рослин має зміна ґрунтових характеристик. Такі екосистеми виникають навколо великих металургійних комбінатів. Описаний стан дерев як наслідок локального (регіонального) забруднення можна пояснити додатковим впливом інших абіотичних і біотичних стресів |
| V    | <b>Повністю зруйновані екосистеми.</b> Зелені насадження відсутні, здорових та ослаблених дерев немає. Можлива наявність залишків зруйнованих деревостой з дуже ушкодженими і такими, що відмирають, деревами.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### 6.5. Визначення фітомаси зелених насаджень

Рослини як первинні продуценти органічних речовин відіграють важливу роль у формуванні трофічних ланцюгів екосистем. Вони в процесі фотосинтезу акумулюють сонячну енергію, використовуючи неорганічні сполуки вуглекислий газ і воду. Отже, продуктивність рослин завжди пов'язана з інтенсивністю фотосинтезу, свідчить про специфічну властивість рослинної поверхні нарощувати листовий об'єм, тобто **фітомасу**.

Розрахунок сирової маси листя  $M_w$  кожного дерева на досліджуваній ділянці виконують за формулою Бабица, тобто:

$$M_{wi} = -1,307 + 0,93 D - 0,114 D^2 + 0,01 D^3, \quad (6.2)$$

де  $M_{wi}$  – маса листя на  $i$ -му дереві, кг;  $D$  – діаметр стовбура дерева на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту, см.

Розрахунок середнього значення запасу листя на одному дереві досліджуваної ділянки  $M_w^{cep}$  визначається за такою формулою:

$$M_w^{cep} = \sum M_{wi}/n, \quad (6.3)$$

де  $n$  – кількість дерев на ділянці.

Загальний запас сирової фітомаси на деревах ділянки розраховують за таким виразом:

$$M_{wxn} = M_w^{cep} \cdot n \quad (6.4)$$

Запас фітомаси перераховують на площу 1 га і визначають масу листя на території кожного тест-полігону та в усьому місті. Оскільки розрахунок сирової фітомаси проводиться без урахування рівня ушкодженості дерев, то цей показник приймають як потенційну величину фітомаси зелених насаджень.

## 6.6. Порівняльний аналіз стану зелених насаджень на досліджуваних полігонах

Для більш глибокого розуміння впливу техногенних факторів на довкілля, об'єктивного усвідомлення ролі захисних функцій рослинних організмів у збереженні екологічного балансу атмосферного повітря, можливості використання методів фітоіндикації з метою оцінювання рівнів ушкодження рослин від впливу антропогенних чинників проводять порівняльний аналіз стану зелених насаджень на досліджуваних тест-полігонах.

Результати розрахунків життєвого стану дерев і деревостою дослідного полігону за морфологічними ознаками записують у вигляді табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Результати визначення стану дерев у межах досліджуваної ділянки за морфологічними ознаками

| №        | Вид дерева | Обхват стовбура,<br>мм (на висоті 1,3 м) | Ступінь ушкодженості, % |     |     |     |      |
|----------|------------|------------------------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|------|
|          |            |                                          | 0                       | ≤30 | ≤60 | ≤95 | ≤100 |
| 1        |            |                                          |                         |     |     |     |      |
| 2        |            |                                          |                         |     |     |     |      |
| 3        |            |                                          |                         |     |     |     |      |
|          |            |                                          |                         |     |     |     |      |
|          |            |                                          |                         |     |     |     |      |
|          |            |                                          |                         |     |     |     |      |
| <i>n</i> |            |                                          |                         |     |     |     |      |

За отриманими даними зробити висновки про стан і рівень ушкодженості дерев і деревостою залежно характеру джерел забруднення та їхньої відстані.

## 7. ВИСНОВКИ

У цьому розділі курсової роботи рекомендовано:

- визначити переваги використання методів біоіндикації для спостереження за рівнем та інтенсивністю негативного впливу промислових об'єктів;

- визначити роль проведених досліджень у розробці рекомендацій щодо озеленення досліджуваних полігонів, для максимального забезпечення ними захисних функцій;

- визначити перелік рослин, здатних поглинати найбільш типові забруднювачі та зберігати стійкість до антропогенних умов;

- проаналізувати стан та рівень ушкодженості фітоіндикаторів та оцінити ступінь техногенного навантаження на територію тест-полігонів;

- розробити заходи щодо поліпшення екологічного стану територій (зокрема, зменшення шкідливих викидів, удосконалення системи пилогазоочистки на підприємствах, пилоподавлення на відвалах, та зменшення викидів спалювання хвостосховищ).

## 8. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Роботу необхідно здати за два тижні до завершення теоретичного курсу. Завідувач кафедри призначає дату та час захисту курсової роботи.

Для захисту курсової роботи студент повинен вільно володіти всім обсягом її матеріалу. Виконання цієї вимоги перевіряється постановкою контрольних питань в рамках всього обсягу роботи, зауваження по яких разом з певними попередніми зауваженнями по роботі викладач наводить у письмовому вигляді на зворотній стороні титульного аркушу, що слугує додатковою підставою для оцінювання курсової роботи.

Робота оцінюється на **відмінно**: якщо студент правильно визначив та охарактеризував джерело токсичних викидів, виконав необхідні виміри на тест-полігонах, склав карти-схеми моніторингових ділянок, визначив рівні ушкодженості фітоіндикаторів і запас зеленої фітомаси, оцінив антропогенну трансформацію урбоєкосистем і запропонував інноваційні природоохоронні заходи.

Робота заслуговує на оцінку **добре**: тоді, коли студент стисло охарактеризував джерело токсичних викидів, виконав необхідні виміри, склав карти-схеми моніторингових ділянок, визначив рівні ушкодженості фітоіндикаторів і запас зеленої фітомаси, оцінив ступінь антропогенної дії промислового об'єкта та запропонував типові природоохоронні заходи.

Робота оцінюється на **задовільно**: якщо в алгоритмах розрахунків ступеня ушкодженості біоіндикаторів і в складанні карт-схем виявлено недоліки, вибрані тест-полігони не мають чіткого обґрунтування, а рекомендації щодо розробки заходів запобігання негативним наслідкам від діяльності екологічно небезпечних об'єктів підприємства не завжди вдалі.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Розкрийте сутність поняття про біоіндикатори й фітоіндикатори?
2. Які морфологічні зміни виникають у рослин, що зростають у несприятливих екологічних умовах?
3. У чому полягає негативний вплив забруднюючих речовин на стан зелених насаджень у населених пунктах?
4. Яка специфіка впливу на довкілля окремих екологічно небезпечних промислових об'єктів?
5. Які функції виконують зелені насадження на території міста?
6. Яким чином визначають рівень ушкодженості окремих дерев і деревостою?
7. Яка методика обчислення об'єму фітомаси зелених насаджень на досліджуваній ділянці?
8. За яким принципом вибираються ділянки для дослідження?
9. Чим відрізняється здорове дерево від ушкодженого?
10. Як впливає рівень ушкодженості рослин на поглинання ними забруднюючих речовин?

11. Які заходи розробляються для покращення стану зелених насаджень в техногенно-навантажених зонах?

## ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шуберт, Р. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем [Текст] / Р. Шуберт. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
2. Розенберг, Г.С. Биоиндикация: теория, методы, приложения [Текст] / Г.С. Розенберг. – Тольятти: Интер-Волга, 1994. – 266 с.
3. Булохов, А.Д. Экологическая оценка среды методами фитоиндикации [Текст] / А.Д. Булохов. – Брянск: Изд-во БГПУ, 1996. – 104 с.
4. Бурда, Р.І. Біологічний моніторинг [Текст] / Р.І. Бурда. – К.: Вид. центр НАНУ, 2001. – 26 с.
5. Егорова, Е.И. Биотестирование и биоиндикация окружающей среды [Текст] / Е.И. Егорова, В.И. Белоліпецкая. – Обнинск: ИАТЭ, 2008. – 80 с.
6. Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации [Текст] / В.С. Николаевский. – Пущино: ВНИИЛМ, 2002. – 220 с.
7. Гелашвили, Д.Б. Экологический мониторинг. Методы биоиндикации [Текст] / Д.Б. Гелашвили. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1995. – Ч. 2. – 272 с.
8. Слободян, В.О. Біоіндикація [Текст]: навч. посіб. / В.О. Слободян. – Івано-Франківськ: Полум'я, 2004. – 196 с.
9. Криволуцкий, Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле [Текст] / Д.А. Криволуцкий. – М.: Наука, 1994. – 272 с.
10. Бурдин, К.С. Основы биологического мониторинга [Текст] / К.С. Бурдин. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 158 с.
11. Криволуцкий, Д.А. Биоиндикация и биомониторинг [Текст] / Д.А. Криволуцкий. – М.: Наука, 1991. – 288 с.
12. Федорова, А.И. Практикум по экологии и охране окружающей среды [Текст]: учеб. пособ. / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 1997. – 305 с.
13. Білявський, Г.О. Основи екології: теорія та практикум [Текст]: навч. посіб. / Г.О. Білявський, Л.І. Бутченко – К.: Лібра, 2004. – 368 с.
14. Біоіндикація. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» / А.І. Горова, А.В. Павличенко, О.О. Борисовська, В.Ю. Ґрунтова та ін.; – Д.: НГУ. – 2014. – 76 с.
15. Клименко, М.О. Моніторинг довкілля [Текст] / М.О. Клименко, А.М. Прищепа, Н.М. Вознюк – К.: Академія, 2006. – 360 с.
16. Гераськин, С.А. Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг [Текст]: учеб. пособ. для студ. высш. проф. образ. / С.А. Гераськин, Е.И. Сарапульцева, Л.В. Цаценко. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 208 с.
17. Екологічна біоіндикація [Текст] : практикум / Царенко О. М. [та ін.]; НАН України, Ін-т ботаніки ім. М. Г. Холодного, Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова, Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. - К. : [б. в.], 2011. - 600 с.
18. Біоіндикація [Текст] : метод. вказівки до лаб. і практ. занять / [уклад.: І.О. Ситнікова, У. В. Легета] ; Чернів. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича. – Чернівці : Рута, 2011. – 72 с.

**Зразок оформлення титульного аркуша курсової роботи**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Гірничий факультет  
Кафедра екології та  
технологій  
захисту навколишнього  
середовища

**КУРСОВА РОБОТА**

з дисципліни

«Біоіндикація»

на тему:

---

*Варіант* \_\_\_\_

Виконав: студент гр. \_\_\_\_\_  
(група)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали студента)  
Перевірив: \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище та ініціали  
викладача)

Дніпро  
(рік виконання)

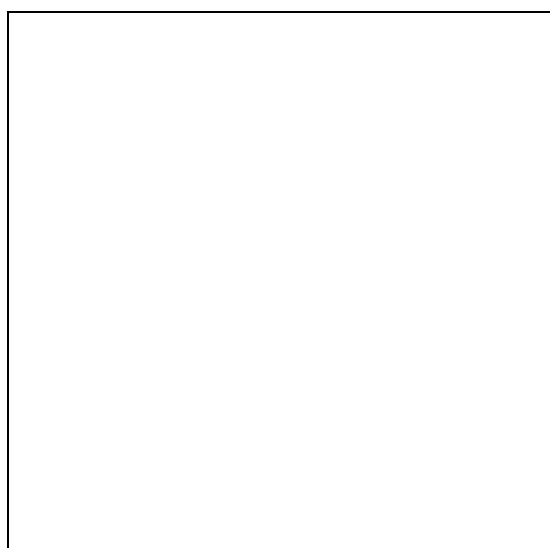
П.І.Б. \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

Назва тест-полігону \_\_\_\_\_

**Результати дослідження стану дерев у техногенно-навантаженій зоні за  
морфологічними ознаками**

| №  | Вид дерева | Обхват стовбура,<br>мм (на висоті 1,3 м) | Ступінь ушкодження, % |     |     |     |      |
|----|------------|------------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|------|
|    |            |                                          | 0                     | ≤30 | ≤60 | ≤95 | ≤100 |
| 1  |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 2  |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 3  |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 4  |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 5  |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 6  |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 7  |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 8  |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 9  |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 10 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 11 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 12 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 13 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 14 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 15 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 16 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 17 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 18 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 19 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 20 |            |                                          |                       |     |     |     |      |
| 21 |            |                                          |                       |     |     |     |      |

Карта-схема досліджуваної ділянки 20х20 м



(Підпис виконавця)

## ЗМІСТ

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ .....                                                                                             | 3  |
| 2. МЕТА Й ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ .....                                                                                | 4  |
| 3. СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ.....                                                                                       | 5  |
| 4. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ .....                                                                            | 6  |
| 5. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВИХ НАСЛІДКІВ<br>АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ РОСЛИН .....                 | 7  |
| 5.1. Вплив атмосферних забруднювачів на морфолого-фізіологічні<br>показники рослин .....                                | 7  |
| 5.2. Адаптивні властивості рослин.....                                                                                  | 13 |
| 5.3. Фільтрувальна здатність рослин.....                                                                                | 15 |
| 5.4. Газозахисна функція рослин.....                                                                                    | 17 |
| 6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....                                                                                       | 18 |
| 6.1. Об'єкти дослідження .....                                                                                          | 18 |
| 6.2. Оцінка життєвого стану дерев за рівнем і характером ушкодження<br>крони, стовбура та поверхні листя .....          | 18 |
| 6.3. Оцінювання стану зелених зон за морфологічними показниками .....                                                   | 18 |
| 6.4. Оцінка життєвого стану дерева за рівнем й характером пошкодження<br>крони, стовбура та поверхні листя рослин ..... | 20 |
| 6.5. Визначення фітомаси зелених насаджень.....                                                                         | 22 |
| 6.6. Порівняльний аналіз стану зелених насаджень на досліджуваних<br>полігонах .....                                    | 23 |
| 7. ВИСНОВКИ .....                                                                                                       | 23 |
| 8. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....                                                                             | 24 |
| КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ .....                                                                                                | 24 |
| ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                                  | 25 |
| Додаток А .....                                                                                                         | 26 |
| Додаток Б.....                                                                                                          | 27 |

**ПАВЛИЧЕНКО** Артем Володимирович  
**ЛИСИЦЬКА** Світлана Майорівна

**БІОІНДИКАЦІЯ.  
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ 101 «ЕКОЛОГІЯ» ТА  
183 «ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»**

Друкується в редакційній обробці автора

Підписано до друку 15.02.2018. Формат 30х42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,6.  
Обл.-вид. арк. 1,6. Тираж 30 прим. Зам. №767

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.