

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового
господарства та екології
Кафедра екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Арзанцева Ірина Сергіївна
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

УДК 574:58.632:59.636
(індекс)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Екологічна оцінка рівня забруднення в межах транспортних шляхів
біоіндикаційними методами
(тема роботи)

101 – екологія
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання
на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Никитюк Юрій Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)
доктор філософії в галузі
природничих наук, д.е.н.
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2022

Висновок кафедри _____

за результатами попереднього захисту: _____

Протокол засідання кафедри _____

№ _____ від « _____ » грудня 2022 р.

В.о. завідувача кафедри

к.с.-г.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

Піциль Андрій Орестович

(підпис)

(прізвище, ім'я, по батькові)

« _____ » грудня 2022 р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти Арзанцева Ірина Сергіївна захистила
(прізвище, ім'я, по батькові)

кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою _____

за шкалою ECTS _____

за національною шкалою _____

Секретар ЕК

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(прізвище, ім'я, по батькові)

АНОТАЦІЯ

Арзанцева І.С.: «Екологічна оцінка рівня забруднення в межах транспортних шляхів біоіндикаційними методами». Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 101 – екологія – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

У кваліфікаційній роботі розглядаються питання біоіндикаційних властивостей рослин-біоіндикаторів за впливу автотранспорту.

Встановлено, що біоіндикація стану атмосферного повітря за показником відсотку зрілого насіння бобів *Robinia pseudoacacia* L. дає можливість в короткі терміни інформативно оцінити екологічний стан атмосферного повітря на території вздовж автошляхів.

Також отримані дані значення показника відсотку зрілого насіння у бобах фітоіндикатора на досліджуваній ділянці вздовж автошляху майже у 3 рази нижчі, ніж у контрольному варіанті. Це дає вагомі підстави характеризувати атмосферне повітря вздовж автошляху як територію зі значним рівнем забруднення викидами шкідливих газів.

Встановлено, що метод цитогенетичного біотестування з застосуванням пилковий зерен рослин-біоіндикаторів *Hypericum perforatum* L., *Chelidonium majus* L., *Cerasus vulgaris* Mill. є якісно інформативним для оцінки екологічного стану атмосферного повітря за дії антропогенно навантажених територій.

Доведено, що значення морфометричних показників сосни звичайної варіюють у широкому діапазоні числових значень, проте рівень некротичних уражень хвої виявився найбільш інформативним біоіндикаційним показником.

У результаті дослідження визначено, що збільшення кількісної характеристики хвої з некротичними плямами порівняно з хвоєю відібраною на контрольній площі.

Встановлено, що показники нижчих значень абсолютно сухої ваги хвої, порівняно з контрольними екземплярами, є показником того, що фітоіндикатор сосна звичайна піддається неспецифічному впливу забруднень автотранспортом.

Ключові слова: біоіндикація, вплив автотранспорту, фітоіндикатори, показник ушкодженості екосистем, морфометричні показники.

ANNOTATION

Arzantseva I.S.: "Ecological assessment of the level of pollution within transport routes using bioindicative methods." Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 101 – ecology – Polissia National University, Zhytomyr, 2022.

In the qualification work, the issues of bioindicative properties of bioindicator plants under the influence of motor vehicles are considered.

It was established that the bioindication of the state of the atmospheric air based on the indicator of the percentage of mature seeds of beans *Robinia pseudoacacia* L. makes it possible to informatively assess the ecological state of the atmospheric air in the territory along the highways in a short period of time.

Also, the obtained values of the percentage of mature seeds in the beans of the phytoindicator in the studied area along the highway are almost 3 times lower than in the control variant. This gives good reasons to characterize the atmospheric air along the highway as a territory with a significant level of pollution by emissions of harmful gases.

It was established that the method of cytogenetic biotesting using pollen grains of bioindicator plants *Hypericum perforatum* L., *Chelidonium majus* L., *Cerasus vulgaris* Mill. is qualitatively informative for assessing the ecological state of atmospheric air due to the effects of anthropogenically loaded territories.

It has been proven that the values of morphometric indicators of Scots pine vary in a wide range of numerical values, but the level of necrotic lesions of the needles turned out to be the most informative bioindicative indicator.

As a result of the study, it was determined that the increase in the quantitative characteristics of needles with necrotic spots compared to the needles selected in the control area.

It was established that the indicators of lower values of absolutely dry weight of needles, compared to the control specimens, are an indicator that the Scots pine phytoindicator is exposed to a nonspecific effect of traffic pollution.

Key words: bioindication, impact of motor vehicles, phytoindicators, ecosystem damage indicator, morphometric indicators.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ I. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ МЕТОДІВ БІОІНДИКАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЇХ ВПЛИВУ.....	12
1.1. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря.....	12
1.2. Біоіндикація стану довкілля за допомогою рослин.....	19
РОЗДІЛ II. МЕТОДИКА ТА ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
2.1. Методика досліджень.....	24
2.2. Природно-кліматична характеристика регіону дослідження.....	30
2.3. Об'єкт досліджень.....	31
РОЗДІЛ III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	35
3.1. Біоіндикація стану атмосферного повітря за допомогою <i>Robinia pseudoacacia</i> L.....	35
3.2. Дослідження стерильності пилку фітоіндикаторів в зоні впливу автошляху.....	37
3.3. Біоіндикація стану атмосферного повітря за допомогою сосни звичайної <i>Pinus sylvestris</i> L.....	41
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Аналізуючи показники забруднення повітряного середовища Житомирської області, важливо акцентувати увагу також на зменшенні загальної кількості шкідливих викидів в атмосферне повітря від стаціонарних джерел за останні роки. Обсяг шкідливих викидів від стаціонарними джерел минулого року становив 11,8 тис. т., що на 7% нижчий, ніж у 2020 році. Звичайно в області, як і в Україні в цілому, спостерігається активне підвищення інтенсивності та обсягів шкідливих викидів забруднюючих речовин у повітря від пересувних джерел.

Автотранспорт, як і раніше є найбільшим забруднювачем атмосферного повітря Житомирської області. Слід зазначити, що в умовах переходу до ринкової економіки необхідність постійного збільшення автотранспортних перевезень обумовила зростання до 50–80 % внеску відпрацьованих газів у забруднення атмосферного повітря великих міст області, а відтак – і збільшення ризику для здоров'я населення. У відпрацьованих газах автомобільних двигунів налічується біля 100 різних компонентів, більшість з яких токсичні. Серед токсичних компонентів, які викидаються автотранспортом 73 % становлять оксиди вуглецю, 11 % - неметанові леткі органічні сполуки, 13 % - оксиди азоту, 1,6 % - сажа, 1,4 % - сірчистий ангідрид. Великий обсяг викидів від автотранспорту пояснюється, насамперед, збільшенням кількості приватного автотранспорту, експлуатацією технічно–застарілого автомобільного парку, використанням палива низької якості, аварійним станом доріг. Загальним збільшенням обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря пересувними джерелами області, що склало у 2020 році близько 4% (на 2,37 тис.т), пояснюється і збільшенням навантаження на 1 особу та на 1 км² території області у минулому році. Так, щільність викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від джерел забруднення у розрахунку на квадратний кілометр території області склала 2511,5 кг/км² (при 6655,3 кг/км² по Україні), що на 47 кг. на км² (2%)

більше ніж у минулому році. В розрахунку на душу населення щільність викидів забруднюючих речовин від джерел забруднення області склала 62,66 кг/чол. (при 96,7 кг/чол. по Україні), що на 2,47 т. на особу (4%) більше ніж у 2019 році.

В даній кваліфікаційній роботі оцінили рівень негативного впливу автотранспорту на рослини-біоіндикатори, які зростають на узбіччі автошляху.

Актуальність теми полягала у визначення рівня негативного впливу викидів автотранспорту на морфологічні та генеративні характеристики рослин-біоіндикаторів.

Мета і завдання. Метою кваліфікаційної роботи є визначення рівня впливу автотранспорту на екологічний стан атмосферного повітря та природного середовища в цілому.

Відповідно до мети нами були поставлені наступні *завдання*:

- дослідити та проаналізувати вплив забруднення атмосферного повітря вздовж автошляху за показником зрілості насіння рослин-біоіндикаторів;
- дослідити та проаналізувати вплив забруднення атмосферного повітря вздовж автошляху за показником стерильності пилкових зерен рослин-біоіндикаторів;
- дослідити та проаналізувати вплив забруднення атмосферного повітря вздовж автошляху за морфометричними показниками хвої рослин-біоіндикаторів;
- оцінити якість отриманих результатів і ефективність обраних рослин-біоіндикаторів для дослідження впливу забруднення атмосферного повітря вздовж автошляху та природного середовища в цілому.

Об'єкт досліджень – рослини-біоіндикатори звіробій звичайний *Hypericum perforatum* L., чистотіл великий *Chelidonium majus* L., вишня звичайна *Cerasus vulgaris* Mill., акація біла *Robinia pseudoacacia* L., сосна звичайна *Pinus sylvestris* L..

Предмет досліджень – морфометричні показники, стерильність пилоквих зерен, рівень дозрівання насіння, негативних вплив викидів шкідливих газів автотранспорту.

Методи досліджень:

- польовий метод – відбір квітів, хвої, бобів на дослідних ділянках;
- лабораторний метод – визначення рівня стерильності пилоквих зерен, відсотку зрілості насінин у бобах, вимірювання морфометричних характеристик хвої;
- математичний метод – розрахунки значень індексів ушкодженості екосистем, відсотку зрілості насінин, морфометричних показників хвої;
- статистичний метод – встановлення достовірності отриманих результатів.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Nikityuk Yu.A., Arzantseva I.S. The impact of motor vehicle emissions on the ecological state of the natural environment using plant bioindicators. Science of Europe. No. 11/2022. P. 23 - 28.

Nikityuk Yu.A., Arzantseva I.S. Assessment of the impact of motor vehicles on the sterility indicators of pollen grains of bioindicator plants. Scientific Bulletin of the Netherlands. No. 10/2022. P. 11 - 15.

Nikityuk Yu.A., Arzantseva I.S. Change in morphometric indicators of needles under the influence of motor vehicle emissions. Materials of the II International Scientific and Practical Conference "Problems of Modern Science", November 9, 2022. Wroclaw. P. 9 - 10.

Практичне значення отриманих результатів.

Використовувати результати досліджень можливо практиці екологічного моніторингу природного середовища в зоні впливу викидів автотранспорту вздовж автошляхів за комплексом біоіндикаційних методів, що дає змогу об'єктивно оцінити екологічний стан природного середовища.

У роботі використано ефективні біоіндикаційні методи для оцінки

екологічного стану рослин узбіч автошляхів, які зазнають потужного негативного впливу.

Запропонований комплекс методів біоіндикаційних досліджень для екологічного моніторингу стану природного середовища в зоні впливу діяльності автотранспорту, що може бути застосований для оцінки екологічного стану території впливу викидів автотранспорту в будь-якому регіоні України.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновку, додатків. Викладена на 51 сторінці комп'ютерного тексту. Робота містить 9 таблиць, ілюстрована 5 рисунками. Список використаної літератури нарахує 40 літературних джерела.

РОЗДІЛ І

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ МЕТОДІВ БІОІНДИКАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЇХ ВПЛИВУ

1.1. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря

Атмосферне повітря є найважливішим життєво важливим елементом природного середовища. Атмосферне повітря – це природна суміш газів. Атмосфера, як один з основних елементів глобальної екосистеми, може виконувати основні функції, такі як: захист живих організмів від негативного впливу випромінювань; регуляція сезонних та добових коливань температури; ефективний носій теплової енергії та вологи; являється депо газів, що беруть активну участь у процесі фотосинтезу та забезпечують процеси дихання; зумовлення ряду масштабних екзогенних процесів (діяльність природних вод, мерзлоти, льодовиків тощо) [1, 6, 12, 20].

Основними активними компонентами атмосфери є азот (78,08%), кисень (20,95 %) та аргон (0,93 %), окрім того, досить важливу роль відіграють і «малі домішки»: CO₂, CH₄ та ін. Хімічний склад атмосферного повітря це результат процесів життєдіяльності живих організмів. Атмосферне повітря є також і досить цінним економічним природним ресурсом, активні елементи, які є в його складі, можуть бути використані для виробництва продукції в різноманітних сферах діяльності, таких як: хімічна, металургійна промисловості, машинобудування, енергетика та ін. [20, 24, 25, 28, 31]

Окрім того, атмосферне повітря є потужним природним резервуаром для викидів забруднюючих речовин.

Забруднення атмосферного повітря – це будь-який рівень зміни складу і фізико-хімічних властивостей, які чинять негативний вплив на здоров'я людини і тварин, рослинного покриву та загалом екосистем, та спричинене викидами в атмосферу значних концентрацій хімічних речовин, твердих

частинок і негативно діючих біологічних матеріалів, які здатні спричиняти шкоду всім живим організмам [6, 11, 12, 16, 18, 35, 37].

Досить розповсюдженим є ефект забруднювачів, що називають «непрямим» через проявлення його лише через певний час, для наприкладу, певні види речовин здатні впливати на зменшення товщини озонового шару, що в подальшому спричиняє значний негативний на більшість земних екосистем.

Основними видами антропогенного забруднення повітря на сьогодні є різноманітні галузі промислового виробництва: підприємства металургійного комплексу, теплоенергетика, промисловість нафтовидобування, нафтохімічна, автотранспортні засоби, виробництво різних видів будівельних матеріалів. Як відзначається в ЗУ «Про Основну стратегію державної екологічної політики України на період до 2030 року», саме інтенсивне забруднення атмосферного повітря найгостріша і наймасштабніша екологічна проблема сьогодення. Рівень забруднення атмосферного повітря на сьогодні все ще досить високий, хоча в Україні відмічається спад виробництва та зниження рівня обсягів забруднюючих викидів від стаціонарних джерел, що становить на 91,0 тис.т або на 2,22% нижчий рівень порівняно з показниками дворічної давнини [6, 11, 14, 15, 24, 31, 32].

Аналізуючи показники забруднення повітряного середовища Житомирської області, важливо акцентувати увагу також на зменшенні загальної кількості шкідливих викидів в атмосферне повітря від стаціонарних джерел за останні роки. Обсяг шкідливих викидів від стаціонарними джерел минулого року становив 11,8 тис. т., що на 7% нижчий, ніж у 2020 році. Звичайно в області, як і в Україні в цілому, спостерігається активне підвищення інтенсивності та обсягів шкідливих викидів забруднюючих речовин у повітря від пересувних джерел (за даними Державної служби статистики України).

Динаміка викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря у 2021 році показує 74,91 тис.т. забруднюючих речовин, що майже на 2 % більше, ніж

відповідні показники 2019 року. Одночасно важливо відмітити зменшення обсягів шкідливих викидів у 2021 році від діяльності підприємств, які були на державному обліку відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 13.12.2001 №1655 «Про затвердження Порядку ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря».

Важливими узагальнюючим фактором, що характеризує екологічний стан повітряного середовища є показник загального обсягу забруднюючих шкідливих речовин, які надійшли і розраховуються у варіанті на одного мешканця та на 1 км² території. Щільність шкідливих викидів від стаціонарних джерел забруднення на квадратний кілометр території області на 21 місці по Україні.

Автотранспорт, як і раніше є найбільшим забруднювачем атмосферного повітря Житомирської області. Слід зазначити, що в умовах переходу до ринкової економіки необхідність постійного збільшення автотранспортних перевезень обумовила зростання до 50–80 % внеску відпрацьованих газів у забруднення атмосферного повітря великих міст області, а відтак – і збільшення ризику для здоров'я населення. У відпрацьованих газах автомобільних двигунів налічується біля 100 різних компонентів, більшість з яких токсичні [7, 9, 13, 14, 17, 30, 36, 38, 39]. Серед токсичних компонентів, які викидаються автотранспортом 73 % становлять оксиди вуглецю, 11 % - неметанові леткі органічні сполуки, 13 % - оксиди азоту, 1,6 % - сажа, 1,4 % - сірчистий ангідрид. Великий обсяг викидів від автотранспорту пояснюється, насамперед, збільшенням кількості приватного автотранспорту, експлуатацією технічно–застарілого автомобільного парку, використанням палива низької якості, аварійним станом доріг. Загальним збільшенням обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря пересувними джерелами області, що склало у 2020 році близько 4% (на 2,37 тис.т), пояснюється і збільшення навантаження на 1 особу та на 1 км² території області у минулому році. Так, щільність викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від джерел забруднення у розрахунку на квадратний кілометр території області

склала 2511,5 кг/км² (при 6655,3 кг/км² по Україні), що на 47 кг. на км² (2%) більше ніж у минулому році. В розрахунку на душу населення щільність викидів забруднюючих речовин від джерел забруднення області склала 62,66 кг/чол. (при 96,7 кг/чол. по Україні), що на 2,47 т. на особу (4%) більше ніж у 2019 році (за даними Державної служби статистики України).

Вплив забруднюючих речовин на здоров'я людини та біорізноманіття. Забруднення атмосферного повітря за ступенем хімічної небезпеки для живих організмів посідає одне з перших місць. Це обумовлено в першу чергу тим, що забруднюючі речовини з атмосферного повітря мають найбільш широке розповсюдження та випадають у різні середовища. Наприклад, атмосферні опади дають до 10 % забруднення водних об'єктів, значно забруднюють ґрунти. Крім того, людина споживає за добу і в цілому за життя в об'ємному відношенні повітря набагато більше, ніж води і їжі. В той же час, природа поставила істотні захисні бар'єри для шкідливих речовин, що потрапляють до організму через шлунково-кишковий тракт, не забезпечивши таким же надійним захистом легені. Забруднення атмосферного повітря супроводжується виникненням стійких аномалій забруднювачів у ґрунтах, природних та підземних водах, на життєдіяльність та існування рослин, тварин та людини [7, 9, 13, 14, 17, 30, 36, 38, 39]. Основними видами викидів в Житомирській області є оксиди азоту, оксид вуглецю, діоксид сірки, пил, аерозолі. Окиси азоту чинять нищівну дію рослинність регіону. Наприклад, встановлено, що в лісах липа характеризується активними процесами росту до 150 років, а в умовах урбоекосистем – всього 45 – 50 років.

Для рослинних організмів шкідливий вплив спричиняється в найбільшій мірі сполуками сірки, окисом вуглецю, хлором і вуглеводами. Відмічено випадки загибелі рослин поблизу автотранспортних доріг зі значною інтенсивністю руху. Проникаючи у продихи і всередину листків, пил та шкідливі речовини зі складу газів автотранспорту утруднюють їх функції, руйнують хлорофіл і провокують «спалювання» тканин рослин. Живі організми надзвичайно чутливі, як до діоксиду сірки, так і до сірчистої та

сірчаної кислот, що утворюються при контакті цього оксиду з вологою в атмосфері [2 – 4, 6, 9, 11, 16, 18, 19, 22]. Діоксид сірки розноситься на великі відстані, випадаючи в остаточному підсумку у вигляді кислотних дощів. В Житомирській області протягом останніх років не зафіксовано опади з кислотою реакцією (рН становив 6,9 – 7,2). Особливу небезпеку для природного середовища поряд з іншими мають канцерогенні сполуки – високотоксичні речовини, особливо бензапирен та свинець [20, 24, 27, 36, 38]. Експериментально було розраховано, що з вихлопними газами автотранспорту в атмосферне повітря потрапляє близько 25 % свинцю, який міститься у паливі. Окрім того, близько 40 % часток свинцю з відпрацьованих газів діаметром менше 5 мкм, що дозволяє їм досить тривалий час перебувати у завислому стані та проникати з атмосферним повітрям в органи дихання людини. За минулі роки в області не виявлено чіткої кореляції між рівнями забруднення довкілля і рівнем захворюваності.

На жаль, екологічний стан природного середовища в Україні показує тенденцію до погіршення з кожним роком. Досить різка зміна кліматичних умов, погіршення якості атмосферного повітря, водного середовища, ґрунту – основні глобальні проблеми України.

Автотранспорт, а особливо його кількість на сьогодні, є вагомим джерелом забруднення природного середовища. На частку викидів автомобільного транспорту припадає більше 50% усіх шкідливих забруднюючих речовин у природне середовище, що є основним джерелом забруднення атмосферного повітря, особливо на великих магістралях та у густонаселених містах [7, 9, 13, 14, 17, 30, 36, 38, 39]. При пробігу автомобіля в середньому 15 тис. км за рік спалюється 2 т палива і близько 27 т повітря (4,5 т кисню), що в 50 разів перевищує потреби людини. При цьому кожен автомобіль викидає в атмосферне повітря 700 кг/рік чадного газу, 40 кг/рік діоксиду азоту, 230 кг/рік незгорілих вуглеводнів та 2 – 5 кг/рік твердих речовин.

Автотранспорт забруднює атмосферне повітря 3 способами: емісією шкідливих речовин з відпрацьованими газами, проривом газів у картер двигуна й емісією шкідливих речовин у результаті випару палива в паливних баках, карбюраторах та у результаті витоків палива. Найшкідливішим варіантом є перший, частка якого складає близько 70% забруднюючих викидів автотранспорту в атмосферне повітря [7, 9, 17, 30, 38, 39].

Основними низькотоксичними компонентами відпрацьованих газів автомобільного транспорту є кисень, азот, пари води і вуглекислий газ. На сьогодні можливо визначити близько 200 шкідливих речовин від використання автотранспортних засобів, більшість з яких небезпечні для здоров'я та життя людини. До найбільш токсичних забруднюючих речовин відносяться: оксиди азоту, оксиди вуглецю, вуглеводні, альдегіди, сажа, сірчистий газ, бензапірен та ін.

Основними забруднювачами ґрунтів виступають метали та їх сполуки. Наймасштабніший небезпечний характер проявляється при забрудненні ґрунтів свинцем. Сполуки свинцю застосовують як одну з добавок до бензину, саме тому автотранспортні засоби є небезпечним джерелом забруднення свинцем [14, 17, 30, 36, 38, 39].

Забруднення водних екосистем відходами експлуатації транспортних засобів впливає на процеси інтенсивної зміни фізико-хімічних (збільшення концентрації хлоридів, сульфатів, токсичних важких металів, нітратів, зниження концентрації розчиненого кисню у питній воді) і органолептичних властивостей (порушення показників прозорості, забарвлення, запаху та смаку). Транспортна мережа в Україні доволі інтенсивна, кількість та активність руху автотранспортних засобів в містах досить велика і, відповідно, завдає значної шкоди довкіллю [36]. Основними причинами забруднення атмосферного повітря автотранспортом є застарілі конструкції двигунів, значна кількість використання палива (саме бензинових авто значна кількість, а не тих, що використовують газ чи інші, менш токсичні речовини), погана організація руху в містах, особливо на перехрестях. Аналіз відомих заходів

щодо зниження рівня токсичності відпрацьованих газів автотранспорту дозволяє виокремити наступні важливі напрями боротьби з негативним впливом автомобільного транспорту на природне середовище: застосування нових типів устаткування з мінімізацією рівня викидів шкідливих речовин; заміна і вдосконалення робочих процесів, конструкцій, технологій виробництва автомобільного транспорту з акцентом на зниження рівня токсичності відпрацьованих газів; використання дієвих пристроїв для очищення або нейтралізації відпрацьованих шкідливих газів [13, 14, 17, 36, 38, 39].

Для автотранспортних засобів з бензиновими двигунами найефективніші нейтралізатори каталітичної дії, а для автомобілів з дизельними двигунами необхідно застосовувати фільтри, з функцією очистки відпрацьованих газів від сажі; використання видів альтернативного палива або зміна характеристик існуючого.

Отже, для зменшення негативного впливу складових частин транспортних комплексів на природне середовище в Україні в першу чергу необхідно:

1. Запровадити жорсткий контроль за дотриманням допустимих норм концентрацій шкідливих викидів в атмосферне повітря.
2. Встановити контроль на всіх етапах з метою дотримання екологічних норм в процесі будівництва та експлуатації транспортної інфраструктури.
3. Проводити регулярний щорічний контроль за технічним станом автотранспортних засобів.
4. Внести в пропозицію на ринку нових якісних паливно-мастильних речовин, які характеризуються меншою концентрацією домішок.
5. Вирішення екологічних проблем – це впровадження комплексу заходів, які спрямовані на зниження рівня токсичності автотранспорту.

1.2. Біоіндикація стану довкілля за допомогою рослин

На сьогодні значна увага приділяється використанню методів біоіндикації для оцінки наявності забруднення природного середовища, що пояснюється високим рівнем чутливості рослин та відповідними специфічними реакціями за впливу конкретних речовин, високим рівнем інтенсивності газообміну з природним середовищем, що в десятки разів перевищує рівень чутливості, ніж наявний у представників тваринного світу [2, 3, 11, 14, 16].

Методи біоіндикації відзначаються значними перевагами як методи отримання швидкої безпосередньої інформації щодо зміни стану біоти в умовах забруднення, проте важливо поєднувати дослідження з хімічними та геофізичними методами для подальшого отримання не лише якісних, але і кількісних характеристик [2 – 4, 11, 14, 16, 18, 19, 21, 33, 35].

Біоіндикаційні зміни в екологічній системі завжди залежать від сукупного впливу антропогенних і природних факторів довкілля. Дана система показує реакцію на вплив в цілому та в сукупності з внутрішніми факторами, такими як спосіб живлення, вікова характеристика, генетично-контрольована стійкість і порушення популяційних характеристик екологічної системи [11, 14, 23, 27, 33, 36].

Концепція біоіндикації базується на адекватній реакції живих організмів на зміну умов природного середовища, в яких він на даний момент розвивається і, на зміну яких реагує відповідним специфічним чином. Давні спостереження людини привели до використання для практичних цілей здатності деяких видів рослин відповідним специфічним чином реагувати у відповідь на дію змін факторів природного середовища (зміна процесів і періоду цвітіння, швидкості росту, інтенсивності забарвлення та ін.) [2 – 4, 14, 18, 21, 27, 36].

Біоіндикаційні методи мають ряд важливих переваг [2 – 4, 16, 18, 21, 23, 35, 36]:

- ймовірність оцінки суммарного ефекту зовнішньої дії природного середовища;
- визначення інтенсивності впливу забруднення на рослини: встановлення характеру та інтенсивності біологічної дії фізичних і хімічних забруднювачів природного середовища;
- високий рівень чутливості.

Інформативним показником для визначення наявності рівня ушкодження екосистем є рослини [2 – 4, 14, 18, 21, 27, 36]. Велика площа контакту з органами та інтенсивний рівень газообміну з природним середовищем дають можливість проявити їх високий рівень чутливості за дії різних типів забруднюючих речовин. Проте, варто відзначити, що людина і тварини можуть адаптуватися до рівня вмісту кисню в атмосферному повітрі на рівні приблизно 21 %, в той час, як рослинні організми з їх розвиненим асиміляційним апаратом здатні пристосуватися до значно нижчих рівнів концентрацій в атмосферному повітрі вуглекислого газу – приблизно 0,03%, і саме тому проявляють надзвичайну чутливість до зміни концентрацій шкідливих забруднюючих речовин у повітрі.

В біоіндикаційних цілях для виявлення наявності забруднення природного середовища особливу увагу серед деревних порід приділяють хвойним видам, в першу чергу, сосні звичайній *Pinus sylvestris* L., що характеризується найбільшим рівнем чутливості до забруднення атмосферного повітря [35, 36].

За впливу забруднення природного середовища відбуваються зміни еколого-фізіологічні показників – пігментації та забарвлення вегетативних органів рослин [35].

Основними характерними ознаками негативного впливу забруднювачів природного середовища, а, в першу чергу, газового складу атмосферного повітря, є поява некрозів і хлорозів різного роду, зменшення довжина хвої,

товщини пагонів, розміру шишок, зменшення частоти та величини бруньок, незвичний тип галуження.

В зв'язку зі зменшенням інтенсивності росту пагонів і хвої в довжину, в зоні забруднення характерним показником є зменшення відстані між хвоїнками, потовщення та вкорочення хвої, зменшення тривалості «життя» хвої, що становить до 1–3 років в забрудненій зоні порівняно з 6–7 років – в чистій.

Забруднення повітряного басейну значним чином негативно впливає на продуктивність і схожість насіння [2 – 4, 16, 23].

Основною характерною ознакою негативного впливу є порушення оптимального рівня функціонування провідних судин рослин, зменшення в 2 рази довжини хвої та специфічні якісні морфологічні прояви, такі як некротичні розсіяні плями, які можуть бути діаметром до 1–1,5 мм чи відмерлі верхівки хвої. В останньому варіанті відмерла апікальна частина хвої зеленувато-жовтого чи жовтувато-сірого кольору відділяється від здорової частини пояском коричневого забарвлення, який має ширину до 1,0 мм.

Гостре ураження, за негативного впливу забруднюючих речовин атмосферного повітря, у хвойних деревних рослин проявляється верхівковим некрозом червонувато-коричневого або коричневого кольору, що в подальшому розповсюджується до основи хвої [35].

Фітотоксичні речовини потрапляють у провідні судини рослин, у яких проходить їх відтік та подальше поступове накопичення на верхній частині хвої. При досягненні рівня концентрацій, що значно перевищують рівень нейтралізуючої здатності хвої відбуваються критичні незворотні структурні зміни асиміляційних тканин рослини, що супроводжується повним закупоренням провідних судин і є основною причиною мінерального голодування рослини та подальшого відмирання хвої. Утворення різних типів некротичних плям на середній частині хвої не являється специфічною реакцією на забруднювачі атмосферного повітря, оскільки такі ж патологічні

зміни можуть виникати за різних стресових впливів, які спричинені впливом абіотичних факторів [35].

Таким чином, найбільш характерною чутливою реакцією хвойних рослин на впливи стресових факторів антропогенної природи є закупорювання смоляних ходів з подальшим процесом некротизації верхівки хвої та повне її відмирання.

Для дослідження специфічних фізіологічних реакцій деревних рослин на дію стресових факторів урбанізованого середовища та подальшої оцінки на їх стану використовують комплексні морфометричні методи [35].

Вплив антропогенних факторів будь-якої інтенсивності має у рослин чітко виражений морфологічний ефект, що дозволяє провести досить точну неспецифічну біоіндикаційну оцінку якості природного середовища за умов використання лише морфометричних показників. Найбільш інформативними можна вважати ті, які корелюють із показником величини первинної продукції та є характерними в процесі газообміну у системі «рослина – середовище» [1, 5, 6, 35].

Процес розмноження рослин насіннєвим способом і відтворення якісного складу рослинного покриву є поширеним явищем у природі. Від генетичних та посівних якостей насіннєвого матеріалу залежить рівень життєздатності сіянців та рівень стійкості молодих деревних насаджень [2 – 4, 35].

Дуже важливою є проблема негативного впливу антропогенних чинників природного середовища на спадковий апарат та рівень репродуктивної здатності рослин. Відомо, що репродуктивні структури, а особливо чоловічий гаметофіт, найбільш чутливі до негативної дії токсичних речовин. Дане явище активно спостерігається в збільшенні показника кількості стерильних пилкових зерен та зниженні їх рівня фертильності. За впливу негативних факторів проявляється морфологічна різноякісність пилкових зерен, виявлення зморщених, нежиттєздатних, гігантських зерен, що є наявною характеристикою токсичного та мутагенного впливу природного середовища.

Отже, серед великої кількості аналітичних, хімічних, мікробіологічних методів на сьогодні актуальності набуває біологічна індикація, тобто метод оцінки стану природного середовища за специфічною реакцією живих організмів. Рослинні організми є особливо придатними для виявлення початкових та незворотніх шкідливих змін у складі повітряного басейну і є основними якісними біоіндикаторами не лише атмосферного забруднення, а забруднення території в цілому [2 – 4, 11, 14, 16, 18, 19, 21, 23, 35, 36].

РОЗДІЛ II

МЕТОДИКА ТА ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика досліджень

Дослідження проводили на визначеній дослідній ділянці вздовж автошляху (площею 200×200м) в Новоград-Волинському районі Житомирської області (с. Зеремля). Для контролю була обрана ділянка з такими ж ґрунтово-кліматичними умовами на відстані 1000 м від автошляху, яка не зазнавала антропогенного впливу.

Дослідження проводились в червні-вересні 2022 року.

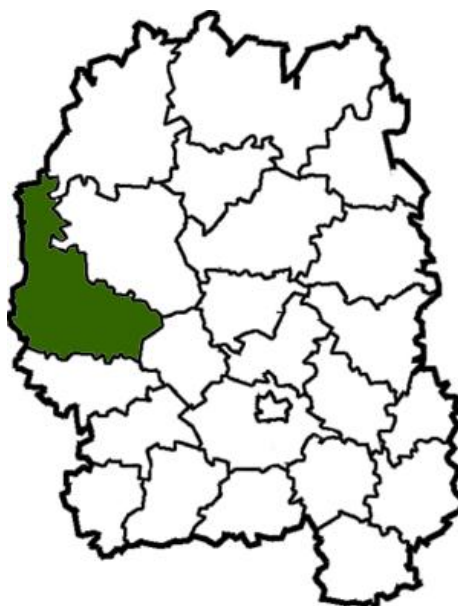


Рис. 2.1. Новоград-Волинський район на карті Житомирської області

Методика оцінки токсичності атмосферного повітря. При дослідженні екологічного стану повітряного середовища вздовж автошляху застосовували біоіндикаційні методи за допомогою *Robinia pseudoacacia* L. Боби *Robinia pseudoacacia* L. збирали у жовтні 2022 року. У зібраних бобах вираховували загальну кількість утворених насінневих зачатків і кількість із них, які перетворилися на зріле насіння. Згідно методики проводили розрахунок відсотку зрілих насінин *Robinia pseudoacacia* L. [35].

Відбір репродуктивного матеріалу (квітів) фітоіндикаторів проводили в зоні впливу автотранспортного шляху, що знаходилися на ті й же дослідній ділянці. Під мікроскопом переглядали до 100 пилкових зерен з кожної рослини при збільшенні 7×40 . За застосування йодного розчину фертильні пилкові зерна за Грамом зафарбовувались у різні відтінки коричневого кольору, а стерильні не зафарбовуються або утворювали фрагментарне забарвлення до 30 %, при цьому забарвлення проявлялося блідо-жовтого кольору.

Забруднення атмосферного повітря визначали за методом використанням тесту "Стерильність пилку рослин" [26].

Визначення стерильності пилкових зерен вираховували у відсотках.

Показник стерильності – це $M \pm m$, де $m < M$, яку обчислювали за формулами 2.1, 2.2:

$$M = G \cdot 100 / N \quad (2.1)$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{M \cdot (100 - M)}{N}}, \quad (2.2)$$

де m – показник вірогідності підрахунку

M – кількісний або відсотковий показник стерильності клітин відносно загальної кількості досліджених пилкових зерен;

G – стерильні пилкові зерна;

N – загальна кількість зерен.

Збільшення кількісного показника стерильних пилкових зерен є ознакою підвищення рівня токсичності атмосферного повітря.

Аналіз характеристики груп фітоіндикаторів за показниками рівня стерильності (чутливості) клітин пилкових зерен в відносно екологічно чистих ($\Pi_{\text{комф.}}$) і максимально забруднених ($\Pi_{\text{крит.}}$) регіонах визначали за даними, які наведені в табл. 2.1.

**Характеристика фітоіндикаторів різних груп чутливості (стійкості)
за ознакою "Стерильність пилку рослин" [26]**

№ групи	Характеристика групи чутливості	Стерильність пилку, %	
		П _{комф.}	П _{крит.}
1	Високостійкі	0,2±0,14	10,0±0,95
2	Стійкі	0,5±0,22	20,0±1,26
3	Середньостійкі	1,0±0,30	30,0±1,45
4	Чутливі	1,5±0,38	40,0±1,55
5	Високочутливі	2,0±0,44	50,0±1,58

Також проводили оцінку екологічного стану атмосферного повітря за умовним показником ушкодженості (УПУ) фітоіндикаторів та інтегральним показником (ІУПУ), що є досить інформативною характеристикою рівня токсичності атмосферного повітря на досліджуваній ділянці [26, 35].

Методика інтегральної оцінки якості природного середовища за показником токсико-мутагенного фону. Дана методика актуальна у зв'язку з тим, що більшість біоіндикаційних показників мають свої одиниці виміру, їх необхідно привести в єдину загальну безрозмірну систему умовних показників для визначення рівня ушкодженості (УПУ) екосистем. Дане узагальнення дає можливість виконувати інтегральну оцінку екологічного стану природного середовища за токсико-мутагенним фоном і визначати відповідні рівні екологічної небезпеки для біоти та людини. Умовний показник ушкодженості (УПУ) фітоіндикаторів визначали за наступною формулою:

$$УПУ_i = \frac{/ P_{реал} - P_{комф} /}{/ P_{крит} - P_{комф} /}, \quad (2.3)$$

де $P_{комф}$ і $P_{крит}$ – експериментально визначені показники біопараметра в комфортних та критичних умовах існування відповідно;

$P_{реал}$ – реальний показник значення біопараметру в варіанті дослідження.

Показник абсолютної різниці $|P_{крит} - P_{комф}|$ показує ймовірну наявну амплітуду зміни чисельного значення параметра за впливу негативних факторів природного середовища. Визначаючи показник реального значення біопараметра на території дослідження P_i та знаючи значення показників $P_{комф}$ і $P_{крит}$, оцінюють ступінь варіації зміни параметра за впливу негативних факторів середовища. Показник різниці параметрів $|P_i - P_{комф}|$ показує рівень або ступінь порушення біопараметра за впливу негативних факторів.

Оскільки екологічна характеристика стану об'єктів природного середовища характеризується набором відповідних ознак, їх можна описати математично за допомогою інтегрального показника:

$$IУПУ_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n УПУ_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{|P_{реал} - P_{комф}|}{|P_{крит} - P_{комф}|} \right]_i, \quad (2.4)$$

де $IУПУ_i$ – один з визначених інтегральних умовних показників ушкоджень екологічного стану природного середовища;

$P_{комф}$, $P_{крит}$, $P_{реал}$ – комфортне, критичне і реальне значення відповідно одного з n параметрів.

Показники значення умовних показників ушкодженості ($УПУ$ та $IУПУ$) може змінюватися в межах від 0 (комфортні для оптимальної життєдіяльності умови) до 1 (критичні умови існування). Для оцінки показника рівня ушкодженості об'єктів природного середовища використовували єдину уніфіковану шкалу, яка представлена в табл. 2.2.

За показники нормативних значень рівня ушкодженості для всіх досліджуваних біопараметрів, які відповідають умовам стійкого розвитку території, визначили 30 %-й рівень ($УПУ_{норм} = 0,300$), що знаходиться в межах гомеостазу екосистем та за якого ймовірно їх подальше відновлення після припинення дії негативних чинників.

Для більш точних характеристик ввели ще коефіцієнти значущості для всіх встановлених складових екосистеми. Більші значення коефіцієнтів встановлюють для найбільш чутливих параметрів до впливу несприятливих факторів природного середовища. За формулами (2.3) визначали показники

(2.5) і (2.6), за якими проводили обчислення нормативних значень $P_{норм}$ за умови $УПУ=0,300$:

$$P_{норм} = 0,3 \cdot (P_{крит} - P_{комф}) + P_{комф} , \quad (2.5)$$

$$P_{норм} = P_{комф} - 0,3 \cdot (P_{комф} - P_{крит}) . \quad (2.6)$$

Таблиця 2.2

Уніфікована шкала оцінки характеру стану об'єктів природного середовища за токсико-мутагенним фоном [35]

Категорія безпеки досліджуваних територій	Діапазон показників умовного показника ушкодження	Ознаки прийняття управлінських рішень		
		Рівень ушкодженості екосистем	Стан екосистем	Види управлінських екологічних рішень
Безпечна	0,000–0,250	Низький	Еталонний	Визначення еталонних територій з показниками $УПУ \leq 0,150$, які потребують особливого виду охорони і є еталонними при порівняльному використанні для контролю
Помірно небезпечна	0,251–0,500	Допустимий	Конфліктний	Визначення територій з показником рівня ушкодженості екосистем з $УПУ \leq 0,300$, визначення причин і ступеню відхилення від еталонних показників та засобів для досягнення нормативних показників
Небезпечна	0,501–0,750	Середній	Критичний	Визначення джерел і компонентного складу основних забруднювачів, розробка реабілітаційних заходів щодо покращення стану природного середовища і екосистем
Надзвичайно небезпечна	0,751–1,000	Високий	Загрозливий	Визначення площі території з катастрофічним екологічним станом. Розробка цілеспрямованих управлінських заходів щодо термінового відновлення екологічного стану критичних територій та екосистем

Значення інтегрального показника, який характеризує стан природного середовища за показником загального токсико-мутагенного фону встановлювали за формулою:

$$IУПУ_{\text{біоінд}} = (IУПУ_1 + IУПУ_2) / 2, \quad (2.7)$$

де $IУПУ_1$, $IУПУ_2$ – значення інтегральних показників біоіндикації стану атмосферного повітря та педосфери відповідно.

Відповідно до уніфікованої шкали за показниками цитогенетичної оцінки визначали стан як окремих об'єктів природного середовища, так і стан природного середовища в цілому за показником токсико-мутагенного фону.

Методика визначення екологічного стану природного середовища за комплексом морфологічних ознак (хвої, пагонів, бруньок) у *Pinus sylvestris* L. (сосни звичайної). Для проведення дослідження зрізали гілки умовно одновікової сосни звичайної, найбільш поширеної у даній місцевості довжиною 10 см. Гілки (10 шт. на дослідній і контрольній ділянках) зрізали на висоті 1.5 м із частини крони, яка розміщення ближче до автошляху. Контрольним варіантом слугували гілки з дерев, які зібрані на контрольній ділянці [35].



Рис. 2.2. Верхівковий некроз хвої, що зростає на території вздовж автошляху

Морфологічні ознаки хвої розглядали за допомогою лупи. Визначали наявність хлорозів, некрозів хвоїнок, їх відсоток і характер форми (точкові, крапчасті, плямисті, мозаїчні), вимірювали довжину хвої на пагоні, її ширину (середня частина хвоїнки) за допомогою вимірювальної лупи.

За допомогою лупи проводили огляд хвої і замальовували виявлені варіанти некрозів кінчиків хвої та всієї поверхні, визначали забарвлення пошкоджень, які були дуже різним: червонувато-бурими, жовто-коричневими, бурувато-сизими. Ці варіанти забарвлення є досить інформативними якісними показниками [35].

Статистичний метод – встановлення достовірності отриманих результатів.

2.2. Природно-кліматична характеристика регіону дослідження

Регіон досліджень знаходиться на території Житомирського Полісся.

Житомирське Полісся, за геоботанічним районуванням розділено на північну та південну смуги. До північної смуги відносять північні райони Житомирської області, до південної – території від межі північних районів до межі з районами Лісостепової зони і Житомирського Полісся.

Фізико-географічна область Житомирщини належить до геоботанічних округів, які значно відрізняються за характером та структурою рослинного покриву, на півночі соснові, дубові, дубово-соснові та інші типи лісів, які утворюють північну смугу і дубові, дубово-соснові та інші деревні насадження відмінної щільності та інтенсивності, що віднесені до південної смуги Житомирської області.

До північного району Житомирської області входять господарства, які розташовані в межах Олевського, Овруцького, Народницького, Новоград-Волинського та Лугинського районів, до південних – лісомисливські господарства, які розміщені південніше від попередніх, до межі Лісостепової зони.

В лісовому фонді Житомирської області переважають середньовікові деревні насадження за значної недостатчі стиглих, а також молодняків сосни звичайної. Площа хвойних насаджень за останні роки збільшилася на 0,2 %, твердолистяних – на 5,0 %, а площа м'яколистяних зменшилася на 2,7 %.

Середній вік насаджень змінився із 40 до 48 років внаслідок природного росту насаджень і лісокористування. Клас бонітету не змінився. Середня повнота насаджень (0,71) є оптимальною і зменшилася на 0,02 в результаті господарської діяльності, а також зміни еталону повноти.

Насадження з повнотою 0,3–0,4 зростають на площі 130 га, із них 8 га являють собою потенційний фонд реконструкції.

У результаті господарської діяльності вкриті лісом землі збільшилися на 95 га (0,4 %), загальний запас збільшився на 1410 тис. м³ (35,4 %). Значне збільшення загального запасу пояснюється зміною вікової структури, різким збільшенням пристигаючих (у 81,5 раза) і стиглих (у 82,4 раза) насаджень.

2.3. Об'єкт досліджень

Об'єктами дослідження було обрано фітоіндикатори: звіробій звичайний *Hypericum perforatum* L., чистотіл великий *Chelidonium majus* L., вишня звичайна *Cerasus vulgaris* Mill., акація біла *Robinia pseudoacacia* L., сосна звичайна *Pinus sylvestris* L.

Robinia pseudoacacia L. – деревна рослина родини бобових, світлолюбива, до 35 м заввишки, з досить прорідженим типом крони, кора коричневого забарвлення з глибокими «тріщинами». Квітки білого кольору, довжиною 2 см, які розпускаються залежно від температурних умов у травні-червні.

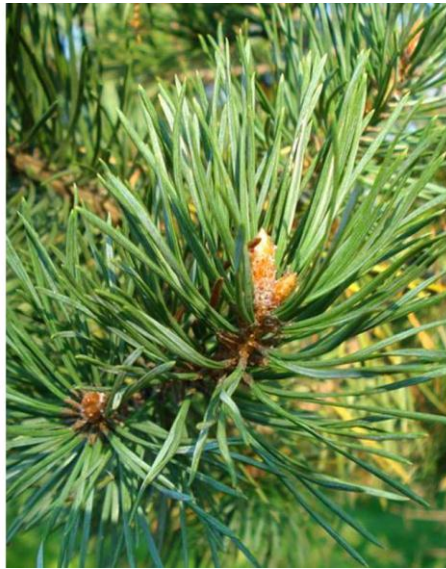
Це найрозповсюдженіший вид деревних насаджень в Україні, який зустрічається переважно в захисних насадженнях та використовується для озеленення.



а



б



в



г



д

Рис. 2.3. Фітоіндикатори (об'єкти дослідження): а. звіробій звичайний *Hypericum perforatum* L.; б. чистотіл великий *Chelidonium majus* L.; в. сосна звичайна *Pinus sylvestris* L.; г. акація біла *Robinia pseudoacacia* L.; д. вишня звичайна *Cerasus vulgaris* Mill.

Крона дерева розлога. Кора може бути зізного забарвлення сірою, темно-сірою або коричнуватою, молоді гілки зеленуватого або червонуватого забарвлення. Листки завдовжки 18 – 20 см, цілокраї з характерною округлою або звуженою основою і верхівкою, що закінчується вістрям. Квіти завдовжки 15–20 см зібрані в негусті пазушні китиці довжиною 10–20 см. Плід 4–8 см довгасто-лінійний біб з насінинами вузькими ниркоподібними, коричневого або темно-бурого матового забарвлення.

Вишня звичайна *Prunus cerasus* – дерево або чагарник, висотою до 10 м. Черешкові, широко-еліптичні, загострені, темно-зелені зверху, знизу світліші листки досягають 8 см у довжину. Квіти білого кольору, зібрані в суцвіття по 2 – 3 квіткі. Цвіте наприкінці березня –початку квітня, плодоносить з другої половини травня.

Чистотіл звичайний (великий) (*Chelidonium majus* L.) – трав'яниста багаторічна рослина довжиною 30-100 з молочним соком жовтого забарвлення. Квіти діаметром 20 мм на довгих квітконіжках, ширококорозкриті, правильної форми, які зібрані по 4 – 5 суцвіття зонтикоподібного типу, які знаходяться в пазухах верхівкових листків. Росте чистотіл на узліссях, в листяних, мішаних лісах, узбіччях доріг. Рослина тіньовитривала. Період цвітіння – квітень – вересень. Поширений майже в усіх регіонах України.

Звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.). Пряме стебло, гіллясте, заввишки 30–60 см. Квіти правильної форми, зібрані в нещільну китицю. Зростає у мішаних лісах, на галявинах, узбіччях автошляхів, лісосіках. Рослина тіньовитривала. Період цвітіння у червень-серпень.

Ареал поширення вся територія України, окрім того, промислова заготівля проводиться у Житомирській, Волинській, Чернігівській, Київській, Львівській, Хмельницькій, Тернопільській, Полтавській, Черкаській, Кіровоградській, Сумській, Івано-Франківській, Чернівецькій, Закарпатській областях з значними запасами сировини.

Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) – дерево 25 – 50 м заввишки, ареал поширення займає 1/3 лісів України (в основному розповсюджене на Поліссі).

Дерево з пірамідальною кроною та кільчастим гілкуванням. Молоді пагони зеленого забарвлення. Укорочені пагони мають по дві хвоїнки довжиною 4,5–7,0 см, тримаються 3–5 років.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Біоіндикація стану атмосферного повітря за допомогою *Robinia pseudoacacia* L.

Для дослідження стану повітря вздовж автошляху використовували біоіндикацію за допомогою *Robinia pseudoacacia* L. Боби *Robinia pseudoacacia* L. збирали у жовтні 2022 року.

Зменшення значень морфометричних показників плодів пов'язане із зниженням чисельності насінин у бобах. Проведений детальний аналіз кількості насінин у плодах показує достовірний рівень зменшення досліджуваного показника на території дослідження порівняно з контрольним варіантом.

У бобах акації, що були відібрані на дослідній ділянці вздовж автошляху показник відсотку зрілого насіння становив 27,8 %, тоді як на контрольному варіанті 73,67 % (рис. 3.1).

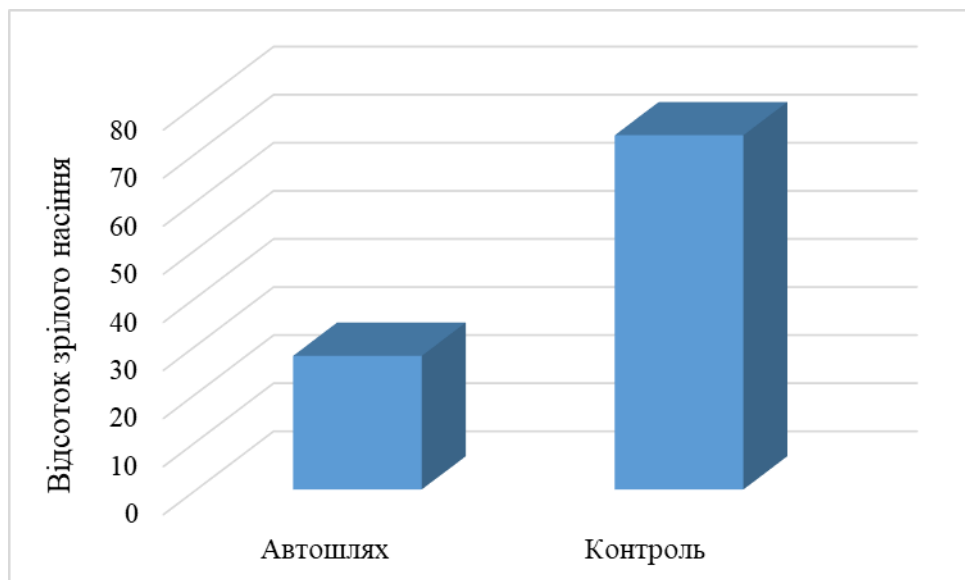


Рис. 3.1. Відсоток зрілого насіння бобів *Robinia pseudoacacia* L.

Отже, важливо зауважити, що стан атмосферного повітря від викидів автотранспорту вздовж автошляху є недостатньо очищеним та спричиняє негативний вплив на репродуктивну систему деревної рослин.



Рис. 3.2. Боби робінії звичайної *Robinia pseudoacacia* L.

Результати досліджень даного показника, вказують на значний рівень забруднення атмосферного повітря вздовж автошляху токсичними відходами, які негативно впливають на розвиток досліджуваної рослини-біоіндикатора. Біоіндикація стану атмосферного повітря за показником відсотку зрілого насіння бобів *Robinia pseudoacacia* L. дає можливість в короткі терміни інформативно оцінити екологічний стан атмосферного повітря на території вздовж автошляхів. Отримані дані показника відсотку зрілого насіння на досліджуваній ділянці вздовж автошляху майже у 3 рази нижчі, ніж у контрольному варіанті. Це дає вагомі підстави характеризувати атмосферне повітря вздовж автошляху як територію зі значним рівнем забруднення викидами шкідливих газів.

3.2. Дослідження стерильності пилку фітоіндикаторів в зоні впливу автошляху

Фітоіндикаторами було обрано звіробій звичайний *Hypericum perforatum L.*, чистотіл великий *Chelidonium majus L.* та вишню звичайну *Cerasus vulgaris Mill.*

Отримані результати досліджень свідчать, що значення УПУ (умовного показника ушкодженості) клітин пилкових зерен звіробою звичайного коливається від 0,92 до 1,52 на території дослідної ділянки вздовж автошляху, від 0,31 до 0,61 на території контрольної ділянки. Інтегральний показник ушкодженості (ІУПУ) пилкових зерен звіробою звичайного на території досліджень вздовж автошляху становив 1,1, що свідчить про вагомий негативний вплив викидів автотранспорту на довкілля (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Оцінка стану навколишнього середовища за тестом «Стерильність пилку рослин біоіндикаторів» звіробою звичайного

Місце відбору зразків	УПУ	ІУПУ
Дослідна ділянка	1,49	1,1
	1,07	
	0,94	
	0,93	
Контрольна ділянка	0,32	0,42
	0,51	
	0,34	
	0,59	

Доказом значного негативного антропогенного навантаження на досліджувані території є отримані значення інтегрального показника для фітоіндикатора (звіробій звичайний) (1,49). Отримані результати дослідження

дають підстави стверджувати, що показник рівня ушкодженості бекосистем – «високий» на території вздовж автошляху та «допустимий» у контрольному варіанті.

Відповідно до отриманих показників розрахунків дослідження пилкових зерен чистотілу великого *Chelidonium majus L.* встановлено, що найменший показник відсотку стерильних пилкових зерен спостерігається на відстані 1000 м від джерела впливу автотранспорту на контрольній ділянці (3,6 – 4,4 %), а найбільший показник відсотку стерильності пилку на досліджуваній ділянці вздовж автошляху (17,0 – 19,5 %)(табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Відсоток стерильності пилкових зерен *Chelidonium majus L.*

Місце відбору зразків	Кількість пилкових зерен		Стерильність пилку,
	Досліджених	Стерильних	M±m, %
Досліджувана ділянка	1000	170	17,0 ± 0,04
	1000	169	16,9 ± 1,4
	1000	181	18,1 ± 1,5
	1000	195	19,5 ± 1,6
200 м від дослідної ділянки	1000	126	12,6 ± 1,1
	1000	115	11,5 ± 1,01
	1000	131	13,1 ± 1,04
	1000	123	12,3 ± 1,08
500 м від від дослідної ділянки	1000	51	5,1 ± 0,5
	1000	49	4,9 ± 0,5
	1000	56	5,6 ± 0,53
	1000	53	5,3 ± 0,5
1000 м від від дослідної ділянки	1000	36	3,6 ± 0,36
	1000	40	4,0 ± 0,38
	1000	44	4,4 ± 0,43
	1000	38	3,8 ± 0,37

Проаналізувавши отримані результати загальної екологічної оцінки стану атмосферного повітря за тестом «Стерильність пилку фітоіндикаторів» встановлено «безпечну» категорію територій за токсико-мутагенним фоном на відстані 1000 м від джерела негативного впливу автотранспорту, «небезпечну» категорію – у варіанті досліджень за 200 м від джерела негативного впливу та «надзвичайно небезпечну» («критичну») на дослідній ділянці безпосередньо за впливу автотранспорту (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Оцінка стану навколишнього середовища за тестом «Стерильність пилку рослин біоіндикаторів» за фітоіндикатором *Chelidonium majus* L.

Місце відбору зразків	УПУ	ІУПУ
Дослідна ділянка	0,87	0,91
	0,84	
	0,90	
	0,98	
200 м від дослідної ділянки	0,62	0,61
	0,56	
	0,65	
	0,61	
500 м від дослідної ділянки	0,24	0,25
	0,23	
	0,26	
	0,25	
1000 м від дослідної ділянки	0,16	0,18
	0,18	
	0,21	
	0,17	

При розрахунках отриманих даних по пилковим зернам фітоіндикатора

вишні звичайної *Cerasus vulgaris Mill.* встановлено, що найнижчий відсоток стерильності пилоквих зерен відмічений на відстані 1000 м від дослідної ділянки (2,8 – 3,7 %), а найвищий показник відсотку стерильності пилоквих зерен на території дослідної ділянки за впливу негативної дії автотранспорту (13,9 – 16,3 %) (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Відсоток стерильності пилоквих зерен *Cerasus vulgaris Mill.*

Місце відбору зразків	Кількість клітин		Стерильність пилку,
	Досліджених	Стерильних	$M \pm m, \%$
Дослідна ділянка	1000	154	15,4±1,14
	1000	139	13,9±1,19
	1000	163	16,3±1,36
	1000	144	14,4±1,23
200 м від дослідної ділянки	1000	103	10,3±0,92
	1000	100	10,0±0,9
	1000	98	9,8±0,88
	1000	112	11,2±0,99
1000 м від дослідної ділянки	1000	37	3,7±0,37
	1000	32	3,2±0,31
	1000	28	2,8±0,28
	1000	35	3,5±0,34

Розрахунки значень умовних показників ушкодженості екосистем дали змогу зробити оцінку екологічного стану природного середовища за допомогою ІУПУ, який показав значення «помірно небезпечного» рівня безпеки територій впливу автотранспорту на фітоіндикатори і «безпечний» рівень екологічної безпеки території на контрольній ділянці на відстані 1000м від джерела забруднення (ІУПУ=0,05).

Отримані дані досліджень були зведені у єдину доступну систему умовних значень ушкодженості екосистем (УПУ), що дало можливість провести оцінку екологічного стану природного середовища за допомогою показників інтегральних умовних ушкодженості (ІУПУ). Значення показників УПУ та ІУПУ визначались з варіанту врахування аналогічних значень за комфортних і критичних умов, а також показника природної стійкості (чутливості) пилоквих зерен фітоіндикаторів до впливу негативних факторів на ділянках впливу автотранспорту.

Отже, встановлено, що метод цитогенетичного біотестування з застосуванням пилоквих зерен рослин-біоіндикаторів звіробою звичайного *Hypericum perforatum* L., чистотілу великого *Chelidonium majus* L., вишні звичайної *Cerasus vulgaris* Mill. є якісно інформативним для оцінки екологічного стану атмосферного повітря за дії антропогенно навантажених територій.

3.3. Біоіндикація стану атмосферного повітря за допомогою сосни звичайної *Pinus sylvestris* L.

На досліджуваній ділянці відбирали хвою з 4 дерев по 5 пагонів згідно методики, далі проводили роботу з середніми показниками, тобто брали до уваги середні значення морфометричних показників на дослідній ділянці вздовж автошляху та на території контрольної ділянки.

Візуальний аналіз рослин *Pinus sylvestris* L. чітко показав, що на дослідній ділянці за впливу автотранспорту на хвої проявляються видимі пошкодження, які візуалізуються у вигляді плям світло-зеленого забарвлення, некротичних точок та часткового всихання.

Отримані дані показують, що на території дослідної ділянки показник відсотку хвої з некротичними плямами та ознаками всихання становив більше 35 %, тоді як на контрольній ділянці даний показник менше 5 %.

**Морфометричні показники *Pinus sylvestris* L. за дії негативного
впливу автотранспорту**

№ п/п	Місце відбору проб	Довжина хвої, мм	Ширина хвої, мм	Кількість хвоїнок на 10 см, шт.	Вага 1000 хвоїнок, г	Некрози	
						%	Тип некрозу
1.	Дослідна ділянка	45	1	292	10,18	4	верхівкові
2.		44	1			5	бокові
3.		42	1			-	-
4.		42	1			3	бокові
5.		52	1			-	-
6.		52	1			-	-
7.		53	1			-	-
8.		52	1			1	бокові
9.		51	1			-	-
10.		49	1			2	бокові
11.		54	1			20	бокові
12.		54	1			-	-
13.		40	1			-	-
14.		40	1			2	бокові
15.		47	1			-	-
16.		47	1			-	-
17.		55	1			-	-
18.		55	1			-	-
19.		57	1			-	-
20.		57	1			-	-

Морфометричні показники *Pinus sylvestris* L. на контрольній ділянці

№ п/п	Місце відбору проб	Довжина хвої, мм	Ширина хвої, мм	Кількість хвоїнок на 10 см, шт.	Вага 1000 хвоїнок, г	Некрози	
						%	Тип некрозу
1.	Контроль	115	2	154	16,72	1	верхівкові
2.		115	2			-	-
3.		116	2			-	-
4.		107	2			-	-
5.		113	2			-	-
6.		107	2			-	-
7.		109	2			-	-
8.		111	2			-	-
9.		120	2			-	-
10.		120	2			-	-
11.		115	2			-	-
12.		115	2			-	-
13.		114	2			-	-
14.		114	2			-	-
15.		100	2			-	-
16.		106	2			-	-
17.		107	2			-	-
18.		106	2			-	-
19.		115	2			-	-
20.		114	2			-	-

Нижчі показники значення абсолютно сухої ваги хвої (9,48) на території впливу автотранспорту є також важливою ознакою негативного впливу

автотранспорту на фітоіндикатор *Pinus sylvestris* L., оскільки для порівняння на контрольній ділянці значення даного показника було майже в 2 рази вищим і становило 18,32 г.

Таблиця 3.7

Морфометричні показники *Pinus sylvestris* L.

Місце відбору проб	Довжина хвої, мм	Ширина хвої, мм	Кількість хвоїнок на 10 см, шт.	Вага 1000 хвоїнок, г	Некрози
Дослідна ділянка вздовж автошляху	49,4 \pm 5,6	1 \pm 0,00	292 \pm 0,85	10,18 \pm 0,01	більше 30% - боковий некроз 5% - верхівковий
Контрольна ділянка	112 \pm 5,14	2 \pm 0,00	154 \pm 0,8	16,72 \pm 0,05	до 5% - верхівковий

Згідно результатів досліджень встановлено, що на ділянці з вищим рівнем забруднення пучки хвої розташовані ближче одне до одного, а їх кількісний показник більший з розрахунку на 10 см пагона, ніж в контрольному варіанті.

Встановлено, що показники морфометричних характеристик хвої варіюють у широкому діапазоні числових значень, проте при цьому ж варіанті рівень показника некротичного ушкодження хвої виявився найбільш інформативним біоіндикаційним показником.

Мінімальний рівень ушкодження хвої встановлено для дерев на контрольній ділянці, а на дослідному варіанті було відмічено значне ушкодження хвої.

З віддаленням від джерела забруднення автотранспортом (автошляху) зменшувався показник кількості хвої на пагоні та рівень їх некротичного ураження і відмічалось збільшення показників довжини, ширини та ваги хвої.

Вплив негативних антропогенних факторів будь-якого рівня інтенсивності відображає у фітоіндикаторів виражений морфологічний ефект, що дозволяє отримувати доволі точні результати неспецифічної біоіндикаційної якості природного середовища.

Згідно даних результатів досліджень було встановлено зниження показників абсолютних величин довжини хвої з наближенням до автошляху та відповідно з підвищенням показника рівня забрудненості природного середовища. Відмічено збільшення кількісного показника хвої на пагоні на дослідній ділянці, що є ознакою забруднення атмосферного повітря вздовж автошляху.

ВИСНОВКИ

Результати досліджень зрілості насінин в бобах акації, вказують на значний рівень забруднення атмосферного повітря вздовж автошляху токсичними відходами, які негативно впливають на розвиток досліджуваної рослини-біоіндикатора.

Біоіндикація стану атмосферного повітря за показником відсотку зрілого насіння бобів *Robinia pseudoacacia* L. дає можливість в короткі терміни інформативно оцінити екологічний стан атмосферного повітря на території вздовж автошляхів.

Отримані дані показника відсотку зрілого насіння на досліджуваній ділянці вздовж автошляху майже у 3 рази нижчі, ніж у контрольному варіанті. Це дає вагомі підстави характеризувати атмосферне повітря вздовж автошляху як територію зі значним рівнем забруднення викидами шкідливих газів.

Встановлено, що метод цитогенетичного біотестування з застосуванням пилокосинок рослин-біоіндикаторів *Hypericum perforatum* L., *Chelidonium majus* L., *Cerasus vulgaris* Mill. є якісно інформативним для оцінки екологічного стану атмосферного повітря за дії антропогенно навантажених територій.

Доведено, що значення морфометричних показників сосни звичайної варіюють у широкому діапазоні числових значень, проте рівень некротичних уражень хвої виявився найбільш інформативним біоіндикаційним показником.

У результаті дослідження визначено, що збільшення кількісної характеристики хвої з некротичними плямами порівняно з хвоєю відібраною на контрольній площі.

Встановлено, що показники нижчих значень абсолютно сухої ваги хвої, порівняно з контрольними екземплярами, є показником того, що фітоіндикатор сосна звичайна піддається неспецифічному впливу забруднень автотранспортом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреев А.В. Оценка биоразнообразия, мониторинг и экосети / А.В. Андреев. – Кишинев: ВІОТІСА, 2002. – 168 с.
2. Бессонова В.П. Возможности использования декоративных цветковых растений для фитоиндикации загрязнения окружающей среды / В.П. Бессонова, Л.М. Фендюк, Т.М. Пересипкина // Украинский Ботанический Журнал – 1996. – Т. 53 – №3. – С. 224–229.
3. Бессонова В.П. Семенное возобновление древесных растений и промышленные загрязнители (SO_2 и NO_2) / В.П. Бессонова, Т.И. Осипова – Запорожье: Запорожский государственный университет, 2001. – 193 с.
4. Бессонова В.П. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами / В.П. Бессонова // Экология. – 1992. – № 4. – С. 45–50.
5. Бигон М. Экология. Особи, популяції і соціальні групи / М. Бигон, Дж.Харпер, Таунсенд – К. – М.: Мир, 1989. – Т. 2. – 479 с.
6. Білявський Г. О. Основи екології: теорія та практикум : навч. посіб. / Г. О. Білявський, Л. І. Бутченко, В. М. Навроцький. – К. : Лібра, 2002. – 352 с.
7. Боярин М. В. Аналіз впливу автотранспорту на стан атмосфери міських ландшафтів (на прикладі м. Луцьк) / М. В. Боярин, І. М. Нетробчук, Л. А. Савчук // Вісн. Харк. нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». – Харків, 2015. – Вип. 13. – С. 54–59.
8. Бурда Р.І. Моніторинг біологічної різноманітності в агроєкосистемах / Р.І. Бурда, О.О. Созінов // Агроєкологія та біотехнологія . 1999. – Вип. 3. – С. 9–19.
9. Васькіна І. В. Аналіз впливу автотранспортних засобів на навколишнє середовище в се-літєбних зонах міст. Екологічна безпека. 2009. № 4 (8). С. 16–19.

10. Венжега В. І., Рудик А. В., Пасов Г. В. Особливості утилізації автомобілів відповідно до Закону України «Про утилізацію транспортних засобів». Технічні науки та технології: науко-вий журнал. 2016. № 3(5). С. 51–57.
11. Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой. Устойчивость. Фитоиндикация. Оптимизация / И.И. Коршиков, В.С. Котов, И.П. Михеенко и др. – К.: Наук, думка, 1995. – 191 с.
12. Войцицький А.П. Нормування антропогенного навантаження на природне середовище: Навч. посіб. / А.П. Войцицький, С.В. Скрипниченко. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – 201 с.
13. Гандзюк М. О. Забруднення атмосфери міста Луцька викидами автотransпортних засобів та заходи для зменшення впливу автомобільного транспорту на довкілля / М. О. Гандзюк // Вісн. СевНТУ : зб. наук. пр. Вип. 121. Серія : Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2011. – С. 169–176.
14. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посібн. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун, А.О. Корпач, Л.П. Мержиєвська. – Вид. 2-ге, [перероб. та доп.]. – К. : Вид-во "Арістей", 2008. – 296 с
15. Данилевич Я.Б., Денисов В.Я. Системні рішення проблем екологічної безпеки автотransпортного комплексу, як метод покращення екологічної ситуації у мегаполісах // Доп. ІV Міжнар. наук.-практ. конф. «Автотransпорт: від екологічної політики до щоденної практики». - К.: ЦУЛ, 2005. - 200 с.
16. Егорова Е.И. Биотестирование и биоиндикация окружающей среды. / Е.И. Егорова, В.И. Белолипецкая – Обнинск: ИАТЭ, 2000. – 80 с.
17. Екологія автомобільного транспорту: Навч. посіб. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун та ін. -К.: Основа, 2002.-312 с.
18. Емельянов И.Г. Биоразнообразие как индикатор структурно-функциональной организации экосистем / И.Г. Емельянов // Тез. I Міжнар.

наук. конф. “Структура та функціональна роль тваринного населення в природних та трансформованих екосистемах”. – Дніпропетровськ, 2001. – С. 12 – 13.

19. Емельянов И.Г. Уровни биологического разнообразия и стратегия его сохранения / И.Г. Емельянов, Ю.Р. Шеляг-Сосонко // Збереження біорізноманітності в Україні. – К.: Егем, 1997. – С. 32 –33.

20. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения / Г.М. Илькун – К.: Наук, думка, 1978. – 247 с.

21. Казаков Є.О. Методологічні основи постановки експерименту з фізіології рослин / Є.О.Казаков – Київ: Фітосоціоцентр, 2000. – 272 с.

22. Карпець В.Г. Відмінності таксономічної структури агрофітоценозів і рослинних угруповань узбіччя штучного лісу / В.Г. Карпець, Е.О. Євтушенко // Матеріали I Міжнар. науково-практичної конф. студентів та молодих вчених “Проблеми природокористування та охорони рослинного і тваринного світу”. – Кривий Ріг, 2004. – С. 99 – 101.

23. Костишин С.С. Чотири важливі принципи ефективного біомоніторингу / С.С. Костишин, С.С. Руденко // Матеріали наук.-практ. конф. «Екологічна безпека: моніторинг, оцінка ризику, перспективні природоохоронні технології». – Львів: Держ. упр.охорони навкол. природ. середовища у Львівській області, 2007. – С. 11 –13.

24. Кучерявий В.П. Екологія / В.П. Кучерявий. – Львів: Світ, 2000 – 500 с.: іл.. Бібліогр.: с. 480.

25. Лозанський В.Р. Стан нормативно-правового забезпечення екологічного управління в Україні і перспективи його поліпшення / В.Р. Лозанський. – Укр. НДІЕП, випуск ХХІХ. – Харків: «Райдер», 2007. – С. 8–14.

26. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи на тему: «Оцінка токсичності атмосферного повітря за тестом „Стерильність пилку рослин з дисциплін „Біоіндикація" та „Цитогенетичний моніторинг довкілля" для студентів напряму підготовки 6.040106 Екологія і охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування / Упоряд.:

А.І.Горова, С.А.Риженко, А.В.Павличенко, О.О.Борисовська, І.Г.Миронова. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2007. – 25 с.

27. Мэнинг У. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / У. Мэнинг, У. Федер. – П.: Гидрометеоиздат, 1985. – 143 с.

28. Нетробчук І. М. Динаміка забруднення атмосферного повітря у Волинській області / І. М. Нетробчук // Природа Західного Полісся та прилеглих територій : зб. наук. пр. : за заг. ред. Ф. В. Зузука. – Луцьк, 2016. – № 13. – С. 77–84.

29. Паньків Н. Є. Оцінювання забруднення атмосферного повітря внаслідок завантаженості вулиць Львова автотранспортом / Н. Є. Паньків, Н. З. Тетерко // Наук. вісн. НЛТУ України. – 2016. – Вип. 268. – С. 215–223.

30. Петровська М. Аналіз впливу автотранспорту на забруднення атмосферного повітря перехресть вулиць Львова монооксидом карбону / М. Петровська, В. Морквич // Вісн. Львів. ун-ту. Серія географічна. – 2014. – Вип. 47. – С. 217–223.

31. Про охорону атмосферного повітря: [Закон України] // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 1992. – № 50. – 678 с.

32. Про охорону навколишнього природного середовища: [Закон України]// Відомості Верховної Ради (ВВР). – 1991. – № 41. – 546 с.

33. Протасов А.А. Биоразнообразие и его оценка; концептуальная диверсикология / А.А. Протасов. – К.: Изд-во НАН Украины, 2002. – 107 с.

34. Резнюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агєєв В.Б., Клименко О.А. Інтеграція України до ЕС у сфері захисту довкілля від шкідливих викидів автомобільного транспорту: задачі та перспективи. Автошляховик України. 2005. № 1. С. 375.

35. Руденко С.С. Загальна екологія: практичний курс: Навчальний посібник : У 2-х ч. Частина 1. / С.С. Руденко, С.С. Костишин, Т.В. Морозова. – Чернівці: Книги – ХХІ, 2008. – 308 с.

36. Русіло П.О., Костюк В.В., Афонін В.М. Вплив на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу// Науковий вісник НЛТУ України. — 2008. — Вип.18.3. — С. 85—89.
37. Самойлов В.Ю. Моніторинг як засіб встановлення екологічних пріоритетів і порівняльної оцінки ризиків / В.Ю. Самойлов // Екологічний вісник – 2007. – № 3. – С. 6–8.
38. Степанчук І. М. Автомобільний транспорт і екологічні проблеми міст / І. М. Степанчук, О. В. Степанчук // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2004. — № 6. — С. 88—93.
39. Трофімов І. Л. Зниження шкідливого впливу викидів моторного транспорту на стан атмосферного повітря. Наукоємні технології. 2014. № 3 (23). С. 364–369.
40. Шеннон К. Работа по теории информации и кибернетики / Шеннон – К. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 830 с.