

## БІОІНДИКАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПРИДОРОЖНІХ ЕКОСИСТЕМ

Пляцук Л. Д., Моїсєєв В. Ф., Васькін Р. А., Аблєєва І. Ю., Васькіна І. В.

### 1. Вступ

Безпосереднім акцептором забруднення від автотранспорту є екосистеми, що прилягають до автомобільної дороги. Ці екосистеми можуть мати різні характеристики (лісові екосистеми, лучні, агроекосистеми), але об'єднує їх те, що переважаючий вплив на них здійснюють викиди від автотранспортних засобів. Постійне зростання автопарку та інтенсивності автомобільного потоку призводить до збільшення і навантаження на екосистеми. А отже дослідження впливу автотранспорту на придорожні екосистеми є актуальним завданням.

Рослини чітко реагують на абіотичні зміни, тим самим виконуючи індикаційну роль. Хімічний склад рослин в цілому відображає той елементний склад середовища, в якому відбувається їх розвиток. Вважається, що біоіндикація стану середовища по рослинах один з найбільш доступних методів оцінки антропогенного навантаження [1]. Крім того, беззаперечною перевагою біоіндикаційної оцінки є те, що спостерігається «жива» реакція конкретного біоценозу на зміни у навколишньому середовищі.

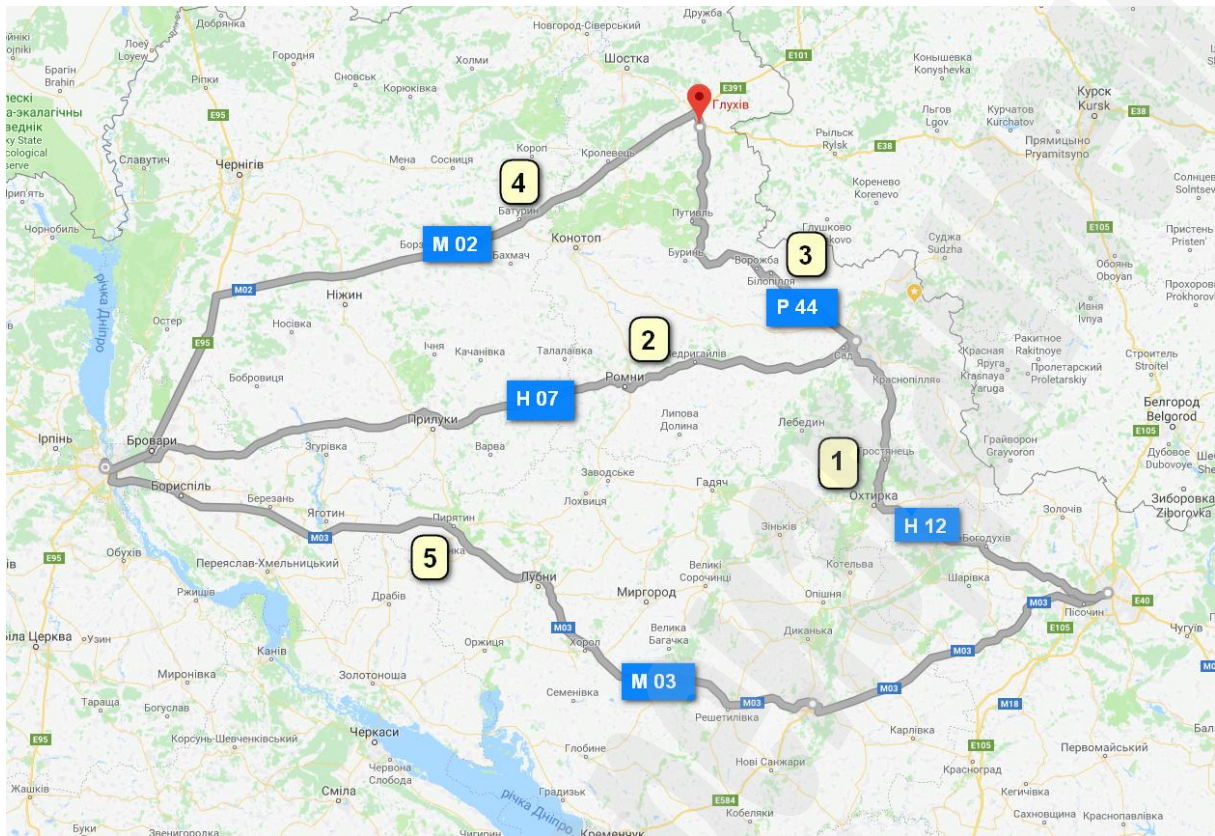
### 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження було обрано екосистеми, що безпосередньо прилягають до автомобільних шляхів міждержавного, державного та регіонального значення України (рис. 1), а саме:

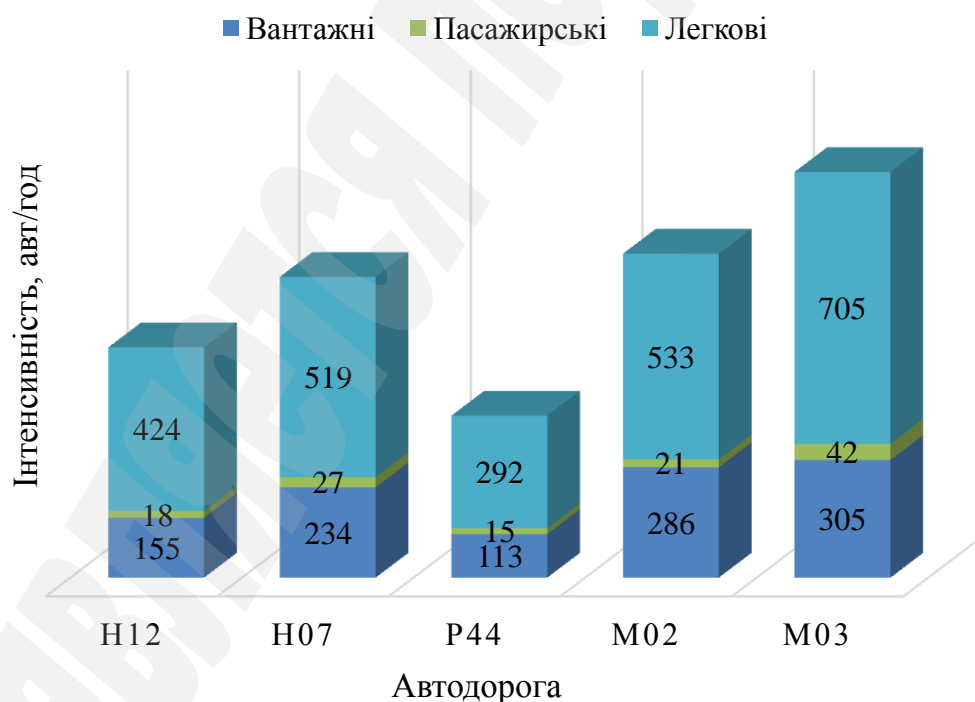
1. Н12 (Суми – Полтава) – поблизу м. Охтирка.
2. Н07 (Київ – Суми – Юнаківка) – поблизу м. Ромни.
3. Р44 (Глухів – Суми) – поблизу м. Білопілля.
4. М02 (Кіпті – Глухів – Бачівськ) – поблизу м. Батурін.
5. М03 (Київ – Харків – кпп Довжанський) – поблизу м. Пирятин.

Інтенсивність транспортного потоку на досліджуваних ділянках визначалась розрахунковим шляхом згідно методики наведеної у [2]. Графічна інтерпретація наведена на рис. 2.

Одним з найбільш проблемних місць є виявлення закономірностей впливу особливостей руху автотранспорту на придорожні екосистеми. Адже поряд із зростаючою інтенсивністю руху на обраних ділянках, негативний вплив чинять й інші фактори, зокрема стан дорожнього полотна. В місцях із наявними вибоїнами, нерівностями швидкість автомобіля знижується до таких діапазонів, за яких кількість викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря суттєво підвищується. Це дає підстави очікувати підвищення навантаження на придорожні екосистеми, що зумовлює проведення дослідження.



**Рис. 1.** Ділянки автомагістралей, що досліджувалися



**Рис. 2.** Зведена інтенсивність руху автотранспорту на досліджуваних ділянках автомагістралей

Оцінка викидів стану придорожніх екосистем є перспективним і складним завданням. Придорожні екосистеми є безпосереднім акцептором автотранспортного забруднення і піддаються одночасному впливу як шкідливих атмосферних домішок, так і змиванню забруднень з поверхні автомагістралі.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Метою роботи є проведення біоіндикаційної оцінки стану придорожніх екосистем з використанням різних біоіндикаторів.*

Відповідно до поставленої мети були сформульовані такі завдання дослідження:

1. Оцінити рівень забруднення атмосферного повітря вздовж автомагістралей за станом придорожніх екосистем.
2. Оцінити рівень забруднення ґрунтів вздовж автомагістралей.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Біоіндикаційна оцінка стану придорожніх екосистем повинна базуватися на комплексному підході. Рослини чітко реагують на зміни навколишнього середовища і можуть виконувати індикаційну роль як це відмічено у роботах [3, 4]. В той же час, у роботах [5–7] рекомендують для підвищення достовірності екологічних оцінок використовувати не один, а декілька методів біоіндикації, зокрема доповнювати їх фітотестуванням ґрунтів. Стан ґрунтів можна розглядати як інтегральний індикатор багаторічного процесу забруднення. Адже речовини, що потрапляють з вихлопними газами в атмосферне повітря, осідають в ґрунт і накопичуються там, як відмічають автори [8, 9]. Фітотестування засноване на чутливості рослин до екзогенного хімічного впливу, що відбивається на ростових і морфологічних характеристиках [10]. Це дає змогу за відповідною реакцією тест-організму отримати інформацію за всією сукупністю токсичних агентів, які чинять вплив на тест-об'єкт. Особливої важливості в екологічному контролі мають лабораторні методи фітотестування, як найбільш експресні та економічні [5]. Фітотестування проводять з використанням різних рослин (крес-салату, гірчиці, злакових тощо).

Одним з найбільш інформативних біоіндикаторів служать лишайники [11, 12]. Чутливість лишайників до забруднень навколишнього середовища обумовлена їх фізіологією і симбіотичною природою. Довготривала дія низьких концентрацій забруднюючих речовин викликає у лишайників такі ушкодження, які не зникають аж до загибелі їх сланей, як відмічається в [13].

Найбільшу чутливість мають лишайники-епіфіти, які є організмами, чутливими до зміни вмісту в повітрі ряду хімічних елементів і сполук, що входять до складу викидів від автотранспорту. Серед яких сірчистий ангідрид, оксиди азоту, важкі метали, фториди [12]. Вивчення лишайникової флори в населених пунктах, поблизу автодоріг показує, що стан довкілля чинить істотний вплив на розвиток лишайників [14]. За їх видовим складом і частотою зустрічання на ділянці можна судити про рівень забруднення повітря. У [15] запропоновано визначати міру забруднення повітря за наявністю або відсутністю певних видів лишайників.

Таким чином, для оцінки стану придорожніх екосистем використано методи ліхеноіндикації та фітотестування.

### **5. Методи досліджень**

Вивчення рослинних угруповань виконувалося на ділянках вздовж визначених автомагістралей, при цьому враховувалося, що рослини, які можна використати в якості індикаторів, повинні відповідати наступним вимогам:

- широка екологічна амплітуда;

- широкий ареал поширення;
- низька спонтанна частота прояву ознаки, яка враховується.

Обрана методика проведення експерименту є універсальним неспецифічним індикатором стану середовища, тому не потребує проведення додаткових хіміко-аналітичних робіт для підтвердження своєї придатності.

Біоіндикаційні дослідження виконувалися оптичними методами, інтерпретація та обробка експериментальних даних проводилася з допомогою програмних продуктів ABBY Finereader 9.0 та Adobe Photoshop 8.0.

Найбільш підходящими біоіндикаторами атмосферних забруднень (особливо SO<sub>2</sub>) є лишайники. При проведенні моніторингу враховується частота знаходження лишайників в досліджуваній місцевості, а також їх проективне покриття, з чого робиться висновок про якість повітря.

Для перевірки отриманих даних спостережень розраховують індекс атмосферної чистоти (I.A.P.) – для визначення рівня забрудненості повітря окисами сульфуру. Розрахунок індексу атмосферної чистоти (I.A.P) здійснювали за методикою Д. Деслувера і Ф. Лебланка [16]. Оцінка результату обчислення проводиться за такою логікою: чим більший результат, тим менша екологічна сприятливість території.

Даний коефіцієнт обчислюється сумарно для всіх ділянок і відображає середній рівень забрудненості всієї території. Значення індексу чистоти атмосферного повітря (I.A.P.) розраховувалося за формулою:

$$I.A.P. = \frac{1}{10 \sum_{i=1}^n Q_i \cdot F_i}, \quad (1)$$

де  $n$  – число видів лишайників на досліджуваній площі;  $Q_i$  – екологічний показник виду  $i$  (середнє число видів, що ростуть разом з видом  $i$  на досліджуваній площині);  $F_i$  – оцінка зустрічаємості/покриття виду  $i$  відповідно до наведеної шкали [15].

Добуток  $Q_i \cdot F_i$  ділиться на 10, щоб одержати більш наочне число.

Як метод оцінки якості ґрунтів здавна використовується фітотестування. Методика проведення експерименту передбачає відбір проб ґрунту із досліджуваних ділянок з подальшим вирощуванням на ньому тест-об'єкта. Контролюють енергію проростання насіння, довжину коренів проростків та висоту проростків.

Залежно від енергії проростання насіння на досліджуваних субстратах, їм присвоюють один з чотирьох рівнів забруднення [17]:

1. Забруднення відсутнє. Схожість насіння досягає 90–100 %. Сходи дружні, проростки міцні, рівні.
2. Слабке забруднення. Схожість 60–90 %. Паростки майже нормальної довжини, міцні, рівні.
3. Середнє забруднення. Схожість 20–60 %. Паростки значно коротші і тонші. Деякі з них мають потворність.
4. Сильне забруднення. Схожість насіння слабка (менше 20 %) проростки дрібні і потворні).

Для оцінки токсичності ґрунту визначається фітотоксичний ефект (ефект гальмування), який залежить від середньої довжини коренів в досліді і середньої довжини коренів в контролі і розраховується за формулою [17]:

$$FE = \frac{L_k - L_m}{L_k} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

де  $L_m$  – середня довжина коренів у досліді, мм;  $L_k$  – середня довжина коренів у контролі, мм.

В якості тест-культури було вибрано овес згідно з методикою МР 2.1.7.2297-07 [18]. Овес – однорічна однодольна рослина, що має підвищену чутливість до забруднення ґрунту. Цей біоіндикатор відрізняється швидким проростанням насіння і майже стовідсотковою схожістю, яка помітно зменшується у присутності забрудників.

Крім того, стеблі і корені цієї рослини під дією забрудників піддаються помітним морфологічним змінам (затримка зростання і викривлення рослин, зменшення довжини і маси коренів, а також числа і маси насіння). Овес, як біоіндикатор зручний ще і тим, що дію стресорів можна вивчати одночасно на великому числі рослин при невеликій площі робочого місця.

Овес кущиться сильніше, ніж пшениця, але слабкіше, ніж ячмінь. Овес має добре розвинену кореневу систему. При одночасній появі сходів овес утворює вторинні корені на 6–8 днів раніше інших злакових культур. Вже під час утворення 2–3 листочків коренева система вівса проникає на глибину 70–80 см, а в період формування і наливання зерна – на 1,5–2,0 м.

Насіння вівса починає проростати при температурі 1–2 °С, але для появи сходів потрібна більш висока температура (3–4 °С). Сходи переносять короткочасні заморозки до –8–9 °С. Овес витримує підвищену кислотність ґрунту [17].

На коренях вівса велика кількість корневих волосків, поверхня яких складає більше 90 % поверхні усієї кореневої системи. Такі волоски мають підвищену активність, тому коренева система вівса відрізняється високою поглинальною здатністю, що великою мірою зумовлює його індикаційні можливості.

## **6. Результати досліджень**

### **6.1. Результати ліхенологічних досліджень**

Ліхенологічні спостереження проводились у період з 2012 р. по 2015 р. В ході спостережень виявлено, що субстратом для поселення лишайників на досліджуваних ділянках були придорожні камені, а також дерева (верба, тополя чорна, береза повисла тощо). Для оцінки забруднення атмосфери автомагістралі досліджували дерева по обох сторонах дороги. В ході спостережень велося фотографування наявних на ділянках лишайників для їх подальшого визначення.

Для аналізу забруднення атмосфери сірчистим ангідридом були визначені наступні параметри:

- загальне число видів лишайників;
- міра покриття сланями лишайників кожного дерева;
- частота кожного виду;

– кількість кожного виду.

На досліджуваних ділянках було обстежено 60 дерев (в середньому по 15 на кожній досліджуваній ділянці) і визначено 13 видів лишайників, що зустрічаються найчастіше. При визначенні видів лишайників користувалися їх фотографіями отриманими на місці зростання та електронними визначниками [19]. Найбільш поширеними на досліджуваних ділянках виявились види лишайників *Parmelia caperata*, *Parmelia acetabulum*, *Xanthoria parietina*. Перші два види відносять до класу стійких, останній – до середньочутливих, що свідчить про наявність забруднення оксидами сірки на даній ділянці.

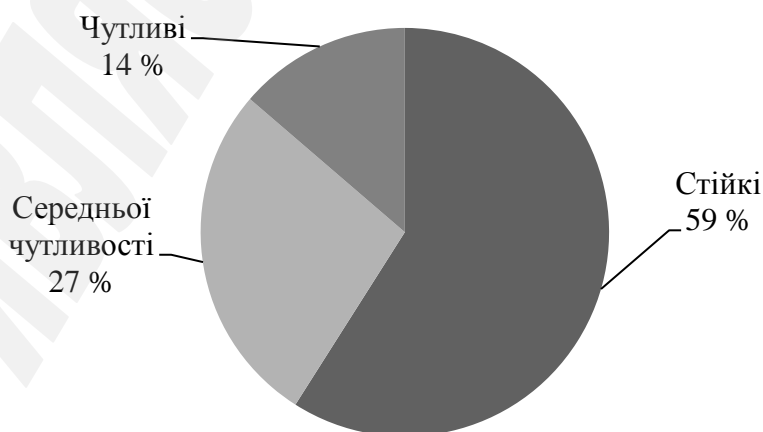
Відповідно до шкали [10] лишайники, що були виявлені на досліджуваних ділянках, було класифіковано за класами токсикотолерантності (табл. 1).

**Таблиця 1**

Розподіл видів лишайників на досліджуваних ділянках за чутливістю

Чутливість	Лишайники
Клас S (англ. sensitive) – чутливі	– <i>Caloplaca discolor</i> – Калоплака безбарвна – <i>Caloplaca marina</i> – Калоплака морська
Клас I (англ. intermediate) – середньочутливі	– <i>Anaptychia ciliaris</i> – Анаптихія віїчата – <i>Physcia adscendens</i> – Фисція висхідна – <i>Ramalina pollinaria</i> – Рамалина запилена – <i>Xanthoria parietina</i> – Ксанторія постінна – <i>Xanthoria polycarpa</i> – Ксанторія багатоплідна
Клас T (англ. tolerant) – стійкі	– <i>Hypotrachyna revoluta</i> – Гіпотрахіна – <i>Parmelia acetabulum</i> – Пармелія блюдчата – <i>Parmelia caperata</i> – Пармелія козяча – <i>Parmelia vagans</i> – Пармелія блукаюча – <i>Caloplaca pyracea</i> – Калоплака вогняна – <i>Physconia grisea</i> – Фисконія сіра

Відсоткове співвідношення класів токсикотолерантності до SO<sub>2</sub> видів лишайників, що були виявлені на всіх досліджених ділянках наведено на рис. 3.



**Рис. 3.** Відсоткове співвідношення класів токсикотолерантності до SO<sub>2</sub> виявлених видів лишайників на всіх досліджених ділянках



Як бачимо, найбільший відсоток складають лишайники класу Т (стійкі) – 60 %, що говорить про підвищений вміст оксидів сірки в атмосферному повітрі на досліджуваних ділянках.

На рис. 4 графічно представлено середнє проєктивне покриття лишайників на досліджуваних ділянках, де числове значення характеризує рівень забрудненості: чим більше значення, тим нижчий рівень забруднення.



**Рис. 4.** Середнє проєктивне покриття лишайників на досліджуваних ділянках, %

Проаналізувавши дані, отримані при дослідженні, можемо зробити такі висновки. На ділянці вздовж автодороги М-03 зустрічається найменша кількість лишайників. Ці лишайники відносяться до класу стійких. Чутливі та середньочутливі види відсутні. Оцінка за шкалою Браун-Бланке – 2.

На ділянках вздовж траси М-02 рівень проєктивного покриття більший на 42 %, а на ділянках вздовж Н-07 та Н-12 перевищує показники на ділянці М-03 на 200 та 267 % відповідно. Це дає змогу віднести дані ділянки до категорії менш забруднених та оцінити їх за шкалою Браун-Бланке на 3 бали.

На ділянці вздовж автодороги Р-44 зустрічаються 8 видів лишайників, більшість з них відносяться до чутливих та середньочутливих. Середнє проєктивне покриття 40 %. Оцінка за шкалою Браун-Бланке – 4. Отже, ділянка не знає значного впливу двоокису сульфуру.

Можна зробити припущення, що максимальна концентрація  $SO_2$  відмічається на ділянках автомагістралей М02 та М03 з найбільш інтенсивним рухом автотранспорту, в тому числі і вантажного. Тут виявлено лише стійки види лишайників, ступінь проєктивного покриття 10–25 %. Мінімальна концентрація  $SO_2$  відмічається вздовж ділянки автодороги Р44, де виявлено три класи лишайників, ступінь проєктивного покриття 50–75 %.

Спостереження підтверджують наступну закономірність: чим більша інтенсивність руху автотранспорту, тим більш явний вплив на проєктивне покриття лишайників ділянки.

Результати розрахунку індексу І.А.Р. наведені у табл. 2.

Таблиця 2

## Результати розрахунків індексу атмосферної чистоти (І.А.Р)

Ділянка	Загальне число видів на ділянці	Екологічний показник виду, $Q_i$	Оцінка зустрічаємості покриття (за шкалою Браун-Бланке), $F_i$	І.А.Р. фактичне
М03 (Київ – Харків)	3	2	2	0,4
Н12 (Суми – Харків)	5	4	3	1,2
Н07 (Суми – Київ)	6	5	3	1,8
М02 (Київ – Глухів)	3	2	3	0,6
Р44 (Суми – Глухів)	8	7	4	3,2

За цими результатами, найнижчий вплив полутантів зазнає ділянка вздовж автодороги Р44. Найбільшого – М03 та М02, що пояснюється інтенсивним рухом транспорту, в тому числі вантажного (згоряння дизельного автомобільного палива є вагомим джерелом двоокису сірки).

Результати ліхенологічних досліджень та отримані розрахункові значення наведені у табл. 3.

Таблиця 3

## Результати ліхенологічних досліджень

Ділянка	Зона забруднення (за шкалою Браун-Бланке)	Середнє проєктивне покриття, %	Оцінка забруднення	Індекс атмосферної чистоти І.А.Р.	Приблизна концентрація $SO_2$ в зоні забруднення, $mg/m^3$ (ГДК <sub>сд</sub> =0,05)
1	2	3	4	5	6
М02	3 (наявні накипні лишайники)	17	Середнє	0,6	0,05–0,2
М03	2 (на північній стороні зеленуватий наліт водорості)	12	Досить сильне	0,4	0,3
Н07	3 (наявні накипні лишайники)	24	Середнє	1,8	0,05–0,2
Н12	3 (наявні накипні лишайники)	32	Середнє	1,2	0,05–0,2
Р44	4 (наявні листуваті лишайники)	40	Не велике	3,2	<0,05

### 6.2. Результати визначення фітотоксичності ґрунтів методом проростків

Було відібрано ґрунтові зразки з п'яти досліджуваних ділянок (рис. 1). Проби ґрунту відбиралися на відстані 5 м від дороги. Всі проби відбиралися за однакових метеорологічних умов. Відбір проб ґрунту здійснювався згідно ДСТУ ISO 10381:2004 [20]. Відібрані проби було пронумеровано і зареєстровано. Тип ґрунту було визначено [21] як сірі лісові. Середня висота сходів впродовж експерименту наведена в табл. 4.



Таблиця 4

## Середня висота сходів на перший тиждень експерименту

Місце відбору проби	Середня висота сходів на перший тиждень експерименту, см	Середня висота сходів на другий тиждень експерименту, см
M02	–	8,5
M03	–	6,3
H07	1,5	9,5
H12	2,5	6,9
P44	5,25	10,1
Контроль	9,65	14

Впродовж усього періоду вегетації велися фенологічні спостереження, рослини фотографували на різних стадіях росту. Фенологічні спостереження потрібні і дуже важливі в цьому досліді. Мета їх полягає у встановленні відмінностей в зростанні і розвитку рослин в період вегетації в різних пробах ґрунту, часу настання фаз розвитку рослин. Фенологічні спостереження допомагають пояснити позитивні та негативні зрушення в розвитку досліджуваної культури. Результати замірів наведені на рис. 5.

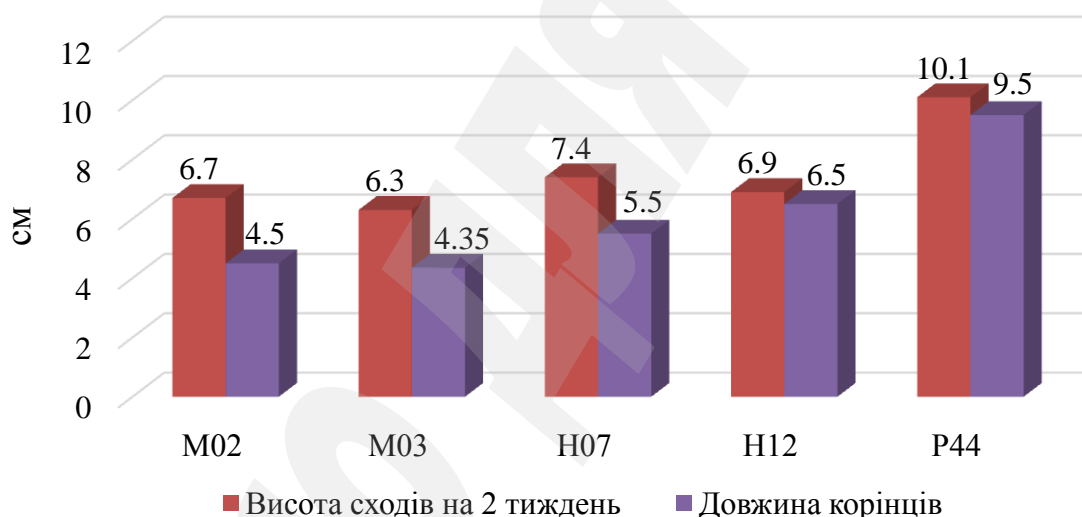
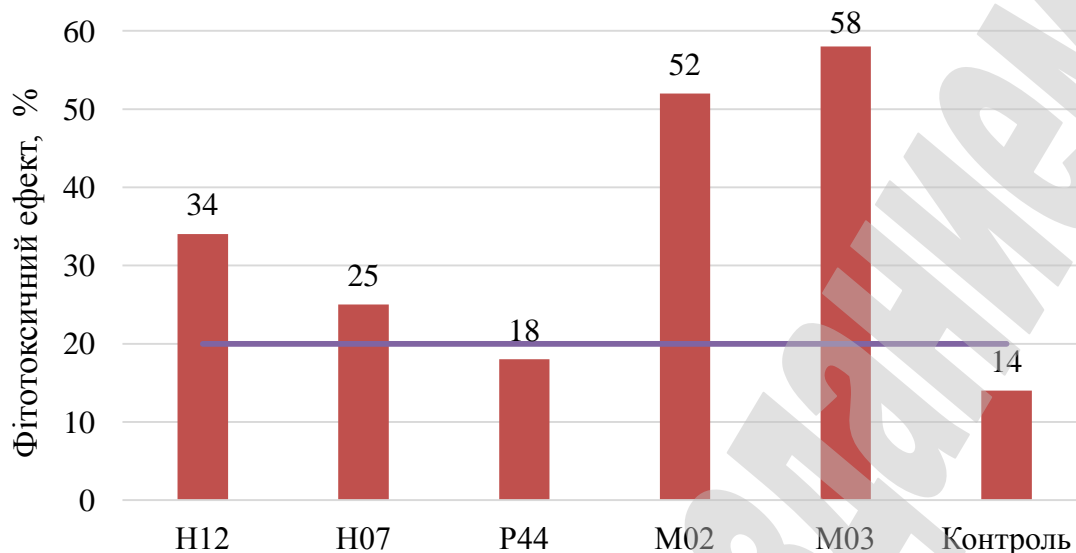


Рис. 5. Графічна інтерпретація результатів досліджень

Результати розрахунку фітоефекту графічно представлені на рис. 6.

Фітотоксична дія вважається доведеною, якщо фітотоксичний ефект (FE) становить 20 % і більше. У досліді фітотоксичний ефект у всіх пробах крім однієї (з ділянки дороги P44) вище 20 %. А найбільші показники 58 % та 52 % відповідають ділянкам вздовж автодоріг M03 та M02, тому в цих зразках фітотоксичність є доведеною.



**Рис. 6.** Графічна інтерпретація результатів розрахунку фітоефекту

Очевидно, що фітотоксичний ефект має прямопропорційну залежність з інтенсивністю руху автотранспорту, а відповідно і з категорією автомобільної дороги. Але постає питання, чому при достатньо істотних відмінностях інтенсивності руху на дорогах міждержавного і національного значення (рис. 1) розраховані значення фітотоксичності мають меншу відмінність. Іншим одним параметром, який впливає на забруднення придорожніх екосистем викидами автотранспорту, є стан дорожнього покриття, а саме наявність вибоїв, ям. Незадовільний стан дорожнього покриття зумовлює зміни параметрів руху автомобіля. Водію доводиться їхати з низькою швидкістю, часто пригальмовувати. Подібні зміни збільшують викиди шкідливих речовин із відпрацьованими газами [22].

## 7. SWOT-аналіз результатів досліджень

*Strengths.* Стан придорожніх екосистем можна оцінити за допомогою біоіндикаційних методів. Це дозволяє швидко і з достатньою точністю визначити ступінь забруднення компонентів екосистеми за безпосередньою реакцією живих організмів на умови середовища. Дані методи не потребують великих матеріальних витрат і додаткового обладнання. Дозволяють проводити експрес-оцінку стану придорожніх екосистем.

*Weaknesses.* Ступінь забруднення визначається приблизно в залежності від реакції тест-об'єкта на фактори середовища. Не можна точно визначити концентрацію забруднюючої речовини, а тільки її діапазон.

*Opportunities.* Дослідження придорожніх екосистем дозволяють проводити експрес оцінку рівня забруднення середовища викидами автотранспорту. Адже рослини-біоіндикатори чітко реагують на присутність таких характерних забруднювачів, як окиси нітрогену, сульфур, карбону, важкі метали тощо. Така оцінка дає можливість провадити багаторічні спостереження. На їх основі можна розробити рекомендації щодо моніторингу придорожніх екосистем та прогнозування їх стану. Результати біоіндикаційних досліджень можуть замінити інструментальні методи вимірювання.

*Threats.* Переважаючий негативний вплив на придорожні екосистеми здійснює безпосередньо автотранспорт, що рухається по автомагістралі. Вплив тим вищий, чим вища кількість газів, що випускається автотранспортом. В свою чергу на цю величину впливають багато параметрів, серед яких найістотнішими є інтенсивність руху автотранспорту, швидкісний режим руху та стан дорожнього покриття.

## 8. Висновки

1. Показано, що рівень забруднення атмосферного повітря двоокисом сульфуру вздовж автомагістралей міждержавного значення перебільшує такий же показник вздовж автомагістралей інших категорій. Тільки вздовж автодороги Р44 концентрація двоокису сульфуру нижча за гранично допустиму. Відповідно на ділянках вздовж доріг М02, Н07 та Н12 концентрація двоокису сульфуру складає від 0,05 до 0,2 мг/м<sup>3</sup>, а на М03 сягає 0,3 мг/м<sup>3</sup>. Це можна пояснити інтенсивним рухом транспорту, в тому числі вантажного. Адже згоряння дизельного палива є вагомим джерелом двоокису сірки.

2. Відповідно до розрахунку фітотоксичності найвищий рівень забруднення ґрунтів вздовж автомагістралей спостерігається вздовж автодоріг М03 та М02 (58 % та 52 % відповідно). А вздовж ділянки дороги Р44 не перевищує норму у 20 % і складає 18 %. Вздовж доріг національного значення Н07 та Н12 цей показник склав 25 % та 34 %.

Дослідження показали, що вплив на придорожні екосистеми залежить від категорії автомобільної дороги, а також її технічного стану. На дорогах із високою інтенсивністю руху транспорту та ділянках з поганим технічним станом полотна рівень впливу вищий.

## Література

1. Bioindikatsiya zagryazneniy nazemnykh ekosistem / ed. by Shubert R. Moscow: Mir, 2008. 348 p.
2. Lukanin V. N., Trofimenko Yu. V. Promyshlenno-transportnaya ekologiya. Moscow: Vysshaya shkola, 2001. 273 p.
3. Bezuglaya E. Yu. Monitoring sostoyaniya zagryazneniya atmosfery v gorodakh. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. 200 p.
4. Air pollution tolerance index and heavy metal bioaccumulation in selected plant species from urban biotopes / Nadgorska-Socha A. et al. // Chemosphere. 2017. Vol. 183. P. 471–482. doi:[10.1016/j.chemosphere.2017.05.128](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.128)
5. Laffray X., Rose C., Garrec J.-P. Biomonitoring of traffic-related nitrogen oxides in the Maurienne valley (Savoie, France), using purple moor grass growth parameters and leaf 15N/14N ratio // Environmental Pollution. 2010. Vol. 158, No. 5. P. 1652–1660. doi:[10.1016/j.envpol.2009.12.005](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.12.005)
6. Bouche M. B. An Integrated Bioindication System Applied to Soil Pollution Assessments: From Earthworms to Ecosystems // Bioindicator Systems for Soil Pollution. 1996. P. 141–153. doi:[10.1007/978-94-009-1752-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-009-1752-1_12)
7. Blinova Z. P. Biotestirovanie pochvennogo pokrova gorodskikh territoriy s ispol'zovaniem prorostkov Raphanus sativus // Vestnik MGOU. Seriya «Estestvennye nauki». 2014. Vol. 1. P. 18–23.

8. Korovina E. V., Satarov G. A. Vklad avtotransporta v transformatsiyu pochvennogo pokrova pridorozhnykh zon // *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii*. 2009. Vol. 3. P. 63–65.
9. Degradatsiya i okhrana pochv / Koptsik G. N. et al. Moscow: MGU, 2002. P. 290–331.
10. An influence assessment the aerial of emissions on ecosystems of a roadside strip of highways // *Modeling of Systems and Processes*. 2016. Vol. 8, No. 3. P. 90–92. doi:[10.12737/17183](https://doi.org/10.12737/17183)
11. The response of epiphytic lichens to air pollution and subsets of ecological predictors: A case study from the Italian Prealps / Cristofolini F. et al. // *Environmental Pollution*. 2008. Vol. 151, No. 2. P. 308–317. doi:[10.1016/j.envpol.2007.06.040](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.040)
12. Romanova E. V. Lishayniki – bioindikatory atmosfernogo zagryazneniya g. Kemerovo // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2012. Vol. 4 (20). P. 203–214.
13. Kryuchkov V. V., Syroid N. A. Lishayniki kak bioindikatory kachestva okruzhayushhey sredy // *Ekologiya*. 1990. Vol. 6. P. 63–66.
14. Trass Kh. Kh. Klassy poleotolerantnosti lishaynikov i ekologicheskiiy monitoring // *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*. 1985. Vol. 7. P. 122–137.
15. Kondratiuk S. Ya. Indykatsiia stanu navkolyshnoho seredovyshcha Ukrainy za dopomohoiu lyshainykyv. Kyiv: Naukova dumka, 2008. 336 p.
16. LeBlanc S. C. F., Sloover J. D. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal // *Canadian Journal of Botany*. 1970. Vol. 48, No. 8. P. 1485–1496. doi:[10.1139/b70-224](https://doi.org/10.1139/b70-224)
17. Lisovitskaya O. V., Terekhova V. A. Fitotestirovanie: osnovnye podkhody, problemy laboratornogo metoda i sovremennyye resheniya // *Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu*. 2010. Vol. 13, No. 1. P. 1–18.
18. MR 2.1.7.2297-07. Obosnovanie klassa opasnosti otkhodov proizvodstva i potrebleniya po fitotoksichnosti. Introduced: December 28, 2007. URL: [https://znaytovar.ru/gost/2/MR\\_217229707\\_Obosnovanie\\_klass.html](https://znaytovar.ru/gost/2/MR_217229707_Obosnovanie_klass.html)
19. Ekologicheskiiy tseentr «Ekosistema». URL: <http://www.ecosystema.ru/08nature/lich/098p.htm>
20. DSTU ISO 10381:2004. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. Chastyna 2. Nاستanovy shchodo metodiv vidbyrannia prob. Vol. VI. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006. 50 p.
21. DSTU ISO 14688-2:2009. Doslidzhennia ta vyprobuvannia heotekhnichni. Identyfikatsiia ta klasyfikatsiia gruntu. Vol. IV. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2011. 11 p.
22. Otsinka vykydiv shkidlyvykh rehovyn vid avtotransportnykh zasobiv / Plyatsuk L. D. et al. // *Ekolohichna bezpeka*. 2011. Vol. 2. P. 116–118.