

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВАСЬКІНА ІРИНА ВАЛЕРІЇВНА



УДК 504.5:621.43.068:711.73:574.4/.5(043.3)

**ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ
НА ПРИДОРОЖНІ ЕКОСИСТЕМИ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2018

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі прикладної екології Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Пляцук Леонід Дмитрович,
Сумський державний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри прикладної екології.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Внукова Наталія Володимирівна,
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екології, м. Харків;

доктор технічних наук, професор
Петрушка Ігор Михайлович,
Національний університет
«Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екологічної безпеки
та природоохоронної діяльності,
перший заст. директора інституту сталого
розвитку імені В. Чорновола, м. Львів.

Захист дисертації відбудеться 29 червня 2018 р. о 14 год 00 хв на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: <http://sumdu.edu.ua/ukr/scientific/scientific-council/32-scientific/scientific-council/5367.html>.

Автореферат розісланий 25 травня 2018 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04



І. Ю. Аблєєва

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Техногенне навантаження на придорожні екосистеми, що створюється викидами двигунів внутрішнього згоряння автомобільного транспорту (токсичні газоподібні компоненти, сажа, важкі метали) є масштабним і перебуває на рівні викидів від стаціонарних джерел, а у великих містах (Київ, Харків, Дніпро) істотно їх перевищує. Україна є транзитною державою, а її зовнішня політика спрямована на збільшення цього показника, тому зростання кількості автомобільного транспорту є невід'ємною частиною розвитку країни. Водночас це здійснює значний дестабілізуючий вплив на екосистеми, що безпосередньо прилягають до автомобільної дороги, зумовлює зниження рівня екологічної безпеки в зоні впливу викидів від пересувних джерел.

Аналіз нормативної документації свідчить про відсутність в Україні закріплених державними стандартами методик урахування техногенного впливу на особливості функціонування придорожніх екосистем. Невирішеними залишаються питання оцінки забруднення придорожніх екосистем з урахуванням факторів, що впливають на кількість викидів від автотранспорту (характеристики транспортно-експлуатаційних показників доріг, метеорологічні й ландшафтні умови місцевості) та особливостей поширення забруднюючих речовин (ЗР) у придорожніх екосистемах залежно від їх типу. Потребує розвитку комплексне оцінювання техногенного навантаження на придорожні екосистеми із застосуванням біоіндикаційних методів.

Під час проектування та будівництва автомобільних доріг ураховується значна кількість параметрів та умов, пов'язаних із станом довкілля. Однак, згідно нормативних документів України, на дорогах другого та третього екологічного класу, до якого відноситься більшість доріг за межами населених пунктів, оцінка впливу на навколишнє середовище на стадії їх проектування здійснюється у скороченому обсязі, а на стадії експлуатації – не передбачена, що є невиправданим з точки зору екологічної безпеки.

Прогнозна оцінка техногенного навантаження на придорожні екосистеми та впровадження нових науково-методичних підходів до прогнозування стану таких екосистем на основі математичного моделювання процесів поширення забруднюючих речовин від автотранспорту відповідають концепції сталого розвитку, є актуальними і своєчасними завданнями, вирішення яких дозволить підвищити рівень екологічної безпеки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри прикладної екології Сумського державного університету за темою «Розробка шляхів поліпшення екологічної ситуації міст і промислових зон» згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України (номер держреєстрації 0111U006335), в якій автор брала участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вдосконалення методики оцінки впливу викидів від автотранспорту на екологічний стан придорожніх екосистем з урахуванням категорії автомобільної дороги.

Завдання дослідження:

- провести аналіз особливостей техногенного впливу викидів від автотранспорту на придорожні екосистеми;
- визначити чинники, що впливають на емісію та поширення забруднюючих речовин від автотранспорту, та на підставі цього удосконалити методіку оцінки кількості викидів від автотранспорту;
- вдосконалити існуючу математичну модель поширення забруднюючих речовин від автомагістралей з урахуванням нестационарності транспортного потоку;
- з метою визначення області забруднення здійснити комп'ютерну візуалізацію поширення викидів відхідних газів від вантажного автотранспорту;
- розробити математичну модель перенесення забруднюючих речовин із поверхні автомагістралі на придорожні ґрунти з атмосферними опадами;
- оцінити стан придорожніх екосистем уздовж ділянок автомагістралей різної категорії за показником флуктуаційної асиметрії листової пластини, зольністю та вмістом важких металів у листі досліджуваних порід дерев;
- оцінити рівень забруднення атмосферного повітря сульфур діоксидом (SO₂) вздовж автомагістралей методом ліхеноіндикації;
- оцінити стан придорожніх ґрунтів шляхом фітотестування за реакцією тест-рослини;
- на підставі проведених досліджень обґрунтувати рекомендації щодо моніторингу придорожніх екосистем.

Об'єкт дослідження – техногенне навантаження на придорожні екосистеми вздовж автомагістралей різної категорії.

Предмет дослідження – закономірності поширення викидів забруднюючих речовин від автотранспорту та їх впливу на придорожні екосистеми.

Методи дослідження. Теоретичні аспекти дисертаційної роботи базуються на системному підході до вирішення проблеми оцінювання впливу автотранспорту на придорожні екосистеми і математичному моделюванні процесів поширення забруднюючих речовин від автотранспорту. Під час проведення експериментальних досліджень були використані такі методи: статистичний (для аналізу динаміки викидів від автотранспорту та аналізу багаторічних даних за біоіндикаційними дослідженнями), ліхеноіндикаційний (для оцінки техногенного забруднення придорожніх екосистем сульфур діоксидом), фітотестування (для оцінки забруднення придорожніх ґрунтів), атомно-абсорбційний (для визначення вмісту важких металів у золі листя), електрохімічний (для визначення вмісту сульфур діоксиду в атмосферному повітрі), титриметричний (для визначення концентрації сульфат-аніонів у воді). За допомогою програм ABBY Finereader 9.0 та Adobe Photoshop 8.0 вимірювали листя досліджуваних порід дерев. Математичне моделювання здійснювали за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel, Statistica 12.0, MatLab. Візуалізація результатів моделювання здійснена із застосуванням пакета прикладних програм Ansys 17.0.

Наукова новизна одержаних результатів. Для підвищення рівня екологічної безпеки на основі виконаних теоретичних досліджень та експериментальних даних одержані такі наукові результати:

– *уперше* для прогнозування техногенного навантаження на довкілля розроблено модель комплексної оцінки впливу викидів від автотранспорту на придорожні екосистеми з урахуванням атмосферного шляху їх забруднення та змивання забруднюючих речовин із дорожнього полотна з атмосферними опадами;

– *уперше* з метою оцінки екологічного стану ґрунтів розроблена математична модель процесу забруднення ґрунтів і рослинності, що дало можливість одержати науково обґрунтовані аналітичні залежності для визначення кількості змитих із поверхні дороги забруднюючих речовин та глибини їх проникнення в ґрунт;

– *уперше* для вдосконалення методичних підходів до оцінки техногенного навантаження на придорожні екосистеми здійснено експериментальні дослідження впливу викидів від автотранспорту на придорожні екосистеми вздовж автомагістралей різної категорії з використанням методів біоіндикації;

– *набула подальшого розвитку* теорія конвективно-дифузійного поширення забруднюючих речовин у придорожній смузі, що дозволило врахувати нестационарність транспортного потоку та процеси атмосферної дифузії, осадження забруднюючих речовин на поверхню дорожнього полотна, ґрунту і рослин;

– *удосконалено* науково-методичні підходи до оцінювання величини викидів від автотранспорту шляхом використання режимно-технічного коефіцієнту, який враховує транспортно-експлуатаційні показники доріг, що дозволяє підвищити точність оцінки техногенного навантаження на придорожні екосистеми.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена модель дозволяє вдосконалити прогнозу оцінку забруднення придорожніх екосистем викидами автотранспорту з урахуванням як атмосферної дифузії, так і змивання з дорожнього полотна та подальшої міграції в ґрунт на етапах проектування та реконструкції автодоріг. Запропонований розрахунок кількості викидів від автотранспорту з урахуванням режимно-технічного коефіцієнта дає можливість підвищити точність оцінки впливу автомагістралей на навколишнє природне середовище під час проектних робіт, на етапі будівництва. Запропонована автором комплексна шкала оцінки техногенного навантаження на придорожні екосистеми дозволяє визначити рівень техногенного навантаження за станом різних компонентів екосистем (атмосферне повітря, ґрунти, рослини тощо) з використанням біоіндикаційних методів дослідження.

Розроблена шкала комплексної оцінки техногенного навантаження на придорожні екосистеми методами біоіндикації використовується ДП «Роменське лісове господарство» для оцінки впливу на лісові екосистеми на ділянках, що прилягають до автомобільних доріг (акт впровадження від 9 жовтня 2017 р.).

Упроваджено в навчальний процес кафедри прикладної екології Сумського державного університету методичні положення моніторингу стану придорожніх екосистем, математичну модель процесу поширення забруднюючих речовин відпрацьованих газів автотранспорту в атмосфері з подальшим їх осіданням на дорожнє полотно та змиванням на прилеглі ґрунти – в дисципліни «Хімія геосистем», «Ландшафтознавство», «Моделювання та прогнозування стану довкілля», «Моніторинг довкілля» (акт впровадження від 19 грудня 2017 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним, завершеним дослідженням автора у галузі екологічної безпеки. Всі основні положення дисертації, що винесено на захист, одержано автором самостійно. Автором сформульовано мету та науково-практичне завдання для можливості проведення оцінки впливу автомагістралей на придорожні екосистеми; систематизовано математичний апарат, що застосовується для оцінки та прогнозування поширення домішок в атмосфері та ґрунті; визначено додаткові фактори впливу параметрів автодороги на кількість викидів; розроблено методику оцінки стану екосистем придорожнього простору, здійснене комп'ютерне моделювання процесів поширення забруднюючих речовин від автотранспорту.

Автором розроблено математичну модель поширення забруднюючих речовин від автомагістралей з урахуванням атмосферного перенесення та змивання їх із дорожнього полотна атмосферними опадами; проведено експериментальні дослідження стану придорожніх екосистем методами біоіндикації (ліхеноіндикація, фітотестування, дослідження флуктуаційної асиметрії), атомної абсорбції, електрохімічним, титрометричним.

Вибір теми дисертаційної роботи, постановка завдань дослідження, обговорення одержаних результатів були проведені разом із науковим керівником – доктором технічних наук, професором Л. Д. Пляцуком. Внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові та практичні результати роботи доповідалися та обговорювалися на II Міжнародній конференції «Сучасні проблеми біології, екології та хімії» (м. Запоріжжя, 2009); Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні проблеми природокористування на сучасному етапі» (м. Харків, 2009); Международной научно-практической конференции при участии молодых ученых «Эколого-правовые и экономические аспекты экологической безопасности регионов» (м. Харків, 2011); Міжнародній науково-практичній конференції «Карпатська конференція з проблем охорони довкілля» (м. Мукачеве, 2001 р.); Международной молодежной научной конференции «Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов» (м. Белгород, 2013); Науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 2015).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових праць: 6 статей, з яких 4 – у спеціалізованих виданнях, що входять до переліку МОН України, 2 – у виданнях, які рецензуються міжнародними

наукометричними базами, та 5 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел, 11 додатків. Загальний обсяг роботи становить 214 сторінок. Дисертаційна робота містить 27 рисунків та 24 таблиці за текстом. Список використаних джерел кількістю 156 найменувань – на 16 сторінках. Додатки розміщені на 36 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, її зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету, завдання досліджень, подано наукову новизну, практичну цінність одержаних результатів, а також особистий внесок здобувача.

Перший розділ присвячений огляду екологічної проблематики техногенного навантаження на придорожні екосистеми, що створюється викидами автотранспорту, та методів його оцінювання і дослідження.

Вивченню особливостей техногенного впливу автотранспорту на навколишнє середовище у різних напрямках – від аналізу техногенного впливу на навколишнє середовище до паливно-екологічних проблем двигунів внутрішнього згоряння – присвячені праці В. В. Амбарцумян, Н. В. Внукової, М. Д. Гольдфейна, І. Є. Євгенєва, Д. Н. Кавтарадзе, П. М. Каніло, В. Н. Луканіна, А. П. Марченко, В. Г. Петрука, Л. Д. Пляцука, Є. Б. Поршневої, І. А. Шегалова, В. М. Шмандія, В. О. Юрченко, А. Delaney, Н.-G. Dossler, Н. Kuhnert, J. Trute та інших.

Аналіз нормативної документації та літературних джерел засвідчив, що на цей час в Україні залишаються невирішеними завдання комплексної оцінки техногенного навантаження на придорожні екосистеми з урахуванням факторів, що впливають на кількість викидів від автотранспорту, та особливостей їх поширення залежно від типу екосистеми. Передбачені законодавством природоохоронні заходи, недостатньо сприяють зниженню техногенного впливу автотранспорту, а їх впровадження є нерівномірним залежно від регіону.

Проведено узагальнення науково-технічної інформації, що стосується особливостей впливу викидів від автотранспорту на придорожні екосистеми та існуючих математичних моделей прогнозування процесів поширення домішок. Проаналізовано позитивні якості та виявлено їх недоліки. Існуючі теоретичні моделі поширення викидів від автотранспорту не враховують певних важливих факторів, таких як пульсаційний характер руху транспортного потоку, транспортно-експлуатаційні показники доріг (стан та якість полотна автодороги, природно-кліматичні умови місцевості, технічний стан автомобіля, швидкісні режими руху, якість автомобільного палива, культура водіння). Більшість моделей описує лише повітряне поширення викидів, не враховуючи процесів їх осідання на полотно автодороги, розчинність газоподібних домішок у атмосферних опадах, умови їх міграції у ґрунтах. Отже, поставлено завдання

створення математичної моделі, яка встановлює залежність між концентраціями забруднювача, його емісією, метеорологічними умовами та особливостями руху транспортних засобів з метою кількісної оцінки процесів перенесення забруднюючих речовин у придорожні екосистеми.

Визначено особливості біоіндикаційної оцінки забруднення навколишнього середовища викидами автотранспорту з використанням різних біоіндикаторів (деревні та злакові рослини, лишайники) та поставлено завдання оцінити стан придорожніх екосистем уздовж автомобільних доріг різної категорії за показником флуктуаційної асиметрії листової пластини, зольністю та вмістом важких металів у листі досліджуваних порід дерев, а також використовуючи методи ліхеноіндикації та фітотестування.

У **другому розділі** описані об'єкт та методи дослідження, методики проведення експериментів та оброблення одержаних результатів.

Для дослідження техногенного навантаження на придорожні екосистеми обрано п'ять ділянок уздовж автомобільних доріг України міждержавного, державного та регіонального значення, на яких визначено інтенсивність руху автотранспорту, склад транспортного потоку, встановлено категорію та екологічний клас згідно діючих нормативних документів. Описано придорожні екосистеми на досліджуваних ділянках. Досліджувалися ділянки таких автомобільних доріг:

1. Автомобільна дорога національного значення на території України Н12 Суми – Полтава (поблизу м. Охтирки);
2. Автомобільна дорога національного значення на території України Н07 Київ – Суми – Юнаківка (поблизу м. Ромни);
3. Автомобільна дорога регіонального значення на території України Р44 Глухів – Суми (поблизу м. Білопілля);
4. Автомобільна дорога міжнародного значення на території України М02 Кіпті – Глухів – Бачівськ (поблизу м. Батурин);
5. Автомобільна дорога міжнародного значення на території України М03 Київ – Харків – КПП Довжанський (поблизу м. Пирятин).

Контрольна ділянка була обрана з урахуванням вимоги щодо виключення впливу автомобільного транспорту та промислових джерел забруднення.

Визначено фактори, що впливають на кількість викидів від автотранспорту і таким чином сприяють зростанню техногенного навантаження:

- транспортні – інтенсивність руху, щільність потоку, швидкісний режим руху, ступінь навантаження автомобіля;
- дорожні – тип і стан дорожнього покриття, коефіцієнт зчеплення й нерівність покриття, рельєф дороги, ширина проїзної частини, стан узбіч, наявність та якість елементів інженерного устаткування;
- погодно-кліматичні – видимість, опади, температура, тиск і вологість повітря, напрям і швидкість вітру відносно ділянки траси;
- культура експлуатації автотранспортного засобу (АТЗ) – кваліфікація і дисциплінованість водіїв, рівень організації керування, якість експлуатаційних матеріалів.

Наведено методики проведення експериментальних досліджень, що передбачають:

- визначення стану придорожніх екосистем уздовж ділянок автомагістралей за показником флуктуаційної асиметрії листової пластини дерев листяних порід та обґрунтування вибору досліджуваної породи (тополя чорна, береза повисла);

- визначення рівня забруднення атмосферного повітря сульфур діоксидом методом ліхеноіндикації за наявністю лишайників, їх видовим складом, проективним покриттям та показником чистоти атмосферного повітря (І.А.Р.);

- визначення рівня забруднення придорожніх ґрунтів за реакцією тест-рослини шляхом відбору проб ґрунту в місцях дослідження та вирощування на них тест-рослини;

- визначення показника зольності та вмісту важких металів у листі деревних порід (тополя чорна, береза повисла) з досліджуваних ділянок атомно-абсорбційним методом;

- визначення вмісту сульфур діоксиду в повітрі електрохімічним методом (за допомогою газоаналізатора Draeger Pac 7000) та у воді титриметричним методом (за допомогою тест-набору VisocolorЕсо Сульфати).

Третій розділ присвячений розробленню теоретичної моделі поширення викидів від автотранспорту з подальшим їх осіданням у придорожніх екосистемах та міграцією в ґрунті. Для вирішення цього завдання необхідно створити комплекс математичних моделей. Основними в цій системі є модель конвективно-дифузійного перенесення в атмосфері, що визначає надходження забруднюючої речовини на поверхню ґрунту і рослин, та модель перенесення забруднення зі зливовими стоками з поверхні автодороги. Ці моделі дають можливість визначити концентрації забруднюючих речовин на поверхні ґрунту і рослин та глибину проникнення ЗР у ґрунт.

Поширення забруднюючих речовин у придорожній смузі здійснюється перенесенням потоками повітря (адвективна і конвективна складові) та дифузійною (флуктуаційні рухи щодо процесу перенесення). Забруднююча речовина, що переноситься повітряним потоком із певною швидкістю, має концентрацію $C(x, y, z, t)$ і поширюється всередині циліндричної області G із поверхнею S , що складається з площ бокової поверхні циліндра Σ_σ , нижньої основи Σ_0 (за $z = 0$) та верхньої основи Σ_H (за $z = H$). За висоту H для автотранспортних джерел необхідно брати верхню межу приземного шару, в якому спостерігається зростання швидкості вітру з висотою. Всередині області маємо джерело ЗР з інтенсивністю f .

Математичне моделювання поширення легких газоподібних складових викидів здійснюємо на основі рівняння конвективної дифузії:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} + \frac{\partial(vC)}{\partial y} + \frac{\partial(wC)}{\partial z} + \delta C = DC + f, \quad (1)$$

де δ – коефіцієнт, що враховує реакції ЗР з навколишнім середовищем;

D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$; C – концентрація забруднюючої речовини, $\text{мг}/\text{м}^3$; f – інтенсивність джерела викидів, $\text{кг}/\text{с}$; u, v, w – компоненти швидкості повітряного потоку, $\text{м}/\text{с}$.

Для важких забруднюючих речовин (пил, сажа, важкі метали) була врахована дія сили тяжіння через w_g – абсолютну величину вертикальної швидкості частинок під дією сили тяжіння ($\text{м}/\text{с}$).

Було задано початкові умови $C = C_0$ при $t = 0$ та граничні умови $C = C_s$ на Σ , $\frac{\partial C}{\partial z} = \alpha C$ на Σ_0 , $\frac{\partial C}{\partial z} = 0$ на Σ_n , $w = 0$ при $z = 0, z = H$, де $\alpha \leq 0$ – функція, що характеризує взаємодію речовини з підстилаючою поверхнею.

У результаті розв'язання рівняння (1) одержали залежність для визначення концентрацій газоподібних складових викидів:

$$C_z = \frac{g_z}{4\pi D_z} (1,48 - 1,7U + 0,725U^2 - 0,108U^3) \exp\left(\frac{v_e}{4\pi D_z}\right), \quad (2)$$

де C_z – концентрація газоподібних складових викидів, $\text{мг}/\text{м}^3$; g_z – кількість газоподібних ЗР, що викидаються двигуном, $\text{мг}/\text{с}$; $U = \frac{v_e \sqrt{x^2 + z^2}}{\sqrt{D_z D_e}}$ – комплекс,

що враховує швидкість вітру та дифузійні процеси; D_z, D_e – горизонтальна та вертикальна складові коефіцієнта дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$; v_e – швидкість вітру, $\text{м}/\text{с}$.

Поширення ЗР у повітрі має хвильовий характер, що спричинено дискретністю транспортного потоку та мінливістю погодних умов (атмосферного тиску, вологості, температури, напряму й швидкості вітру). Розв'язок рівняння дифузії в цьому разі подамо у вигляді

$$C = C_{cp} + C_p, \quad (3)$$

де C_p – періодична частина, що накладається на концентрацію C_{cp} , обумовлену середнім потоком маси $g_L \cdot t_1/t$ на поверхні. Середня концентрація C_{cp} визначається в результаті розв'язання рівняння дифузії для легких газоподібних ЗР та аерозолів, що містять важкі метали, сажу.

Періодична складова концентрації C_p має такий вигляд:

$$\begin{cases} C_p = (2g_i t_1 / a\Lambda)(D / \pi t)^{0,5} (1-a)b^{0,5} - \pi^{-0,5} I_0(a, b) \text{ при } 0 < b < a, \\ C_p = (2g_i t_1 / a\Lambda)(D / \pi t)^{0,5} (1-a)b^{0,5} - (b-a)^{0,5} \pi^{-0,5} I_0(a, b) \text{ при } a < b < 1, \end{cases} \quad (4)$$

де g_i – кількість i -ї ЗР, що викидається двигуном, $\text{мг}/\text{с}$; t_1 – час, упродовж якого надходить потік маси ЗР від автомобіля, що проїздить, с; $a = t_1/t$; $t-t_1$ – час, упродовж якого надходження ЗР відсутнє, с; Λ – довжина періоду хвильового процесу; b – відносний час після початку періоду забруднення смуги автомобілем ($0 < b < a$); $I_0(a, b)$ – інтегральна функція.

Для врахування хвильового характеру поширення домішок в атмосфері за змінного характеру руху автотранспорту автомагістраллю та змінності метеорологічних умов уведемо одиничну функцію $\varphi(\tau)$. Характер поведінки її такий:

$$\begin{cases} \varphi(\tau) = 0, & \tau < 0, \\ \varphi(\tau) = 1, & nt < \tau < nt + t_1, \\ \varphi(\tau) = 0, & nt + t_1 < \tau < (n+1) \cdot t, \quad n = 0, 1, \dots \end{cases} \quad (5)$$

За відсутності руху щільність потоку ЗР віднесена до одиниці шляху g_L , мг/м, тобто при $\tau < 0$ та $nt + t_1 < \tau < (n+1)t$ дорівнює 0, а за наявності руху автотранспорту автомагістраллю – дорівнює $1 + g_L$. Це дозволяє одержати середнє значення параметра g_L у вигляді:

$$g_L = \frac{1}{L} \int_0^L \varphi g_i \partial L, \quad (6)$$

де L – довжина шляху, м.

Концентрацію важких частинок у повітрі визначаємо за формулою

$$C_6 = \frac{Q}{4\pi D_z t} \exp \left[- \left(\delta + \frac{w_g + \alpha D_6}{H_a} \right) t + \frac{x^2 + (y - v_6 t)^2}{4D_z t} \right], \quad (7)$$

де C_6 – концентрація важких частинок в аерозольній хмарі під час її переміщення в напрямку, перпендикулярному до автодороги, мг/м³; t – час впливу, с.

Горизонтальну D_z і вертикальну D_6 складові коефіцієнта турбулентної дифузії виражаємо через стандартні гаусові відхилення:

$$D_z = \frac{\sigma_z^2 w y}{2y}, \quad D_6 = \frac{\sigma_6^2 w g}{2y}, \quad (8)$$

де σ_z та σ_6 – параметри, що залежать від відстані y та напрямку вітру.

Під впливом природних умов певна частина ЗР випадає на підстилаючу поверхню, де з часом розчиняється у дощових стоках, а основна частина ЗР у результаті абсорбції розчиняється у дощових краплях та випадає у вигляді кислих опадів на поверхню, мігруючи в ґрунти. В якості фізичної моделі розглядаємо підстилаючу поверхню придорожньої смуги, вкриту шаром дощових крапель.

Забруднюючі речовини абсорбуються дощовими краплями під час опадів. Вихідна концентрація ЗР у дощових стоках зумовлена їх концентрацією у повітрі та залежить від швидкості абсорбції, мг/(с·м³), і розчинності ЗР у воді, м³/м³.

Міграція забруднюючих речовин за глибиною ґрунтового профілю відбувається під дією фільтрації забрудненої рідини в зернистому матеріалі ґрунту. З урахуванням швидкості фільтрації рівняння руху забруднюючих речовин у воді, що рухається в порах ґрунту, запишемо у вигляді

$$m \frac{\partial C_p}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_p}{\partial z^2} - \mathcal{G} \frac{\partial C_p}{\partial z} + \lambda C_p, \quad (9)$$

де m – пористість ґрунту, м³/м³; C_p – концентрація ЗР у рідині, кг/м³; D – коефіцієнт дифузії, м²/с; \mathcal{G} – швидкість фільтрації, м/с; λ – швидкість адсорбції газу поверхнею частинок ґрунту, в частках в одиницю часу, с⁻¹.

Застосувавши до рівняння (9) перетворення Лапласа, одержимо рівняння для визначення концентрації розчинних домішок у ґрунті:

$$C_p(t, z) = C_0 \exp \left[- \left(\lambda \frac{\mathcal{G}^2}{4D} \right) \frac{t}{m} \right] + \exp \left(z \sqrt{\frac{\psi}{D}} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{z + 2t \sqrt{\frac{\psi}{D}}}{2t \sqrt{\frac{D}{m}}} \right) - C_0 \exp \left(- \frac{\lambda t}{m} \right) \times$$

$$\times \left\{ \exp \left(- \frac{z \mathcal{G}}{2D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{z - \frac{\mathcal{G}t}{m}}{\sqrt{\frac{Dt}{m}}} \right) + \frac{1}{2} \exp \left(\frac{\mathcal{G}z}{2D} \right) \cdot \left[\exp \left(- z \sqrt{\frac{\psi}{D}} \right) \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{z - 2t \sqrt{\frac{\psi}{D}}}{2t \sqrt{\frac{D}{m}}} \right) + \right. \right.$$

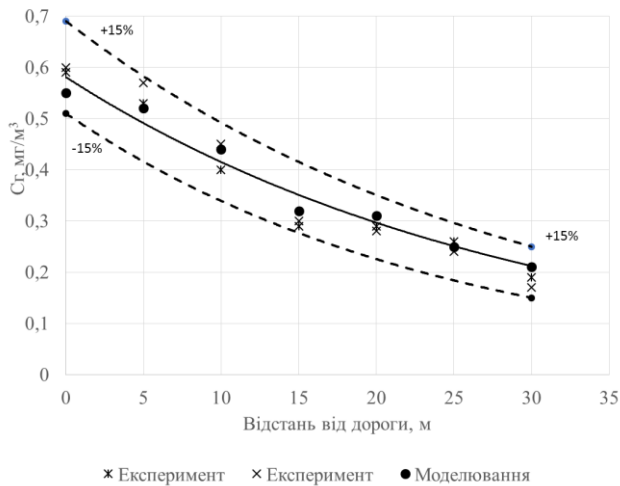
$$\left. \left. + \exp \left(\frac{z \mathcal{G}}{2D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{z - \frac{\mathcal{G}t}{m}}{\sqrt{\frac{Dt}{m}}} \right) \right] \right\}, \quad (10)$$

де $\psi = \lambda + \frac{\mathcal{G}^2}{4D}$.

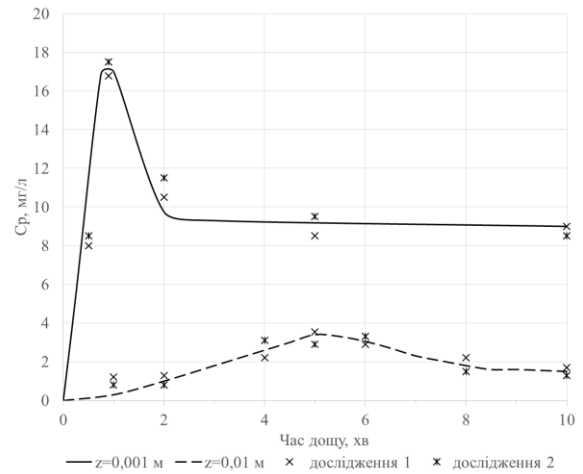
Забруднюючі речовини переміщуються за ґрунтовым профілем із гравітаційною водою під дією різності тисків. Швидкість фільтрації залежить від пористості ґрунту та інтенсивності надходження дощових вод на його поверхню. На основі закону Дарсі одержимо рівняння для визначення глибини просочування $z(t)$ ЗР у ґрунт:

$$z(t) = m \frac{dz}{dt} = k \frac{qt + z(1-m) + h_k - \frac{P_a}{\gamma}}{z}, \quad (11)$$

де k – коефіцієнт фільтрації, м/с; q – товщина шару дощової води, м; h_k – висота капілярного підняття, м; P_a – атмосферний тиск, Па; γ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м; z – глибина просочування, м.



а) концентрація SO₂ у повітрі залежно від відстані від дороги



б) зміна концентрації сульфур діоксиду під час дощу

Рисунок 1 – Порівняння результатів моделювання та експериментальних досліджень

Для перевірки адекватності розробленої математичної моделі було здійснено теоретичний розрахунок та експериментальне визначення вмісту сульфур діоксиду в повітрі біля автомобільної дороги Н12 (рис. 1 а) та у воді на поверхні ґрунту (на тій самій ділянці під час дощу) (рис. 1 б). Експериментальні дані задовільно корелюються з розрахунковими. Розбіжність не перевищує 15 %.

З метою визначення області забруднення здійснено візуалізацію процесів поширення забруднюючих речовин від вантажного автомобіля в придорожній екосистемі (рис. 2, 3) за допомогою програмного продукту Ansys 17.0.

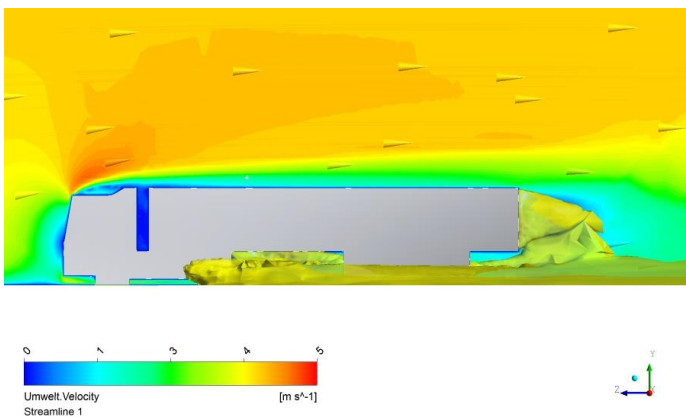


Рисунок 2 – Розподіл швидкостей і утворення вихорів навколо вантажного автомобіля

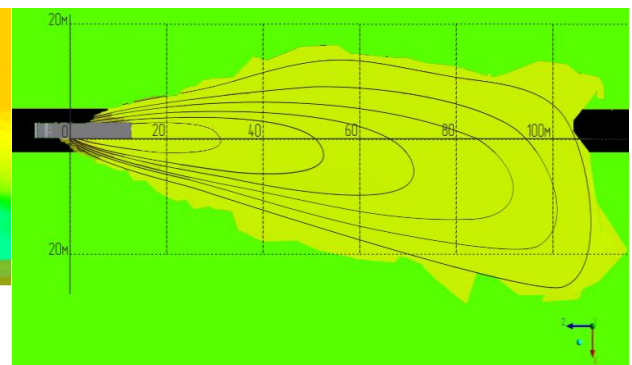


Рисунок 3 – Поширення забруднюючих речовин від одиночного вантажного автомобіля

Комп'ютерна візуалізація показала, що відстань, на яку поширюються ЗР, становить порядку 110 м за віссю дороги. Поширення ЗР від дороги відбувається на відстань 20–30 м (за відсутності вітру). За наявності вітру буде

відбуватися зміна конфігурації хмари відповідно до напрямку та сили вітру, що враховується в запропонованих аналітичних залежностях.

Удосконалено методику оцінки кількості викидів від автотранспорту через уведення режимно-технічного коефіцієнта K_p , що враховує визначені у розділі 2 фактори впливу. Питомий викид i -групи АТЗ, що проїжджає ділянкою магістралі Q_i , визначаємо за таким виразом:

$$Q_i = K_p \cdot \varepsilon_i \cdot q_a, \quad (12)$$

де K_p – режимно-технічний коефіцієнт, що враховує швидкісні режими руху АТЗ, технічний стан доріг і автомобілів, оснащеність дорожньої мережі та інші фактори; ε_i – частка i -групи АТЗ з i -м паливом (бензиновим, дизельним, газовим); q_a – питомий викид на одиницю автотранспорту, т/од.

Режимно-технічний коефіцієнт K_p розраховуємо як суму коефіцієнтів:

$$K_p = C_n + C_d + C_a + C_m + C_{кл} + C_e, \quad (13)$$

де C_n – коефіцієнт, що враховує опір АТЗ потоку повітря; C_d – коефіцієнт, що враховує дорожні умови (поздовжній профіль, ширина дороги, тип і стан покриття, нерівності, радіус кривизни, повороти і т. д.); C_a – коефіцієнт, що враховує технічний стан автотранспорту (термін експлуатації, тип двигуна і палива, надійність двигуна, маса та вантажопідйомність, форма кузова, стан ходової частини); C_m – транспортний коефіцієнт, що враховує щільність потоку, режим руху, вид вантажу; $C_{кл}$ – коефіцієнт для оцінювання впливу атмосферно-кліматичних умов (температура повітря, барометричний тиск, вологість, опади, видимість); C_e – коефіцієнт, що враховує рівень експлуатації автомобіля (кваліфікація і дисципліна водія, контроль дорожньою поліцією ділянки дороги).

Четвертий розділ присвячений експериментальним біоіндикаційним дослідженням техногенного навантаження на придорожні екосистеми, які вперше проведені комплексно для ділянок уздовж автомобільних доріг різної категорії. Для забезпечення цієї мети було досліджено вплив на деревну рослинність (показники флуктуаційної асиметрії (ФА) листової пластини, зольність листя та вміст у ньому важких металів), на атмосферне повітря (методом ліхеноіндикації) та ґрунти (методом фітотестування).

В якості досліджуваних порід дерев було обрано тополь чорну (*Populus nigra L.*) та березу повислу (*Betula pendula Roth*), які були характерними для всіх досліджуваних ділянок. За величиною ФА листя тополі чорної можна констатувати, що у цього виду спостерігаються відхилення від норми вище від середнього, а це свідчить про підвищений рівень забруднення всіх досліджуваних територій (рис. 4). Найбільші відхилення від норми спостерігаються у листі з ділянок доріг М03, М02 та Н12. Ці автомагістралі характеризуються найбільшою інтенсивністю руху автотранспортних засобів. Крім того, стан дорожнього покриття автодороги Н12 є незадовільним.

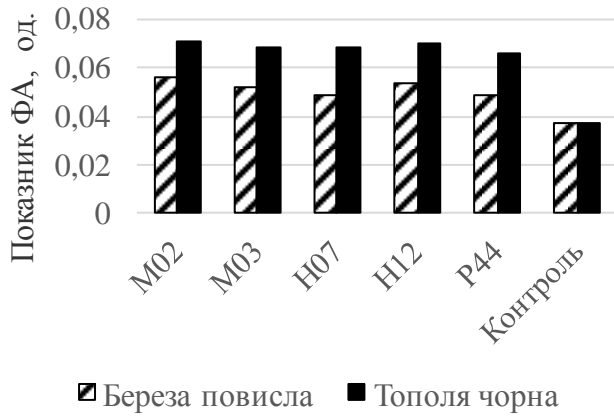


Рисунок 4 – Показник флуктуаційної асиметрії листа досліджуваних порід дерев

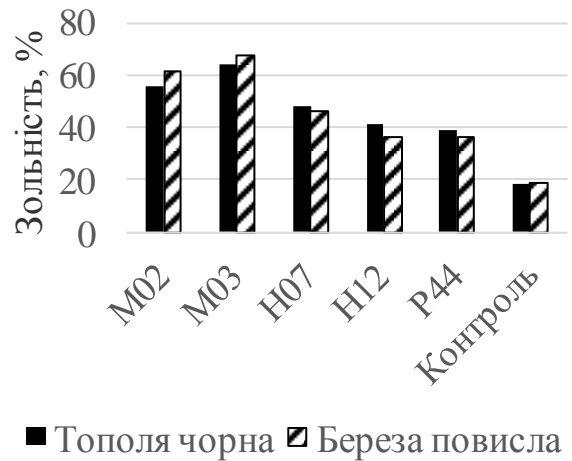


Рисунок 5 – Показник зольності (%) листа досліджуваних порід дерев

Дослідження накопичення зольних елементів у листі тополі чорної і берези повислої дозволяють зробити висновок про те, що тополя чорна є більш сильним поглиначем ЗР, ніж береза повисла. Одержані дані свідчать, що, перебуваючи в однакових умовах зростання, тополя накопичує більше неорганічних речовин, ніж береза (рис. 5). Зольність листа більше ніж 50 % свідчить про високий рівень забруднення атмосфери. Такий показник було зафіксовано на ділянках автодоріг М03 та М02.

Для оцінки впливу важких металів (мідь, цинк) на придорожні екосистеми було проведено дослідження вмісту важких металів у листі аналізованих порід дерев. Уміст солей важких металів у золі листа тополі чорної та берези повислої наведений на рис. 6, 7.

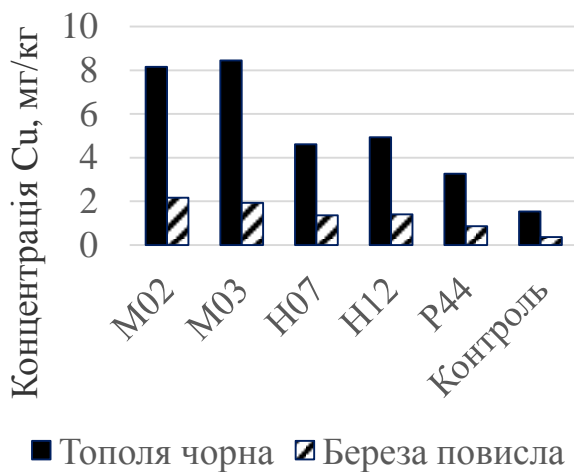


Рисунок 6 – Уміст міді у золі досліджуваних порід дерев

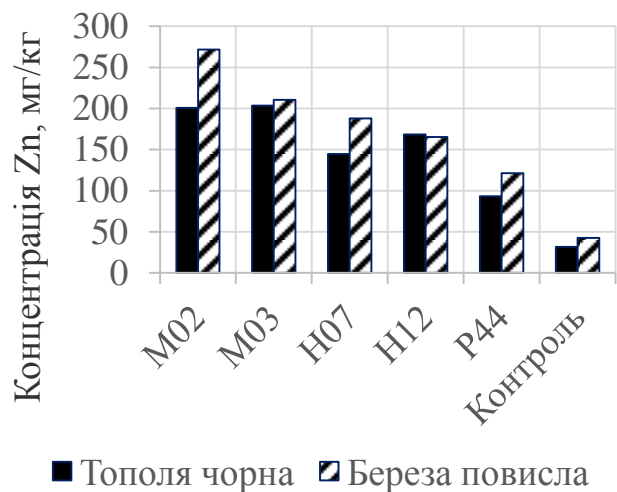


Рисунок 7 – Уміст цинку у золі досліджуваних порід дерев

У золі листя берези повислої з різних ділянок уміст цинку досягає 271,55 мг/кг, міді – 2,16 мг/кг, а в золі тополі чорної – 203,41 мг/кг та 8,45 мг/кг відповідно. У золі листя досліджуваних рослин у кількісному відношенні переважає цинк. Найбільша його кількість виявлена у пробах із ділянок магістралей М03 та М02. Установлено, що цинк інтенсивніше накопичує береза повисла, а мідь – тополя чорна.

Під час проведення ліхенологічних досліджень було проаналізовано наявність і видовий склад лишайників на досліджуваних ділянках. Для оцінки забруднення атмосфери досліджували дерева по обох боках від дороги. Були визначені такі параметри: загальна кількість видів лишайників; міра покриття сланями лишайників кожного дерева; частота та кількість кожного виду.

Лишайники, що були виявлені на досліджуваних ділянках, було класифіковано за чутливістю. Виявлено, що найбільша частка (60 %) припадає на стійкі лишайники (клас Т – Tolerance), що свідчить про підвищений уміст оксидів сірки в атмосферному повітрі на досліджуваних ділянках. Середнє проективне покриття лишайників на досліджуваних ділянках коливається від 12 до 40 %. Числове значення цього показника характеризує рівень забрудненості ділянок: чим більше значення, тим нижчий рівень забруднення. Результати ліхенологічних досліджень, зокрема розрахована величина показника чистоти атмосферного повітря, наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати ліхенологічних досліджень

Ділянка	Зона забруднення (за шкалою Браун-Бланке)	Середнє проективне покриття, %	Індекс чистоти атмосферного повітря (І.А.Р.)	Концентрація SO ₂ у зоні забруднення, мг/м ³	Оцінка забруднення
М02	3 – наявні накипні лишайники	17	0,6	0,05–0,2	Середнє
М03	2 – накипних форм мало, на північній стороні стовбура наліт водорості	12	0,4	0,3	Досить сильне
Н07	3 – наявні накипні лишайники	24	1,8	0,05–0,2	Середнє
Н12	3 – наявні накипні лишайники	32	1,2	0,05–0,2	Середнє
Р44	4 – наявні листуваті лишайники	40	3,2	< 0,05	Невелике
Контроль	5 – наявні всі типи лишайників	57	4,0	< 0,05	Невелике

Максимальна концентрація SO₂ відзначається на ділянках автомагістралей М02 та М03 із найбільш інтенсивним рухом автотранспорту, зокрема і вантажного. Тут виявлені лише стійкі види лишайників, ступінь проективного покриття 10–25 %.

Мінімальна концентрація SO_2 відзначається вздовж ділянки автодороги Р44, де виявлено три класи лишайників, ступінь проективного покриття 50–75 %.

Для аналізу екологічного стану ґрунтів у досліджуваних придорожніх екосистемах, було відібрано ґрунтові зразки та застосовано метод фітотестування. За тест-культуру було обрано овес, що має підвищену чутливість до забруднення ґрунту, відрізняється швидким проростанням насіння і майже стовідсотковою схожістю, яка помітно зменшується за наявності поллютантів.

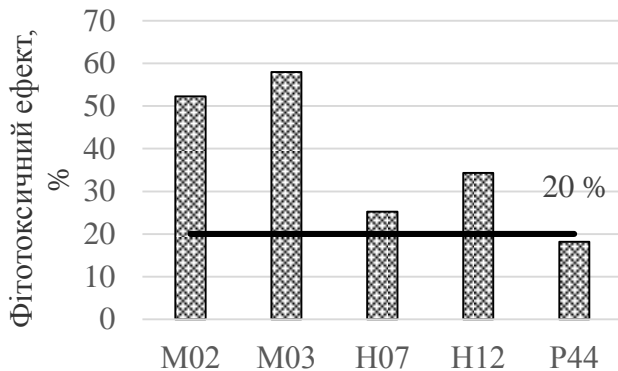


Рисунок 8 – Результати розрахунку фітотоксичного ефекту

Для оцінювання токсичності ґрунту було визначено фітотоксичний ефект, який залежить від середньої довжини коренів досліджуваної рослини в досліді та в контролі. Результати подані на рис. 8.

Фітотоксичний ефект вважається доведеним, якщо перевищене значення 20 %. У досліді фітотоксичний ефект у всіх пробах, крім однієї (з ділянки дороги Р44), вищий ніж 20 %.

А найбільші показники, 58 % та 52 %, відповідають ділянкам уздовж автодоріг М03 та М02.

У ході проведених досліджень стало очевидним, що техногенне навантаження має прямо пропорційну залежність від інтенсивності руху автотранспорту, а відповідно і категорії автомобільної дороги.

Необхідно зауважити, що при достатньо істотних відмінностях інтенсивності руху на дорогах міждержавного і національного значення рівень техногенного впливу часто відрізняється не істотно. Проаналізувавши дорожнє покриття та дорожні умови на ділянках відбору проб, було виявлено наявність вибоїн, напливів на асфальтному покритті. Це зумовлює зміни параметрів руху автомобіля. Водію доводиться їхати з низькою швидкістю, часто пригальмовувати. Подібні зміни збільшують викиди шкідливих речовин із відпрацьованими газами і відповідно збільшують техногенне навантаження на придорожні екосистеми.

У **п'ятому розділі** надані методичні рекомендації щодо моніторингу придорожніх екосистем. Інструментальні методи моніторингу доволі дорогі і трудомісткі, тому моніторинг придорожніх екосистем доцільно здійснювати методами біоіндикації.

Для прогнозної оцінки техногенного навантаження на придорожні екосистеми на етапах будівництва та реконструкції автодоріг необхідно використовувати розрахунки за допомогою ЕОМ згідно з розробленою математичною моделлю.

Як показують теоретичні та експериментальні дослідження поширення ЗР у придорожні екосистеми, максимальні концентрації їх спостерігаються на відстані 5–10 м від краю дороги. А основна маса забруднюючих речовин осідає у зоні 30 м від дороги.

На основі розроблених математичних моделей порядок оцінки техногенного навантаження на придорожні екосистеми та моніторинг за їх станом доцільно проводити за алгоритмом, наведеним на рис. 9.

Залучення математичного моделювання процесів перенесення та трансформування поллютантів в екосистемах дозволяє одержати більш точні прогнози наслідків техногенного впливу.

Вирішення теоретичних і практичних завдань екологічної безпеки, моніторингу придорожніх екосистем, розглянуті в цій роботі, дозволяють розширити більшість питань науково-методичного забезпечення, обґрунтувати теоретичну базу для подальшого розвитку методології проектування автодоріг.

Одержані результати досліджень дозволяють удосконалити підходи до моніторингу придорожніх екосистем з урахуванням особливостей їх розташування.

Оцінювання рівня техногенного впливу на придорожні екосистеми зручно робити графічно, користуючись розробленою автором таблицею, наведеною нижче (табл. 2). Для досягнення об'єктивності біоіндикаційні методи потрібно використовувати у кількості не менше трьох, обираючи їх так, щоб проаналізувати вплив на різні компоненти екосистеми (атмосфера, ґрунти, рослини, водні ресурси). Характеристика техногенного навантаження визначається простою більшістю зафіксованих рівнів. Якщо рівень техногенного навантаження неможливо оцінити точно через рівну кількість показників з однаковою характеристикою (наприклад, два показники показали високий рівень забруднення, а два – вищий від середнього), то беруть вищий із двох рівнів.

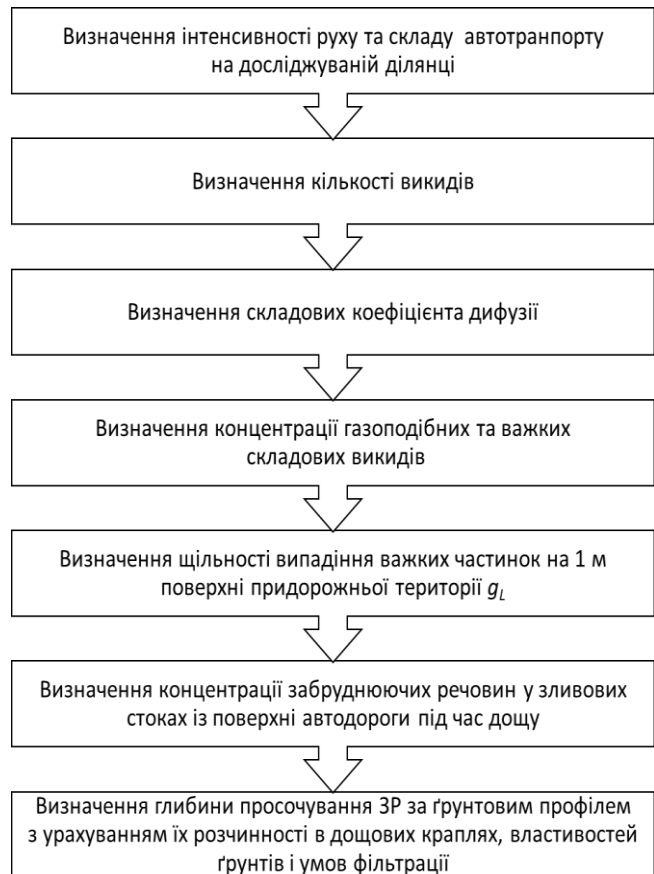


Рисунок 9 – Алгоритм моніторингу стану придорожніх екосистем на основі розробленої математичної моделі

Таблиця 2 – Комплексна шкала оцінювання техногенного навантаження на придорожні екосистеми з використанням біоіндикаційних методів

Показник біоіндикаційного контролю	Характеристика техногенного навантаження			
	Низький рівень IV	Середній рівень III	Вищий від середнього II	Високий рівень I
Показник флуктуаційної асиметрії (ФА)	< 0,040	0,041–0,054	0,055–0,070	> 0,071
Показник зольності рослинного матеріалу	< 20 %	20–40 %	40–50 %	> 50 %
Коефіцієнт чистоти атмосферного повітря (І.А.Р.)	> 2	1,0–2,0	0,5–1	< 0,5
Наявність лишайників	Кущисті лишайники	Листуваті та накипні лишайники, кущисті відсутні	Накипні лишайники	Лишайники відсутні або їх мало
Проективне покриття лишайників	> 50 %	25–50 %	10–25 %	< 10 %
Значення фітотоксичності ґрунту	< 20 %	20–30 %	30–40 %	> 40 %

Відповідно до запропонованої шкали було оцінено техногенне навантаження на досліджувані ділянки автодоріг. Ділянки автодоріг М02 та М03 характеризуються високим рівнем техногенного навантаження, Н07 та Н12 – рівень техногенного навантаження вищий від середнього, Р44 – середній рівень навантаження.

На підставі комплексу проведених досліджень та аналізу нормативної документації рекомендується при проектуванні автодоріг здійснювати наступні заходи, впровадження яких дозволить знизити техногенний вплив на придорожні екосистеми та підвищити рівень екологічної безпеки:

- впровадити системи регулярного (не рідше 1 разу на рік) екологічного моніторингу автомобільних доріг всіх категорій та екологічних класів із застосуванням запропонованої математичної моделі;

- впровадити в екологічний моніторинг придорожніх екосистем комплексну шкалу оцінювання техногенного навантаження на придорожні екосистеми біоіндикаційними методами, з подальшим розширенням показників контролю;

- для перешкоджання поширенню полутантів за межі захисної смуги та зниження рівня забруднення провести реконструкцію захисних лісосмуг з приведенням їх до рівня, що відповідає перспективним екологічним вимогам;

- при проектуванні захисних лісосмуг використовувати газостійкі та солестійкі види рослин (дерева та чагарники), які дають також можливість отримати репрезентативні дані біомоніторингу;

- з метою захисту придорожніх ґрунтів створювати у захисній смузі автомобільних доріг стійкий до забруднення трав'яний покрив із

використанням рекомендованих нормативними документами сумішей трав;

– вжити заходів щодо регулювання сільськогосподарської діяльності в захисній смузі автодоріг: заборонити вирощування овочевих, зернових і кормових культур, ближче ніж на 50 м від дорожнього полотна через ризик перевищення показників гранично допустимих доз у сільськогосподарській продукції.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне питання щодо оцінювання та прогнозування техногенного впливу автомагістралей на придорожні екосистеми. Визначено, що інтенсивний рух автотранспорту чинить дестабілізуючий вплив на всі види екосистем, обумовлюючи тим самим зниження рівня екологічної безпеки в зоні впливу викидів.

1. Здійснено аналіз особливостей техногенного впливу автомагістралей на придорожні екосистеми з метою постановки завдання дослідження. Визначено, що переважний вплив на кількість викидів в атмосферне повітря здійснюється при нерівномірному русі автотранспорту – розгоні, гальмуванні, русі з малою швидкістю (30–50 км/год). Також визначено, що істотний вплив на стан придорожніх екосистем у період експлуатації автодоріг здійснює стан дорожнього покриття.

2. Для коректного прогнозування техногенного впливу викидів автотранспорту на придорожні екосистеми визначено чинники, що впливають на емісію та поширення забруднюючих речовин, що дозволило удосконалити методику оцінки кількості викидів від автотранспорту. Запропоновано використання режимно-технічного коефіцієнта, який враховує такі показники, як аеродинамічний опір автотранспортного засобу потоку повітря, дорожні умови, технічний стан автотранспорту, щільність потоку, режим руху, атмосферно-метеорологічні умови, рівень експлуатації автомобіля.

3. З метою прогнозування техногенного навантаження на довкілля розроблено математичну модель та одержано аналітичні залежності для оцінки концентрацій забруднювачів у повітрі, що дозволяє врахувати нестационарність транспортного потоку та визначити середні концентрації газоподібних домішок та важких частинок, урахувавши дифузійні процеси в приземному шарі повітря. Для підтвердження математичної моделі здійснено експериментальне визначення концентрації сульфур діоксиду в атмосферному повітрі на різній відстані від дороги на прикладі автомагістралі Н12. Розбіжність теоретичних розрахунків та результатів інструментального вимірювання становить 15 %, що є допустимим рівнем.

4. Для визначення області забруднення здійснено візуалізацію процесів емісії забруднюючих речовин від вантажного автотранспорту в придорожні екосистеми з використанням прикладного пакета Ansys 17.0, завдяки чому одержано поля концентрацій відповідних шкідливих речовин у придорожній зоні та визначено місця вторинного занесення осілих шкідливих домішок з дорожнього полотна в атмосферне повітря.

5. Розроблено математичну модель розчинності забруднюючих речовин у дощових стоках та їх подальшої міграції у ґрунті з урахуванням виду ЗР, типу ґрунту та інтенсивності атмосферних опадів. Одержано аналітичні залежності, що дозволяють прогнозувати забруднення екосистем придорожньої смуги шляхом змивання осілих ЗР із поверхні дороги атмосферними опадами. Визначено зміну концентрації сульфур діоксиду в дощовій воді на поверхні ґрунту залежно від тривалості дощу розрахунковим та експериментальним шляхом. Одержані експериментальні дані задовільно корелюються із розрахунковими (відхилення не перевищує 15 %).

6. Для оцінки техногенного впливу викидів від автотранспорту на деревну рослинність визначено інтегральний показник флуктуаційної асиметрії листя тополі чорної та берези повислої, а також зольність листя та вміст у золі листя важких металів. З'ясовано, що забруднення придорожніх екосистем уздовж автомагістралі М02 характеризується як «дуже сильне», М03, Н12 та «вище від середнього». Вздовж автодоріг Н07 та Р44 рівень забруднення характеризується як «вище від середнього» (за показником ФА тополі чорної) та «відчутне забруднення» (за показником ФА берези повислої). Величина зольності змінюється з 36 % (автодорога Р44) до 67,53 % (автодорога М03) і відповідає характеристиці забруднення досліджуваних ділянок, одержаної відповідно до розрахунку показника ФА. Вміст важких металів (цинк та мідь) у золі листя досліджуваних дерев сягає максимуму 271,55 мг/кг (для цинку) та 8,16 мг/кг (для міді) на ділянці автодороги М02. Мінімальні значення вмісту важких металів зафіксовано вздовж ділянки автодороги Р44.

7. З метою оцінки техногенного навантаження на придорожні екосистеми досліджено видовий склад, проективне покриття лишайників та розрахований індекс чистоти атмосферного повітря на досліджуваних ділянках. Проведені дослідження показали, що концентрація сульфур діоксиду вздовж ділянок автодоріг М02, М03, Н07 та Н12 перевищує ГДК_{сд} (0,05 мг/м³), сягаючи максимуму 0,3 мг/м³ на ділянці вздовж автомагістралі М03. На ділянці автодороги Р44 цей показник не перевищує ГДК 0,05 мг/м³.

8. З метою оцінювання екологічного стану придорожніх ґрунтів здійснено визначення фітотоксичності проб ґрунту з досліджуваних ділянок шляхом вирощування на них насіння вівса. Виявлено, що на всіх ділянках доріг, крім Р44, показник фітотоксичності перевищує граничний показник 20 %, а на ділянках доріг М02 та М03 перевищує 50 %. На ділянці дороги Р44 показник фітотоксичності становить 18,3 %, що наближається до граничного, і свідчить про наявний техногенний вплив.

9. Для забезпечення комплексного моніторингу стану придорожніх екосистем розроблено алгоритм прогнозування їх забруднення газоподібними домішками й аерозолями, складений на основі розроблених математичних моделей, з урахуванням процесів атмосферної дифузії та змивання забруднюючих речовин із поверхні автодороги під час дощу. Запропоновано комплексну шкалу оцінки техногенного навантаження на придорожні екосистеми з використанням біоіндикаційних методів, користуючись якою можна визначити рівень техногенного навантаження на придорожні екосистеми

за станом різних компонентів екосистем (атмосферне повітря, ґрунти, рослини тощо). Шкала передбачає чотири рівні техногенного навантаження: I – високий рівень техногенного навантаження, II – рівень техногенного навантаження, вищий від середнього, III – середній рівень, IV – низький рівень.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані наукові результати дисертації

1. Васькіна І. В. Аналіз впливу автотранспортних засобів на навколишнє середовище в селітебних зонах міст. *Екологічна безпека*. 2009. Вип. 4. С. 16–19.

2. Васькін Р. А., Васькіна І. В. Аналіз динаміки забруднення атмосферного повітря України викидами автотранспорту. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*. 2009. Вип. 5 (58), Ч. 1. С. 109–112.

Здобувач проаналізував статистичні дані щодо забруднення атмосферного повітря України викидами автотранспорту та їх вклад у загальний рівень забруднення атмосфери.

3. Пляцук Л. Д., Васькін Р. А., Соляник В. О., Васькіна І. В. Оцінка викидів шкідливих речовин від автотранспортних засобів. *Екологічна безпека*. 2011. № 2 (12). С. 116–118.

Здобувач запропонував укрупнену методику оцінки викидів від автотранспорту з урахуванням виду автомобільного палива.

4. Васькін Р. А., Соляник В. О., Васькіна І. В. Моделювання розподілу концентрації викидів від автотранспорту у просторі. *Журнал інженерних наук*. 2015. № 2. Т. 2. С. G1–G5.

Здобувач розробив модель атмосферного поширення шкідливих речовин, що містяться у викидах автотранспорту.

5. Plyatsuk L. D., Kozii I. S., Solianyk V. A., Vaskin R. A., Yakhnenko O. M., Vaskina I. V. Modeling of waterborne pollution of roadside soils. *Journal of Engineering Sciences*. 2017. Vol. 4, Issue 2. P. G1–G5.

Здобувач розробив математичну модель змивання розчинних домішок із поверхні автомагістралі та їх міграції за ґрунтовим профілем.

6. Plyatsuk L., Moiseev V., Vaskin R., Ablieieva I., Vaskina I. Bioidicative studies of roadside ecosystems. *Technology audit and production reserves*. 2018. Vol. 1, № 3 (39). P. 40–45.

Здобувач дослідив інтенсивність автотранспортного потоку на досліджуваних ділянках, провів ліхеноіндикаційні дослідження, розрахував індекс атмосферної чистоти, здійснив відбір проб ґрунту та його лабораторні дослідження. Прованалізував отримані результати.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Васькіна І. В. Аналіз впливу автотранспорту та об'єктів його інфраструктури на природне середовище. *Сучасні проблеми біології, екології та хімії: матеріали II Міжнародної конференції* (Запоріжжя, 1–3 жовтня 2009 р.). Запоріжжя, 2009. С. 223–224.

8. Тюленева В. О., Васькіна І. В. Вплив транспортно-експлуатаційних показників доріг на навколишнє середовище. *Екологічні проблеми природокористування на сучасному етапі: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції* (Харків, 22–23 жовтня 2009 р.). Харків, 2009. С. 272–274.

9. Васькіна І. В., Волинець Н. В. Теоретичні основи моделювання транспортних потоків. *VI Международная научно-практическая конференция при участии молодых ученых «Эколого-правовые и экономические аспекты экологической безопасности регионов»* (Харьков, 19–21 октября 2011). Харьков, 2011. С. 132–134.

10. Васькіна І. В., Пустовгар Л. Г. Анализ загрязнения атмосферы г. Сумы методом лишеноиндикации. *Международная молодежная научная конференция «Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов»* (Белгород, 12–14 ноября 2013 г.). Белгород, 2013. С. 5–9.

11. Васькін Р. А., Васькіна І. В. Визначення забруднення атмосфери двоокисом сірки методом ліхеноіндикації. *Науково-технічна конференція «Сучасні технології у промисловому виробництві»* (Суми, 14–17 квітня 2015 р.). Суми, 2015. С. 179.

АНОТАЦІЯ

Васькіна І. В. Оцінка техногенного навантаження на придорожні екосистеми. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». – Сумський державний університет, Суми, 2018.

Дисертаційна робота присвячена актуальній проблемі оцінки та прогнозування техногенного навантаження на придорожні екосистеми, що створюється викидами автомобільного транспорту. Результати роботи пройшли достатню апробацію та були впроваджені.

В результаті проведених досліджень удосконалено методіку оцінки кількості викидів від автотранспорту. Запропоновано використання режимно-технічного коефіцієнта, який враховує такі показники, як аеродинамічний опір автотранспортного засобу потоку повітря, дорожні умови, технічний стан автотранспорту, щільність транспортного потоку, атмосферно-метеорологічні умови тощо.

Одержано аналітичні залежності для прогнозних оцінок концентрацій забруднювачів у повітрі, що дозволяє визначити середні концентрації газоподібних та твердих складових викидів і враховує дифузійні процеси в приземному шарі повітря та нестационарність транспортного потоку. Розроблено математичну модель, розчинності полутантів у дощових стоках та їх міграції у ґрунті. На їх основі запропоновано алгоритм прогнозування забруднення придорожніх екосистем газоподібними домішками й аерозолями, зокрема розчинними у дощових водах.

Проаналізовано особливості техногенного впливу автомагістралей різної категорії на придорожні екосистеми з використанням біоіндикаційних методів. Запропоновано комплексну шкалу оцінки техногенного навантаження на придорожні екосистеми, користуючись якою можна визначити рівень техногенного навантаження на придорожні екосистеми за станом різних компонентів.

Ключові слова: придорожні екосистеми, автомагістраль, математична модель, конвективна дифузія, техногенне навантаження, екологічна безпека, ліхеноіндикація, фітотестування.

АННОТАЦІЯ

Васькина И. В. Оценка техногенной нагрузки на придорожные экосистемы. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.01 «Экологическая безопасность». – Сумский государственный университет, Сумы, 2018.

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме оценки и прогнозирования техногенной нагрузки на придорожные экосистемы, создаваемой выбросами автомобильного транспорта. Результаты работы прошли достаточную апробацию и имеют внедрение.

В результате проведенных исследований усовершенствована методика оценки количества выбросов от автотранспорта. Предложено использовать режимно-технический коэффициент, учитывающий такие показатели как аэродинамическое сопротивление автотранспортного средства потоку воздуха, дорожные условия, техническое состояние автотранспорта, плотность транспортного потока, атмосферно-метеорологические условия и т.д..

Получены аналитические зависимости для прогнозных оценок концентраций загрязнителей в воздухе, позволяющие определить средние концентрации газообразных и твердых составляющих выбросов. Данные зависимости учитывают диффузионные процессы в приземном слое воздуха, а также нестационарность транспортного потока. Разработана математическая модель растворимости поллютантов в дождевых стоках и их миграции в почве. На основе этого предложен алгоритм прогнозирования загрязнения придорожных экосистем газообразными примесями и аэрозолями, в том числе, растворимыми в дождевых водах.

Проанализированы особенности техногенного воздействия автомагістралей різної категорії на придорожні екосистеми з використанням біоіндикаційних методів. Предложена комплексная шкала оценки техногенной нагрузки на придорожные экосистемы, пользуясь которой можно определить уровень техногенной нагрузки на придорожные экосистемы по состоянию различных компонентов.

Ключевые слова: придорожные экосистемы, автомагистраль, математическая модель, конвективная диффузия, техногенная нагрузка, экологическая безопасность, лишеноиндикация, фитотестирование.

ABSTRACT

Vaskina I. V. Estimation of technogenic loading on roadside ecosystems. – Qualifying scientific work on the manuscript right.

Thesis for a Candidate of Engineering Sciences Degree by specialty 21.06.01 – Ecological safety. Sumy State University, Sumy, 2018.

The dissertation is devoted to the actual problem of estimation and forecasting of anthropogenic loading on roadside ecosystems created by emissions from vehicles. The results of the work have been sufficiently tested and implemented.

The method of estimating the emissions from motor vehicles has been improved. The use of the mode-technical coefficient, which takes into account such parameters as aerodynamic resistance of the vehicle of the air flow, road conditions, technical condition of motor vehicles, density of the traffic flow, atmospheric-meteorological conditions is suggested.

The analytical dependences for the forecast estimations of pollutant concentrations in the air have been obtained. It allows to determine the average concentrations of gaseous and solid component emissions and takes into account diffusion processes in the air surface layer and the non-stationary transport flow. The mathematical model, solubility of pollutants in rainwater and their migration in soil is developed. On their basis, an algorithm for forecasting pollution of roadside ecosystems is proposed.

The analysis of the peculiarities of the technogenic influence of highways of different categories on roadside ecosystems using the bioindicative methods is carried out. The complex scale of the estimation of the technogenic loading on roadside ecosystem is offered.

Key words: roadside ecosystems, highway, vehicles, mathematical model, convective diffusion, technogenic load, ecological safety, lichenindication, phytotesting.

Підписано до друку 18.05.2018.

Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.