

УДК 504.5:656.1(477.41)

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2026.2\(505\).28](https://doi.org/10.15589/znп2026.2(505).28)

ASSESSMENT OF POLLUTION OF NATURAL AREAS BY AUTOMOBILE EXHAUSTS (USING THE EXAMPLE OF ZHYTOMYR REGION)

ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ПРИРОДНИХ ТЕРИТОРІЙ АВТОМОБІЛЬНИМИ ВИХЛОПАМИ (НА ПРИКЛАДІ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Liudmyla I. Demchuk

ke_dlm@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5698-7113

Iryna G. Patseva

rig@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-6271-7355

Oksana M. Alpatova

ke_aom@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0003-0803-9850

Nataliia M. Rusetska,

rusya050@ukr.net

ORCID: 0000-0002-5568-4708

Л. І. Демчук,

канд. пед. наук, доцент

І. Г. Пацева,

докт. тех. наук, професор

О. М. Алпатова,

канд. біол. наук, доцент

Н. М. Русецька,

викладач природничих наук

*Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr**Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир**Zhytomyr Agricultural College, Zhytomyr**Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир*

Abstract. The article provides a comprehensive analysis of the impact of motor vehicle exhaust gases on the state of natural ecosystems in the Zhytomyr region. The dynamics of pollutant emissions in areas adjacent to major international highways (in particular, the M-06 Kyiv–Chop) and recreational areas are studied. Based on the data obtained, predictive models of heavy metal accumulation in soils and vegetation are developed.

The *goal* was to assess the level of anthropogenic pressure on natural areas in the Zhytomyr region from mobile sources of pollution and to identify patterns in the spread of toxic compounds depending on the intensity of traffic flows and the landscape features of the region.

To achieve this goal, the following *methodology* was used: calculation methods (determination of NO_x, CO, SO₂, and particulate matter emissions based on traffic intensity data); chemical and analytical methods (sampling of soil and bioindicators (tree leaves, mosses) to determine the content of lead, cadmium, and other heavy metals); cartographic modeling (use of GIS technologies to visualize areas of maximum environmental risk).

Results. It was found that the highest concentration of pollutants is observed in a 50-meter zone along highways, where the MPC for nitrogen compounds is exceeded by 1.5–2.2 times. A correlation was found between the type of forest plantations and their ability to accumulate harmful emissions: the coniferous forests of Polissya proved to be more sensitive to soil acidification than mixed forests.

Scientific novelty. For the first time for the conditions of the Zhytomyr region, a local emission dispersion model has been developed, taking into account the specific forest cover of the region and high air humidity, which affects the transformation of nitrogen oxides in the atmosphere. The bioaccumulation coefficients of heavy metals for wild flora in Polissya have been refined.

Practical significance. The results of the study can be used by environmental authorities to develop measures for the protection of nature reserves, plan protective forest belts, and implement air quality monitoring systems in roadside areas. The data is useful for local authorities in developing sustainable development strategies for local communities.

Key words: motor vehicle pollution; environmental monitoring; heavy metals; bioindication; atmospheric emissions; Polissya ecosystems; environmental assessment; environment; pollutants; environmental risks; minimization.

Анотація. У статті проведено комплексний аналіз впливу відпрацьованих газів автотранспорту на стан природних екосистем Житомирської області. Досліджено динаміку викидів забруднюючих речовин у зонах прилеглих до основних автомагістралей міжнародного значення (зокрема М-06 Київ–Чоп) та рекреаційних зон. На

основі отриманих даних сформовано прогнозні моделі накопичення важких металів у ґрунтах та рослинності. *Мета* – оцінити рівень техногенного навантаження на природні території Житомирської області від пересувних джерел забруднення та виявити закономірності розповсюдження токсичних сполук залежно від інтенсивності транспортних потоків і ландшафтних особливостей регіону.

Для досягнення мети було використано наступна *методика*: розрахункові методи (визначення обсягів викидів NO_x , CO , SO_2 та твердих часток на основі даних про інтенсивність трафіку; хіміко-аналітичні методи (відбір проб ґрунту та біоіндикаторів (листя дерев, мохи) для визначення вмісту свинцю, кадмію та інших важких металів); картографічне моделювання (використання ГІС-технологій для візуалізації зон максимального екологічного ризику).

Результати. Встановлено, що найбільша концентрація забруднюючих речовин спостерігається у 50-метровій зоні вздовж магістралей, де рівень ГДК для сполук азоту перевищений у 1,5–2,2 рази. Виявлено кореляцію між типом лісових насаджень та їхньою здатністю до акумуляції шкідливих викидів: хвойні ліси Полісся виявилися більш чутливими до закислення ґрунтів, ніж мішані масиви.

Наукова новизна. Вперше для умов Житомирської області розроблено локальну модель розсіювання викидів з урахуванням специфіки лісистості регіону та високої вологості повітря, що впливає на трансформацію оксидів азоту в атмосфері. Уточнено коефіцієнти біоаккумуляції важких металів для дикорослої флори Полісся.

Практична значимість Результати дослідження можуть бути використані органами екологічного нагляду для розробки заходів з охорони природно-заповідного фонду, планування захисних лісосмуг та впровадження систем моніторингу якості повітря в придорожніх смугах. Дані корисні для органів місцевого самоврядування при розробці стратегій сталого розвитку територіальних громад.

Ключові слова: автотранспортне забруднення; екологічний моніторинг; важкі метали; біоіндикація; атмосферні викиди; екосистеми Полісся; екологічна оцінка; навколишнє середовище; забруднюючі речовини; екологічні ризики; мінімізація.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Екологічна ситуація сучасних міст стає все більш напруженою. Крім того, очевидно стає домінуюча роль дорожнього комплексу в забрудненні екосистем міста.

Джерелами впливу автомобільної дороги на навколишнє природне середовище є: автомобільний транспорт, інженерні споруди дороги, окремі конструкції дорожніх споруд, об'єкти дорожньої інфраструктури [1, 3].

Оцінка впливу автомобільного транспорту на екосистеми Житомирської області є надзвичайно актуальною темою. Житомирщина – це важливий логістичний вузол, через який проходять міжнародні траси (наприклад, М-06 Київ – Чоп та М-07 Київ – Ковель – Ягодин), що створює значне техногенне навантаження на прилеглі природні території. Автомобільні викиди є джерелом понад 70–80 % забруднення повітря в містах та вздовж магістралей.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Для аналізу останніх досліджень та публікацій щодо забруднення природних територій Житомирщини автомобільними викидами, варто розглянути проблему через призму екологічного моніторингу, специфіки регіональної логістики та впливу воєнного стану.

У сучасних умовах стрімкого техногенного розвитку, урбанізації та зростання транспортного навантаження проблема забруднення довкілля, зокрема атмосферного повітря, набуває особливого значення як на національному, так і на глобальному рівнях. Особливо гострою ця проблема є в контексті впливу автотранспорту, оскільки

саме транспортні засоби є основним джерелом забруднення повітря у багатьох регіонах, включаючи міські, приміські та природоохоронні території.

На думку багатьох дослідників [2, 4], сучасний автотранспорт, попри свою необхідність та невід'ємність від повсякденного життя людини, є джерелом значної екологічної небезпеки. У результаті спалювання бензину та дизельного пального в атмосферу викидаються тисячі тонн шкідливих речовин щороку, що призводить до негативних змін у навколишньому природному середовищі, включаючи забруднення повітря, ґрунту, води та негативний вплив на біоту. Як свідчить статистика, у структурі забруднення повітря в Україні частка автотранспорту становить понад 40 % [5].

У науковій літературі неодноразово підкреслюється, що природні екосистеми мають обмежену здатність до самовідновлення та саморегуляції в умовах інтенсивного впливу антропогенних факторів, зокрема автотранспортних викидів. Території, що розташовані поблизу магістральних трас, зазнають постійного екологічного навантаження, що виражається у зміні складу ґрунтів, порушенні біологічної рівноваги, зниженні чисельності чутливих до забруднення видів флори й фауни. Автотранспортне забруднення є особливо небезпечним для природних територій, оскільки воно має кумулятивний характер і може мати віддалені наслідки, які важко виявити на ранніх етапах.

За прогнозами Європейського екологічного агентства, саме мобільні джерела забруднення можуть стати головним фактором ризику для біорізноманіття Європи до 2030 року [7].

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), забруднення повітря дрібнодисперсними частками ($PM_{2.5}$), основним джерелом яких є автотранспорт, стало причиною понад 4 мільйонів передчасних смертей у світі у 2022 році. В умовах зміни клімату та зростання інтенсивності транспортних перевезень ця проблема лише загострюється.

За даними досліджень українських та зарубіжних учених, саме мобільні джерела забруднення – зокрема, автомобілі – нині формують до 70 % усіх викидів у повітря в містах та приміських зонах [7].

Зважаючи на все вищезазначене, очевидною є необхідність проведення комплексних досліджень, спрямованих на вивчення, оцінку та моніторинг впливу автотранспорту на природні екосистеми, особливо в регіонах із високою транспортною інтенсивністю, таких як Житомирська область. Лише за умов наявності достовірної та повної інформації можливо розробити ефективні механізми управління екологічною безпекою, зменшити негативний вплив транспортної інфраструктури на природу та забезпечити сталий розвиток територій. Таким чином, обрана тема є беззаперечною, а її практичне значення полягає в необхідності збереження довкілля, підвищення ефективності екологічного моніторингу та впровадження новітніх підходів до зменшення шкідливих викидів.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Виокремлення невіршених аспектів є критично важливим для наукової новизни дослідження. Попри значну кількість загальних робіт про викиди автотранспорту, Житомирська область має унікальний екологічний та геополітичний контекст, який створює низку «білих плям» у сучасній науці. Ми виділили основні проблеми, які можуть стати підґрунтям для дослідження.

Житомирщина залишається регіоном, що постраждав від аварії на ЧАЕС (особливо північні райони). На сьогоднішній день проблема досі недостатньо вивчена, як важкі метали з автомобільних вихлопів (свинець, кадмій) взаємодіють із залишковими радіонуклідами (^{137}Cs , ^{90}Sr) у ґрунтах.

З 2022 року структура трафіку в області радикально змінилася. Традиційні екологічні карти базувалися на довоєнних показниках інтенсивності руху. Закриття кордонів, руйнування мостів та переорієнтація експорту на автомобільні шляхи (замість морських) змінили концентрацію викидів на магістралях М-06 та М-07.

Область має велику кількість об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ), через які проходять дороги регіонального значення. Відсутня диференційована оцінка шкоди для заповідних територій, де екосистеми є більш вразливими до оксидів азоту та сірки, ніж у міських умовах. Реальний радіус транскордонного перенесення забруднювачів від трас углиб заповідних лісових масивів Полісся.

Адаптивні властивості автохтонної флори Полісся фокусуються на стандартних біоіндикаторах (сосна, лишайники). Існують специфічні для Житомирщини види рослин-аккумуляторів, які можуть ефективно очищувати придорожні смуги (фіторе mediaція) саме в умовах кислих дерново-підзолистих ґрунтів регіону.

МЕТА

Оцінити рівень техногенного навантаження на природні території Житомирської області від пересувних джерел забруднення та виявити закономірності розповсюдження токсичних сполук залежно від інтенсивності транспортних потоків і ландшафтних особливостей регіону.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проведення наукового аналізу забруднення природних територій Житомирської області автомобільними викидами необхідно чітко структурувати методологічний апарат. Житомирщина, як транзитний регіон з високою лісистістю, має специфічні особливості накопичення та розсіювання токсикантів. Сучасні дослідження базуються на поєднанні інструментальних вимірювань та аналітичних розрахунків.

Розрахункові методи (визначення обсягів викидів NO_x , CO , SO_2 та твердих часток на основі даних про інтенсивність трафіку; хіміко-аналітичні методи (відбір проб ґрунту та біоіндикаторів (листя дерев, мохи) для визначення вмісту свинцю, кадмію та інших важких металів); картографічне моделювання (використання ГІС-технологій для візуалізації зон максимального екологічного ризику).

Об'єктом дослідження є процес техногенного впливу пересувних джерел (автотранспорту) на стан природних екосистем та атмосферного повітря в межах Житомирської області.

Предметом дослідження є закономірності розповсюдження, рівень концентрації та ступінь акумуляції шкідливих речовин автомобільних вихлопів у компонентах довкілля.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Серед багатьох джерел антропогенного забруднення навколишнього середовища автомобільний транспорт займає провідне місце. Його основна особливість полягає в тому, що забруднюючі речовини надходять безпосередньо в приземний шар атмосфери – саме в ту частину, де перебувають люди, тварини, рослини, а також розташовані житлові та рекреаційні зони. Це створює особливу загрозу як для здоров'я населення, так і для цілісності природних екосистем.

Вихлопні гази транспортних засобів містять понад 200 хімічних сполук, серед яких найбільш поширеними та небезпечними є:

✓ Оксид вуглецю (CO) – безбарвний, без запаху газ, який має сильну токсичну дію, порушує

транспортування кисню в крові, викликає гіпоксію, головний біль, втому;

✓ Оксиди азоту (NO та NO_2) – спричиняють подразнення дихальних шляхів, є попередниками кислотних дощів, а також можуть брати участь у фотохімічних реакціях, утворюючи озон у приземному шарі;

✓ Вуглеводні (C_nH_m) – леткі органічні сполуки, частина з яких має канцерогенні властивості. Вони беруть участь у хімічних реакціях з утворенням вторинних забруднювачів;

✓ Сажа та дрібнодисперсні тверді частки (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) – можуть проникати глибоко в легені, викликаючи захворювання дихальної та серцево-судинної систем;

✓ Сірчистий ангідрид (SO_2) – у високих концентраціях подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів, а також є компонентом кислотних дощів;

✓ Формальдегід, бензол, свинець (у старих ТЗ) – мають мутагенні й канцерогенні властивості.

Важливо підкреслити, що розсіювання цих забруднюючих речовин у межах міських і приміських територій залежить від багатьох чинників: щільності транспортного потоку, типу дорожнього покриття, погодних умов, рельєфу місцевості, наявності зелених насаджень тощо. Найбільш небезпечними є затори, де концентрації забруднень можуть у десятки разів перевищувати допустимі норми.

Окремої уваги заслуговує факт, що автомобільний транспорт є мобільним джерелом забруднення, тобто потенційно охоплює великі території, включаючи природно-заповідні об'єкти, лісові масиви, сільськогосподарські угіддя, узбіччя доріг. Таке розсіювання забруднень унеможливає їх локалізацію та ускладнює моніторинг екологічного стану.

Таким чином, забруднення атмосферного повітря автотранспортом має комплексний і динамічний характер, що вимагає застосування сучасних методів контролю, моделювання та екологічного планування,

особливо в регіонах із підвищеним транспортним навантаженням, таких як Житомирська область.

Автотransпорт є багатокомпонентним джерелом забруднення атмосфери, і характер викидів тісно пов'язаний з режимом його експлуатації. За джерелами походження викиди автотранспортних засобів умовно поділяються на три основні категорії (Табл. 1).

Бензинові двигуни переважно виділяють оксид вуглецю, вуглеводні та формальдегід. Дизельні двигуни є джерелом підвищеної кількості сажі та оксидів азоту, а також мають вищий рівень викидів дрібнодисперсних часток ($\text{PM}_{2.5}$), які є особливо небезпечними для здоров'я людини. Старі автомобілі, особливо без каталізаторів і сучасних систем очищення вихлопних газів, викидають у кілька разів більше забруднювальних речовин, ніж нові моделі, сертифіковані за стандартами Євро-4/Євро-5/Євро-6.

Недотримання регламенту технічного обслуговування, зношені системи запалювання, несправні форсунки або фільтри значно збільшують викиди. Наявність у паливі домішок сірки, свинцю або несталонних компонентів призводить до додаткового хімічного навантаження на атмосферу.

Автомобільні вихлопи є одним із ключових факторів деградації природного середовища, оскільки містять широкий спектр токсичних речовин, які негативно впливають на всі компоненти екосистем – повітря, ґрунт, воду, рослинність і тваринний світ. Одним із перших об'єктів, що страждає від автотранспортного забруднення, є рослинний покрив. У зоні транспортного впливу спостерігаються такі негативні явища (табл. 2).

Особливо уразливими є лишайники та мохи, які виступають своєрідними індикаторами чистоти повітря. У районах інтенсивного транспортного руху вони зникають повністю.

Ґрунт виконує функцію фільтра, який акумулює токсичні речовини, осаджені з атмосфери.

У ґрунтах, прилеглих до транспортних магістралей, концентрація забруднювальних речовин може

Таблиця 1. Викиди від автомобільного транспорту

Категорія викидів	Характеристика
Викиди під час руху транспортного засобу	Це основне джерело забруднення повітря. Під час згоряння пального в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) утворюється значна кількість шкідливих речовин, включаючи оксиди вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x), незгорілі вуглеводні (C_nH_m), сажу, формальдегід, а також дрібнодисперсні частинки. Інтенсивність викидів залежить від швидкості руху, навантаження на двигун, частоти зупинок і розгонів, а також умов дорожнього покриття
Викиди при запуску двигуна	Особливо інтенсивні в холодну пору року, коли температура навколишнього середовища низька, а система нейтралізації відпрацьованих газів (наприклад, каталізатор) ще не досягла робочого режиму. У перші хвилини після запуску двигуна концентрація токсичних компонентів у вихлопних газах може перевищувати середні значення у кілька разів. Така ситуація є характерною для міського середовища, де переважає короткотермінова поїздка з частими зупинками
Викиди з паливної системи та при технічному обслуговуванні	Включають випаровування летких органічних сполук (наприклад, бензолу) з бака, карбюратора, паливопроводів та інших елементів системи живлення. Також сюди належать викиди при дозаправці пального, витоків технічних рідин, а також викиди під час зливу або заміни мастил. Ці викиди мають локальний, але хронічний характер, особливо на станціях технічного обслуговування (СТО) та автозаправках

Таблиця 2. Вплив автотранспортних викидів на рослинність

Вплив на рослинність	Характеристика
Порушення фотосинтезу	Пов'язане з осіданням пилу, сажі та важких металів (свинець, кадмій, мідь) на листову поверхню. Це знижує інтенсивність поглинання світла і газообміну
Уповільнення росту та зниження врожайності рослин	Відбувається за рахунок розповсюдження забруднюючих речовин, особливо у зоні уздовж автомобільних доріг
Деструкція хлорофілу	Викликана впливом озону, діоксиду сірки та оксидів азоту;
Накопичення токсичних речовин у тканинах	Може призводити до загибелі окремих видів або витіснення менш стійких рослин

Таблиця 3. Вплив автотранспортних викидів на ґрунт

Вплив на ґрунт	Характеристика
Закислення ґрунтів	Змінює їх хімічні властивості та порушує баланс мікроелементів
Накопичення важких металів (Pb, Zn, Cd, Cu)	Мають високу токсичність і тривалий період розпаду. Це особливо небезпечно для агроecosистем, де токсиканти можуть потрапляти у харчовий ланцюг
Зниження біологічної активності	Проявляється в зменшенні кількості корисних ґрунтових мікроорганізмів, черв'яків та інших мешканців ґрунтового середовища

Таблиця 4. Вплив автотранспортних викидів на тваринний світ

Вплив на тваринний світ	Характеристика
Погіршення якості кормової бази	В зв'язку з забрудненням рослинності та ґрунтів
Акумуляцію токсичних речовин в організмі	Спричиняє хронічні отруєння, порушення репродуктивної функції, зниження імунітету
Порушення орієнтації та поведінки	Види які чутливі до шуму та вібрації, які супроводжують дорожній рух
Підвищення смертності	Серед дрібних ссавців, птахів та амфібій

перевищувати гранично допустимі норми у 2–5 разів (табл. 3).

Фауна (табл. 4.) також зазнає негативного впливу через: погіршення якості кормової бази, яке пов'язане із забрудненням рослинності та ґрунтів. Акумуляція токсичних речовин в організмі, що як наслідок спричиняє хронічні отруєння, порушення репродуктивної функції, зниження імунітету. Порушення орієнтації та поведінки, особливо у видів, чутливих до шуму та вібрації, які супроводжують дорожній рух. Підвищення смертності, зокрема серед дрібних ссавців, птахів та амфібій.

Найбільш уразливими є території, що безпосередньо межують із трасами великої інтенсивності руху. У межах таких зон спостерігаються високі рівні хімічного навантаження на всі компоненти екосистеми.

Таким чином, викиди автотранспорту створюють комплексний негативний ефект на довкілля, що може мати довгострокові наслідки для біорізноманіття, стійкості екосистем та екологічної безпеки в регіоні.

Ефективне управління якістю атмосферного повітря неможливе без чіткого правового регулювання та науково обґрунтованих методів оцінки рівня забруднення. В Україні система охорони повітряного середовища базується на низці законодавчих актів, нормативно-методичних документів та стандартів. До основних нормативно-правових актів, що визначають засади охорони атмосферного повітря, належать:

✓ Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (1991 р.) – базовий документ, який визначає правові, організаційні та

економічні основи охорони довкілля, у тому числі атмосферного повітря;

✓ Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (2001 р.) – спеціалізований закон, який регламентує діяльність у сфері охорони повітряного середовища, встановлює вимоги до викидів забруднюючих речовин, порядок здійснення моніторингу та контролю, а також відповідальність за порушення норм;

✓ Кодекс України про адміністративні правопорушення – передбачає відповідальність за перевищення нормативів забруднення, порушення правил експлуатації транспортних засобів, що впливають на стан повітря;

✓ Державні санітарні норми та правила (ДСанПіН) – визначають гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднюючих речовин у повітрі населених місць;

✓ ДСТУ ISO 4225:2003, ДСТУ 3587-97, ДСТУ EN 14211:2014 – національні стандарти, що описують терміни, технічні вимоги до вимірювальних засобів і методик відбору проб повітря.

Україна також поступово адаптує своє законодавство до стандартів ЄС у межах Угоди про асоціацію, зокрема щодо впровадження інтегрованого моніторингу якості повітря та оцінки впливу транспорту на довкілля.

Житомирська область характеризується високим рівнем збереженості природних екосистем, що зумовлено значною часткою лісових територій, болотних угідь і водних об'єктів, а також наявністю розгалуженої системи природоохоронних територій. Загальна

площа земель, що входять до природно-заповідного фонду (ПЗФ), становить понад 9 % від загальної площі регіону, що є одним із найвищих показників серед областей Поліського регіону. До об'єктів природоохоронного значення в межах області входять:

✓ Поліський природний заповідник – один із найстаріших в Україні, створений з метою охорони унікальних поліських ландшафтів, зокрема верхових боліт, соснових та березових лісів. Його площа становить понад 20 тис. га, а розташування в межах північної частини області забезпечує важливу буферну зону на кордоні з Білоруссю.

✓ Національний природний парк «Древлянський» – утворений у 2009 році, займає площу близько 31 тис. га в північній частині Житомирщини. Основна мета парку – збереження лісово-болотних екосистем, серед яких переважають хвойні ліси, заплавні луки та торфовища. Територія парку має велике значення для збереження рідкісної флори і фауни, занесеної до Червоної книги України.

✓ Ландшафтні заказники, серед яких найвідоміші – «Березівський», «Кліщівський», «Дубрівський», – виконують функції збереження типових та унікальних природних комплексів. Ці заказники охоплюють як лісові, так і водно-болотні екосистеми, які є важливими з точки зору підтримки біорізноманіття та стабільності регіональних екосистем.

✓ Лісові масиви державного значення – представлені здебільшого хвойними та мішаними лісами, які відіграють роль природних бар'єрів проти забруднення, сприяють фільтрації атмосферного повітря, регуляції водного балансу й слугують місцем існування численних видів рослин і тварин.

Загалом на території області функціонують сотні об'єктів ПЗФ, включаючи ботанічні пам'ятки природи, дендрологічні парки, регіональні ландшафтні парки, гідрологічні пам'ятки та заказники, що свідчить про високу природоохоронну цінність Житомирщини. Особливістю регіону є те, що багато охоронюваних територій розташовані в безпосередній близькості до транспортних магістралей, що з одного боку забезпечує доступність, а з іншого – підвищує ризик негативного впливу автотранспорту, зокрема забруднення повітря, ґрунтів і водотоків.

Наявність розвинутої мережі природоохоронних територій формує екологічний каркас області, який виконує важливу роль у підтриманні кліматичної стабільності, захисті біорізноманіття та протидії деградації довкілля. Водночас ефективне функціонування цієї системи потребує постійного моніторингу стану довкілля, особливо в умовах зростання інтенсивності автомобільного руху, що може спричинити порушення екологічної рівноваги.

Транспортна інфраструктура Житомирської області відіграє надзвичайно важливу роль у соціально-економічному розвитку регіону та забезпеченні

його інтеграції до загальнонаціонального та міжнародного простору. Область розташована на перетині ключових транспортних коридорів, що з'єднують центр країни із західними та південними регіонами, а також з країнами Європейського Союзу.

Зокрема, через територію області проходять автомобільні шляхи міжнародного значення, зокрема:

✓ М06 (Київ–Чоп) – одна з найважливіших транспортних артерій держави, що забезпечує зв'язок між Києвом, обласними центрами західного регіону та кордоном з Європейським Союзом (Словаччина, Угорщина);

✓ М21 (Виступовичі–Житомир–Могилів-Подільський) – транспортний коридор, що виконує важливу роль у північ-південному напрямку, з'єднуючи пункти пропуску на кордоні з білоруссю та Молдовою.

Окрім того, на території області функціонують численні регіональні та місцеві автошляхи, що формують густу мережу транспортного сполучення. У межах області також проходять залізничні лінії, які мають переважно вантажне і пасажирське значення, хоча в контексті теми роботи основна увага приділяється автомобільному транспорту як ключовому джерелу викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

Слід зазначити, що щільність транспортної інфраструктури є особливо високою у районах таких великих міст, як Житомир, Бердичів та Новоград-Волинський. Ці урбанізовані центри є осередками концентрації автотранспортних потоків – як легкового, так і вантажного транспорту. В результаті утворюються зони підвищеного транспортного навантаження, в яких спостерігається підвищений рівень забруднення атмосферного повітря та ґрунтів, а також шумове навантаження.

Однак вплив транспортної інфраструктури виходить за межі виключно урбанізованих зон. У багатьох випадках автошляхи проходять через або поблизу природоохоронних територій, зокрема:

✓ лісові масиви, які виконують важливу кліматоутворюючу, водоохоронну та рекреаційну функцію;

✓ заказники та заповідні зони, які є осередками збереження біорізноманіття;

✓ водоохоронні зони річок та інших водойм, де будь-яке забруднення несе загрозу як екосистемам, так і якості питної води.

Під впливом постійного транспортного руху в атмосферу потрапляє широкий спектр забруднюючих речовин. До основних з них належать:

• чадний газ (CO) – безбарвний, отруйний газ, що впливає на здоров'я людини;

• діоксид азоту (NO₂) та інші оксиди азоту (NO_x), які беруть участь у формуванні кислотних дощів і фотохімічного смогу;

• вуглеводні та леткі органічні сполуки, які часто є канцерогенними;

- тверді частинки (PM_{10} і $PM_{2,5}$), що проникають у дихальні шляхи людини і є причиною розвитку хронічних захворювань;

- важкі метали (свинець, кадмій, миш'як тощо), які накопичуються у ґрунтах і можуть передаватися по трофічному ланцюгу.

У контексті природоохоронної діяльності особливо увагу слід приділити тому, що навіть відносно низький рівень забруднення може мати критичні наслідки для вразливих екосистем, зокрема у межах заповідних об'єктів. Деякі лісові території, що мають охоронний статус, розташовані в безпосередній близькості від автомагістралей, що створює ситуацію постійного фоново-кумулятивного впливу вихлопних газів на природне середовище.

Загалом, аналіз транспортної інфраструктури Житомирської області демонструє, що попри її ключову роль у забезпеченні мобільності та економічного зростання, вона також є джерелом потенційної екологічної загрози, яка потребує постійного моніторингу, аналізу та управління. Особливої актуальності набуває питання оцінки забруднення природних територій, що знаходяться у безпосередній близькості до автомобільних шляхів, а також розробка рекомендацій щодо мінімізації негативного впливу транспорту на довкілля.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Одним із ключових аспектів дослідження екологічного стану природних територій, прилеглих до автомобільних шляхів, є оцінка рівня забруднення атмосферного повітря. Саме повітряне середовище виступає першим і найбільш вразливим компонентом у ланцюгу екологічного впливу автотранспорту. Забруднення повітря, викликане викидами вихлопних газів, має не лише локальний, а й регіональний характер, що особливо актуально для таких транзитних територій, як Житомирська область.

У межах дослідження проводився аналіз атмосферного повітря в зонах, розташованих на різній відстані від основних автошляхів – як міжнародного значення (M06, M21), так і регіонального (H03, T0603 тощо). Було обрано репрезентативні точки відбору проб в межах Житомира, Бердичіва, Новограда-Волинського та на ділянках, прилеглих до природоохоронних територій (лісових масивів, заказників, буферних зон).

Для оцінки стану повітряного середовища застосовувались класичні методики моніторингу, включаючи визначення вмісту основних інгредієнтів вихлопних газів.

Найвищі концентрації забруднюючих речовин спостерігалися в зоні до 50 метрів від основних автомагістралей, де середньодобові показники чадного газу та діоксиду азоту в окремих випадках перевищували гранично допустимі концентрації (ГДК)

у 1,3–1,6 раза. Особливо критична ситуація зафіксована у точках, розташованих біля великих перехресть та зон з інтенсивним рухом вантажного транспорту.

На території, що знаходяться в межах природоохоронних об'єктів або поблизу лісових масивів, спостерігалось поступове зниження концентрацій основних полутантів на відстані понад 100 метрів від джерел викидів. Це підтверджує ефективну роль лісових насаджень як природного фільтру, здатного частково нейтралізувати вплив автотранспортного забруднення. Проте навіть у цих ділянках фіксувалися перевищення фонових показників, що свідчить про тривалу кумулятивну дію забруднюючих речовин.

Особливої уваги заслуговує вміст твердих зв'язаних частинок, зокрема PM_{10} , які були виявлені на рівні, близькому до ГДК у низці ділянок уздовж дороги M21. Дослідження показали, що частинки дрібного пилу мають високу здатність проникати у глибокі шари легенів, викликаючи не лише загрозу для здоров'я людей, але й негативно впливаючи на рослинність – зокрема, покриваючи листову поверхню пиловим нальотом, що знижує фотосинтетичну активність.

Важливим аналітичним спостереженням є кореляція між інтенсивністю руху та рівнем забруднення, яка виявляє чітку залежність: у пікові години концентрація шкідливих домішок у повітрі зростає в 1,5–2 рази порівняно з нічним періодом. Це особливо характерно для урбанізованих зон, але частково спостерігається і в сільських місцевостях поблизу трас з постійним транзитом.

Також, було зафіксовано накопичення забруднюючих речовин у приземному шарі повітря за умов безвітряної погоди або температурної інверсії, що суттєво ускладнює природну дисперсію викидів. Таким чином, навіть короточасне збільшення транспортного навантаження в несприятливих метеороумовах може створити локальні екологічні загрози для природних територій.

Узагальнюючи результати, можна зробити висновок, що стан атмосферного повітря у приавтомобільних зонах Житомирської області характеризується стабільно підвищеним рівнем забруднення, особливо поблизу інтенсивних транспортних коридорів. Цей фактор створює довгострокову екологічну загрозу для природоохоронних об'єктів, викликає деградацію середовища, зміну мікроклімату та порушення екологічної рівноваги. Отримані дані підтверджують необхідність системного екологічного моніторингу, запровадження буферних зон і заходів з обмеження руху транспорту у чутливих природних зонах.

Відповідно до даних регіональної доповіді про стан навколишнього середовища в Житомирській області, було зафіксовано наступні показники (рис. 1–рис. 4).

Обсяг викидів діоксиду сірки за 2019–2023 роки має тенденцію до зниження, загалом за рахунок

впровадження природоохоронних технологій (рис. 1). Однак, рівень забруднення все ж має свій вплив на навколишнє середовище.

Обсяг викидів діоксиду азоту за 2019–2023 роки має тенденцію до зниження, загалом за рахунок впровадження природоохоронних технологій (рис. 2). Однак, рівень забруднення все ж має свій вплив на довкілля.

Обсяг викидів метану за 2019–2023 роки має тенденцію до зниження лише у 2023 році (рис. 3). Однак, рівень забруднення все ж має свій вплив на навколишнє середовище.

Обсяг викидів речовин у вигляді твердих суспензованих частинок (рис. 4.) за 2019–2023 роки має тенденцію до зниження, загалом за рахунок

Обсяг викидів діоксиду сірки

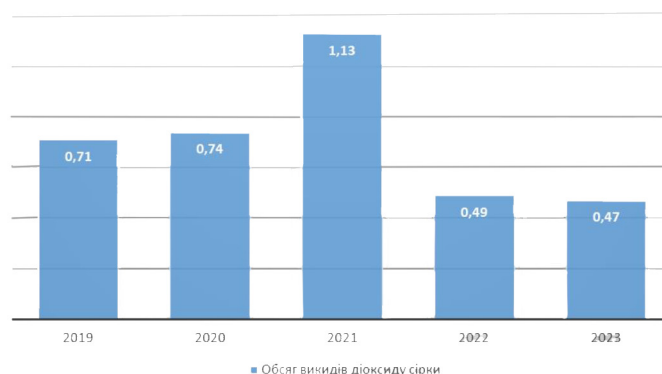


Рис. 1. Обсяг викидів діоксиду сірки

Обсяг викидів діоксиду азоту

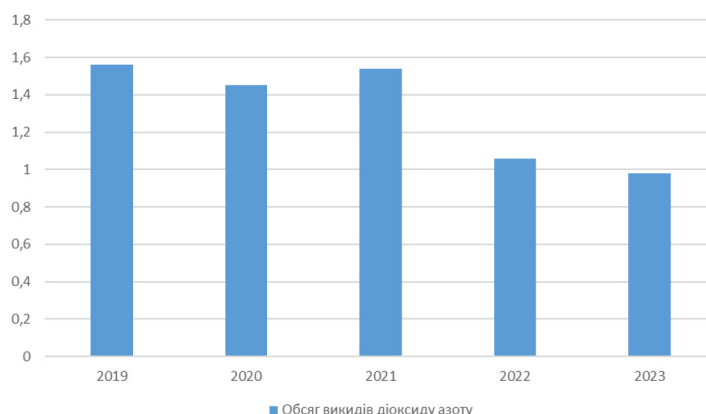


Рис. 2. Обсяг викидів діоксиду азоту

Обсяг викидів метану

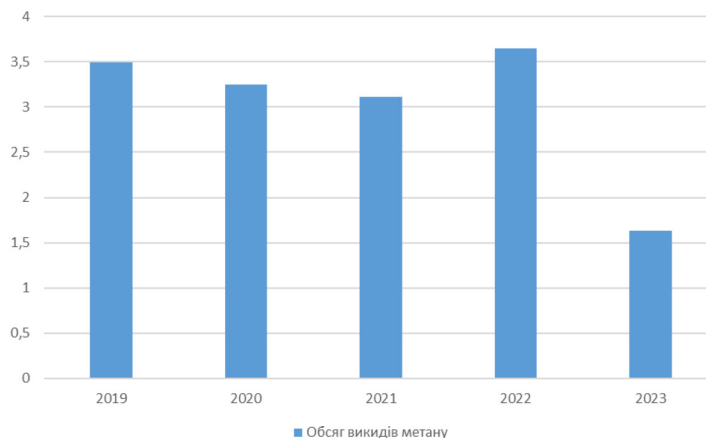


Рис. 3. Обсяг викидів метану



Рис. 4. Обсяг викидів речовин у вигляді твердих суспензованих частинок

впровадження природоохоронних технологій. Однак, рівень забруднення все ж має свій вплив на навколишнє середовище, що особливо небезпечно для населення Житомирської області.

Забруднюючі речовини, що потрапляють у атмосферу в результаті автомобільних викидів, промислових процесів та інших джерел, можуть негативно впливати на якість ґрунту. Основним механізмом такого забруднення є осадження шкідливих речовин з повітря на поверхню землі.

Викиди, що містять важкі метали (наприклад, свинець, кадмій, ртуть), оксиди азоту, сірчисті гази, а також органічні сполуки, під впливом атмосферних процесів (випадання опадів, сухе осадження) потрапляють на ґрунтову поверхню. Там ці речовини накопичуються, змінюючи хімічний склад ґрунту, що призводить до зниження його родючості, порушення фізико-хімічних властивостей та токсичного впливу на мікроорганізми і рослинність.

Особливо небезпечним є забруднення ґрунту важкими металами, які мають властивість накопичуватися в організмах, викликаючи біоаккумуляцію та біомагніфікацію в харчових ланцюгах. Це може призводити до токсичних ефектів не лише для рослин, але й для тварин та людини.

В Житомирській області площі малопродуктивних земель, на яких спостерігаються деградаційні процеси, досягають 460 тис. га, в тому числі заболочені 284,9, тис га, перезволожені 79,2 тис. га, піддано вітровій ерозії 27,0 тис. га, водній ерозії – 68,9, тис. га, у т. ч. середньо та сильно змитих – 23,5 тис. га.

У результаті вміст гумусу на даний час, порівняно з вихідним, знизився відповідно в зоні Полісся в 1,27 рази, в зоні Лісостепу – в 1,17 рази в ґрунтовому покриві області – в 1,2 рази. Як засвідчують результати аналізу, призупинити деградаційні процеси в агроландшафтах області можливо, лише запровадивши цілий комплекс організаційних, агротехнічних, агрохімічних, гідротехнічних й інших заходів, та при науково обґрунтованих підходах і достатньому

фінансуванні. Через дію різних природних, а здебільшого антропогенних факторів, на значній площі території Житомирської області, й насамперед на землях сільськогосподарського призначення, спостерігається погіршення якісного стану ґрунтового покриву, чому сприяє вирощування не районованих культур (соняшник, кукурудза) на ґрунтах з низькими показниками природної родючості у Поліській частині області [11].

Таким чином, забруднення повітря безпосередньо впливає на якість ґрунтів, створюючи додаткові екологічні ризики та загрозу сталому розвитку природних екосистем.

Одним з менш очевидних, але важливих наслідків автотранспортного забруднення є опосередкований вплив на водні ресурси, що відбувається через атмосферне середовище. Атмосфера виступає своєрідним посередником у перенесенні забруднюючих речовин з джерел викидів до поверхневих і підземних вод, що суттєво ускладнює оцінку повного екологічного навантаження. У регіонах, де природне середовище представлено густою мережею малих річок, струмків, озер, боліт і водозахисних зон – таких, як Житомирська область, – цей вплив набуває особливої актуальності.

Викиди автотранспорту містять широкий спектр забруднюючих речовин, серед яких особливе значення мають:

- Оксиди азоту (NO_x);
- Сірчистий ангідрид (SO_2);
- Чадний газ (CO);
- Тверді частинки (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$), які можуть містити важкі метали – свинець, кадмій, цинк, мідь;
- Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ).

Ці речовини після викиду в атмосферу не залишаються в повітрі на тривалий час. Внаслідок природних процесів, таких як атмосферні опади (дощ, сніг, туман), вони переносяться на поверхню землі, в тому числі на відкриті водні об'єкти. Такий процес має назву атмосферна депозиція і поділяється на суху (осідання частинок) та вологу (змивання з дощем чи снігом).

У Житомирській області, яка має розгалужену гідрографічну мережу – понад 200 річок і численні водойми (включаючи річки Тетерів, Случ, Ірша, Уж), цей процес може мати кумулятивний характер, особливо у зонах, прилеглих до автошляхів. Автомобільні траси часто проходять уздовж водозбірних басейнів або перетинають річкові долини, що створює умови для потрапляння забруднюючих речовин у воду.

Основні шляхи впливу викидів автотранспорту на водні ресурси включають:

1. Атмосферне осідання забруднюючих речовин на водну поверхню або ґрунти водозахисної зони – опади змивають полутанти з повітря безпосередньо у водойми або у прилеглі ділянки, звідки вони потрапляють у воду з поверхневим стоком.

2. Накопичення важких металів та органічних сполук у верхньому шарі ґрунту, з подальшим міграційним надходженням у водоносні горизонти або річки. Це особливо характерно для територій із піщаними або дерново-підзолистими ґрунтами, притаманними Полісся, які мають низьку буферну здатність і високу фільтрацію.

3. Погіршення гідрохімічного складу води, зокрема підвищення вмісту нітратів, сульфатів, бензапірену, свинцю та цинку, які здатні порушувати природну рівновагу водойм, спричиняти біологічну деградацію, токсичний вплив на іхтіофауну та водну рослинність.

4. Формування кислотних опадів, особливо у зонах з підвищеним рівнем діоксиду сірки та оксидів азоту. Такі опади знижують рН води, посилюючи розчинення шкідливих сполук у водоймах та змінюючи хімічний баланс екосистем.

Результати досліджень свідчать, що у водах, зібраних поблизу автомагістралей, фіксуються підвищені концентрації важких металів, зокрема свинцю (Pb), який надходить із вихлопів старих автівок та внаслідок зношування шин і гальмівних колодок. Сvineць є небезпечною токсичною речовиною, що здатна накопичуватись у донних відкладах, біоті, а згодом – у ланцюгах живлення [11].

Узагальнюючи, можна зробити висновок, що автотранспортне забруднення атмосферного повітря має опосередкований, але сталий негативний вплив на стан водних ресурсів. Особливо це актуально для Житомирської області з її лісовим та водно-болотним ландшафтом. Накопичення забруднюючих речовин у воді є повільним, але незворотним процесом, який погіршує якість прісної води, знижує природоохоронну цінність водойм і створює загрозу для здоров'я населення, що використовує ці джерела.

Таким чином, ефективний контроль за забрудненням атмосферного повітря в зоні транспортного впливу є необхідною умовою збереження гідроекосистем регіону, а також важливою складовою екологічної політики у сфері сталого розвитку.

Сучасна екологічна ситуація, що складається внаслідок інтенсивного розвитку транспортної інфраструктури, зумовлює необхідність формування ефективної системи заходів щодо мінімізації негативного впливу автотранспорту на довкілля, зокрема на атмосферне повітря, ґрунти, водні ресурси та екосистеми природоохоронних територій. У випадку Житомирської області, яка поєднує транзитні функції з високим рівнем природної вразливості, ці заходи повинні бути особливо системними та комплексними.

Основні напрями зменшення антропогенного тиску з боку автотранспорту можна умовно поділити на технічні, організаційні, правові, інфраструктурні та природоохоронні. Таким чином, мінімізація впливу автотранспорту на довкілля потребує поєднання зусиль органів державної влади, місцевого самоврядування, наукової спільноти та громадськості. Лише системна та міждержавна політика дозволить забезпечити не лише ефективне функціонування транспортної інфраструктури, а й збереження екологічної рівноваги у регіоні, що має значний природоохоронний потенціал.

Для того, щоб провести розрахунок, нам потрібно змодельовати ситуацію. Найбільш репрезентативним прикладом для Житомирщини є ділянка траси М-06 (Київ–Чоп), наприклад, поблизу села Глибочиця або об'їзду Житомира.

Для розрахунку ми використаємо методику оцінки викидів за складом транспортного потоку. Припустимо, ми аналізуємо ділянку довжиною 1 км протягом 1 години пікового навантаження:

- ✓ Легкові автомобілі: 800 од./год.
- ✓ Вантажівки (дизель): 150 од./год.
- ✓ Автобуси: 50 од./год.

Маса викиду певного компонента (М) розраховується за формулою:

$$M = L \cdot \sum (N_i \cdot G_{ik}),$$

де: L – довжина ділянки (1 км); N_i – кількість автомобілів i -ї групи; G_{ik} – питомий викид k -ї речовини для i -ї групи авто (г/км).

Орієнтовний розрахунок викидів (г/км за годину). Нижче наведено (табл. 5) з середніми коефіцієнтами викидів для сучасного автопарку

Таблиця 5. Середні коефіцієнти викидів для автопарку

Тип транспорту	СО (чадний газ)	NO _x (оксиди азоту)	C _n H _m (вуглеводні)
Легкові (бензин)	10.0 г/км	0.8 г/км	1.2 г/км
Вантажні (дизель)	15.0 г/км	12.0 г/км	2.5 г/км
РАЗОМ (за 1 год)	10 250 г	2 440 г	1 335 г

Отже, лише за одну годину на одному кілометрі траси викидається понад 10 кг чадного газу та близько 2.4 кг оксидів азоту.

Оскільки Житомирщина має піщані та супіщані ґрунти (Полісся), шкідливі речовини швидко проникають у ґрунтові води. Зони забруднення:

1. Зона «А» (0–10 м) – максимальна концентрація важких металів (свинець, кадмій). Рослинність тут зазвичай пригнічена.

2. Зона «Б» (10–50 м) – зона активного впливу оксидів азоту. Тут спостерігається накопичення токсинів у грибах та ягодах (що критично для лісів Житомирщини).

3. Зона «В» (50–200 м) – розсіювання дрібнодисперсного пилу ($PM_{2.5}$, PM_{10}).

Таким чином, дані дослідження є основою для екологічного моделювання, які можна використовувати їх для: обґрунтування встановлення шумозахисних та газопоглинальних екранів; вибору порід дерев для лісосмуг (наприклад, акація та тополя найкраще поглинають гази); аргументації заборони збору дикорослих плодів у придорожніх смугах.

ВИСНОВКИ

Оцінка забруднення природних територій Житомирщини засвідчує, що автомобільний транспорт є домінуючим джерелом техногенного навантаження

на екосистеми регіону. Це особливо актуально для транзитних коридорів (траси М-06, М-07) та приміських зон Житомира. Моніторинг фіксує середньомісячні концентрації діоксиду азоту (NO_2) на рівні 2.6 ГДК, що є прямим наслідком інтенсивного руху. Піщані ґрунти області мають низьку буферну ємність, що сприяє швидкій міграції важких металів та нафтопродуктів у підземні води. Дослідження показують, що лісосмуги вздовж магістралей Житомирщини перебувають у незадовільному стані (зрідження дерев у рядах сягає 50–70 %). Це позбавляє природні території природного фільтра. Території в радіусі до 200 метрів від основних магістралей не придатні для збирання дикорослих ягід та грибів через ризик накопичення свинцю та канцерогенних вуглеводнів.

Для покращення ситуації в області ми пропонуємо: висадку стійких до газів порід, адаптованих до Полісся – тополі, модрина (найкраще поглинає свинець) та каштан. Поєднувати щільні лісосмуги із ажурними конструкціями для кращого розсіювання повітряних мас. Впроваджувати автоматизовані пости спостереження на в'їздах до міст (Житомир, Бердичів, Коростень).

REFERENCES

- [1] Kahukina A. M., Patseva I. H. Vzaimozv'язok meteorologichnykh parametrov ta zabrudnuiuyuchykh rechovin u povitriannomu baseini mista Zhytomyr [Interrelationship of meteorological parameters and pollutants in the air basin of the city of Zhytomyr]. *Ekologichni nauky*. 2025. Vyp. 1(58). S. 58–64.
- [2] Kahukina A. M., Patseva I. H. Hrafichnyi analiz zakonornosti sezonnykh temperaturnykh kolyvan ta kontsentratsii zabrudniuvachiv atmosfery miskoho seredovyscha [Graphical analysis of patterns of seasonal temperature fluctuations and concentrations of atmospheric pollutants in the urban environment]. *Ekologichni nauky*. 2024. Vyp. 5(56). S. 193–197.
- [3] Kahukina A. M., Patseva I. H. Analiz pokaznykiv monooksydu vuhletsu, dioksydu azotu ta amiak u povitriannomu baseini mista Zhytomyr za danymy hromadskoho monitoryngu povitria ECOCITY [Analysis of indicators of carbon monoxide, nitrogen dioxide and ammonia in the air basin of the city of Zhytomyr according to the public air monitoring data of ECOCITY]. *Ekologichni nauky*. 2024. Vyp. 3(54). S. 23–31.
- [4] Kireitseva H., Demchuk L., Paliy O., Kahukina A. Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 80. pp. 267–276.
- [5] Zvit pro stratehichnu ekolohichnu otsinku proektu prohramy rozvytku ahropromyslovoho kompleksu Zhytomyrskoi oblasti na 2021–2027 roky [Report on the strategic environmental assessment of the project of the development program of the agro-industrial complex of the Zhytomyr region for 2021–2027]. URL: <https://cutt.ly/jM0W68P> (access date: 01/05/2026).
- [6] Arkhipova H. I. Analiz vplyvu vidpratsovanykh avtomobilnykh haziv na stan atmosferного povitria v hustonaselenykh raionakh [Analysis of the impact of exhaust gases on the state of atmospheric air in densely populated areas]. *Visnyk NAU*. 2009. № 1, S. 78–83.
- [7] Demchuk L. I., Patseva I. H. Orhanizatsiia monitoryngu ta prohnozuvannya kryzovykh sytuatsii [Organization of monitoring and forecasting of crisis situations]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnogo universytetu imeni V. N. Karazina. Seriya: "Ekolohiia"*. 2023. Vyp. 29. S. 57–65.
- [8] Tymochko T. V. Ekologichni problemy transportnoi haluzi [Environmental problems of the transport industry]. URL: <https://www.ecoleague.net/pro-vel/misiia-vel/vystupy-publikatsii/2011/item/68-ekologichni-problemy-transportnoi-haluzi-pohliad-hromadskosti>
- [9] Vaskin R. A., Vaskina I. V. Analiz dynamiky zabrudnennia atmosferного povitria Ukrainy vykydamy avtotransportu [Analysis of the dynamics of atmospheric air pollution of Ukraine by vehicle emissions]. *Visnyk Kremenchutskoho derzh. politekhnichnogo universytetu im. Mykhaila Ostrohradskoho*. 2009. Vyp. 5(58), ch. 1. S. 109–112.
- [10] Dolzhenkova O. V. Naslidky vplyvu raketnykh udariv na stan atmosferного povitria v Ukraini [Consequences of the effect of missile strikes on the state of atmospheric air in Ukraine]. *Ekologichni nauky*. 2024. № 1(52), t. 1. S. 16–21.
- [11] Rusilo P. O. Vplyv na dovkillia avtomobilnogo transportu na vsikh stadiiakh yoho zhyttievoho tsykladu [Impact on the environment of road transport at all stages of its life cycle]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2008. Vyp. 18.3. S. 85–89.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Кагукіна А. М., Пацева І. Г. Взаємозв'язок метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир. *Екологічні науки*. 2025. Вип. 1(58). С. 58–64.
- [2] Кагукіна А. М., Пацева І. Г. Графічний аналіз закономірностей сезонних температурних коливань та концентрації забруднювачів атмосфери міського середовища. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 5(56). С. 193–197.
- [3] Кагукіна А. М., Пацева І. Г. Аналіз показників монооксиду вуглецю, діоксиду азоту та аміаку в повітряному басейні міста Житомир за даними громадського моніторингу повітря ECOCITY. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 3(54). С. 23–31.
- [4] Kireitseva H., Demchyk L., Paliy O., Kahukina A. Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 80. pp. 267–276.
- [5] Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту програми розвитку агропромислового комплексу Житомирської області на 2021–2027 роки. URL: <https://cutt.ly/jM0W68P> (дата звернення: 05.01.2026).
- [6] Архіпова Г. І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах. *Вісник НАУ*. 2009. № 1. С. 78–83.
- [7] Демчук Л. І., Пацева І. Г. Організація моніторингу та прогнозування кризових ситуацій. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: «Екологія»*. 2023. Вип. 29. С. 57–65.
- [8] Тимочко Т. В. Екологічні проблеми транспортної галузі. 2011. URL: <https://www.ecoleague.net/pro-vel/misiiia-vel/vystupy-publikatsii/2011/item/68-ekolohichni-problemy-transportnoi-haluzi-pohliad-hromadskosti> (дата звернення: 05.01.2026).
- [9] Васькін Р. А., Васькіна І. В. Аналіз динаміки забруднення атмосферного повітря України викидами автотранспорту. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського*. 2009. Вип. 5(58), ч. 1. С. 109–112.
- [10] Долженкова О. В. Наслідки впливу ракетних ударів на стан атмосферного повітря в Україні. *Екологічні науки*. 2024. № 1(52), т. 1. С. 16–21.
- [11] Русіло П. О. Вплив на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. Вип. 18.3. С. 85–89.

© Демчук Л. І., Пацева І. Г., Алпатова О. М., Русецька Н. М.

Дата першого надходження статті до видання: 20.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)