

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

До захисту допустити:
Завідувач кафедри

Мітюшкіна Х. С
«___» _____ 2025 р.

**Регіональне забруднення атмосферного повітря в Україні та шляхи
зменшення його негативного впливу**

Кваліфікаційна робота
здобувача вищої освіти другого
(магістерського) рівня освітньо-професійної
програми «Екологія та охорона навколишнього
середовища»

Сердюка Сергія Анатолійовича

Науковий керівник:
Петрик І. В., PhD, доцент кафедри
раціонального природокористування та
охорони навколишнього середовища

Рецензент:
Хлестова О. А., к.т.н., доцент кафедри
теплоенергетики та захисту навколишнього
середовища ДВНЗ «ПДТУ», м. Дніпро

Кваліфікаційна робота захищена
з оцінкою _____
Секретар ЕК _____
«___» _____ 2025 р.

Київ – 2025

Анотація

Сердюк С.А. Регіональне забруднення атмосферного повітря в Україні та шляхи зменшення його негативного впливу

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища». – Маріупольський державний університет, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено проблему регіонального забруднення атмосферного повітря в Україні як одну з ключових складових екологічної та національної безпеки держави в умовах воєнного та післявоєнного розвитку. Актуальність дослідження зумовлена високим рівнем техногенного навантаження на атмосферне повітря в окремих регіонах України, просторовою нерівномірністю розміщення джерел забруднення, а також значним впливом військових дій на стан довкілля та функціонування систем екологічного моніторингу.

Метою роботи є комплексний аналіз регіональних особливостей забруднення атмосферного повітря в Україні, виявлення основних чинників його формування та розроблення науково обґрунтованих шляхів зменшення негативного техногенного впливу з урахуванням регіональної специфіки та європейських екологічних практик.

Об'єктом дослідження є процеси формування та поширення техногенного забруднення атмосферного повітря в регіонах України.

Предметом дослідження є структура, динаміка та регіональні особливості викидів забруднюючих речовин, а також інструменти й заходи зі зниження негативного впливу.

У першому розділі роботи узагальнено теоретичні та методологічні підходи до дослідження забруднення атмосферного повітря, систематизовано понятійно-категоріальний апарат, визначено основні джерела та види

забруднювачів, а також проаналізовано вплив воєнних дій на стан атмосферного повітря. Особливу увагу приділено прямим і непрямим екологічним наслідкам бойових дій, зокрема викидам унаслідок вибухів, пожеж, руйнування промислових і енергетичних об'єктів та порушенням систем екологічного контролю.

У другому розділі здійснено аналіз стану атмосферного повітря в регіонах України на основі офіційних статистичних даних, екологічних паспортів областей та матеріалів державного моніторингу. Проаналізовано територіальну структуру викидів від стаціонарних і пересувних джерел забруднення, визначено регіони з підвищеним рівнем екологічного ризику. З використанням методів статистичного, кореляційного та регресійного аналізу встановлено взаємозв'язок між рівнем економічного розвитку регіонів і обсягами викидів забруднюючих речовин. Застосовано елементи просторової візуалізації для наочного відображення регіональної диференціації забруднення атмосферного повітря.

У третьому розділі узагальнено досвід країн Європейського Союзу щодо зменшення забруднення атмосферного повітря та обґрунтовано можливості його адаптації до українських реалій. Розроблено комплекс заходів зі зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря з урахуванням регіональної специфіки та виявлених екологічних ризиків. Запропоновано регіонально орієнтований пілотний проєкт зі зниження забруднення атмосферного повітря на прикладі Дніпропетровської області, який поєднує технологічні, організаційні та управлінські рішення, спрямовані на підвищення екологічної безпеки регіону.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до аналізу регіонального забруднення атмосферного повітря з урахуванням впливу воєнних дій, удосконаленні підходів до оцінювання регіональної диференціації забруднення та розробленні прикладних рекомендацій і пілотного проєкту для промислово навантаженого регіону.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх використання органами державної та регіональної влади, органами місцевого самоврядування, екологічними службами під час розроблення програм з охорони атмосферного повітря, а також у навчальному процесі під час викладання дисциплін екологічного спрямування.

Ключові слова: атмосферне повітря, регіональне забруднення, техногенне навантаження, стаціонарні та пересувні джерела, військові дії, екологічні ризики, сталий розвиток, екологічна безпека.

Abstract

Serdiuk S.A. *Regional Air Pollution in Ukraine and Ways to Reduce Its Negative Impact*.

Qualification thesis for obtaining the Master's degree under the Educational and Professional Program "Ecology and Environmental Protection". – Mariupol State University, 2025.

The qualification thesis investigates the problem of regional air pollution in Ukraine as one of the key components of environmental and national security under conditions of wartime and post-war development. The relevance of the study is determined by the high level of technogenic pressure on atmospheric air in certain regions of Ukraine, the spatial unevenness in the distribution of pollution sources, as well as the significant impact of military actions on the state of the environment and the functioning of environmental monitoring systems.

The purpose of the study is a comprehensive analysis of regional features of atmospheric air pollution in Ukraine, identification of the main factors influencing its formation, and development of scientifically substantiated ways to reduce the negative technogenic impact, taking into account regional specifics and European environmental practices.

The object of the research is the processes of formation and dispersion of technogenic atmospheric air pollution in the regions of Ukraine.

The subject of the research is the structure, dynamics, and regional characteristics of pollutant emissions, as well as tools and measures aimed at reducing their negative impact on the environment and public health.

The first chapter of the thesis summarizes theoretical and methodological approaches to the study of atmospheric air pollution, systematizes the conceptual framework, identifies the main sources and types of pollutants, and analyzes the impact of military actions on the state of atmospheric air. Special attention is paid to

the direct and indirect environmental consequences of hostilities, including emissions resulting from explosions, fires, destruction of industrial and energy facilities, and disruptions of environmental control systems.

The second chapter analyzes the state of atmospheric air in the regions of Ukraine based on official statistical data, regional environmental passports, and state monitoring materials. The territorial structure of emissions from stationary and mobile sources of pollution is examined, and regions with increased environmental risk are identified. Using statistical, correlation, and regression analysis methods, the relationship between the level of economic development of regions and the volume of pollutant emissions is determined. Elements of spatial visualization are applied to clearly demonstrate the regional differentiation of atmospheric air pollution.

The third chapter summarizes the experience of European Union countries in reducing atmospheric air pollution and substantiates the possibilities of its adaptation to Ukrainian realities. A set of measures aimed at reducing technogenic pressure on atmospheric air is developed, taking into account regional specifics and identified environmental risks. A regionally oriented pilot project for reducing atmospheric air pollution is proposed on the example of the Dnipropetrovsk region, combining technological, organizational, and managerial solutions aimed at improving regional environmental safety.

The scientific novelty of the research lies in a comprehensive approach to the analysis of regional atmospheric air pollution considering the impact of military actions, improvement of approaches to assessing regional differentiation of pollution, and development of applied recommendations and a pilot project for an industrially burdened region.

The practical significance of the obtained results consists in the possibility of their use by state and regional authorities, local self-government bodies, and environmental services in the development of atmospheric air protection programs, as well as in the educational process when teaching environmentally oriented disciplines.

Keywords: atmospheric air, regional pollution, technogenic pressure, stationary and mobile sources, military actions, environmental risks, sustainable development, environmental safety.

ЗМІСТ

.....	11
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	14
1.1. Поняття, джерела та класифікація забруднення атмосферного повітря...	14
1.2. Основні чинники регіонального забруднення в Україні.....	18
1.3. Вплив військових дій на стан забруднення атмосферного повітря.....	25
Висновки до розділу 1.....	32
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В РЕГІОНАХ УКРАЇНИ	35
2.1. Територіальне забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами	35
2.2. Регіональне забруднення атмосферного повітря пересувними джерелами забруднення.....	50
2.3 Візуалізація розподілу забруднення атмосферного повітря.....	60
Висновки до розділу 2.....	70
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ РЕГІОНАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ	72
3.1. Досвід країн ЄС у зменшенні забруднення атмосферного повітря.....	72
3.2. Розроблення комплексу заходів зі зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря України з урахуванням регіональної специфіки та виявлених екологічних ризиків.....	77
3.3. Розробка регіонального пілотного проєкту щодо зниження забруднення атмосферного повітря (на прикладі Дніпропетровської області).....	85
Висновки до розділу 3.....	92
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97

ВСТУП

Забруднення атмосферного повітря є одним із найбільш масштабних та соціально значущих екологічних викликів XXI століття. Для нашої держави дана проблема набуває особливої актуальності через концентрацію промислових підприємств у окремих регіонах, високий рівень техногенного навантаження, інтенсивність транспортних потоків, а також наслідки воєнних дій, що спричиняють додаткові викиди небезпечних речовин і руйнування екологічної інфраструктури. Просторова нерівномірність джерел забруднення, відмінності у природних умовах та структурі господарського комплексу зумовлюють суттєві регіональні відмінності якості атмосферного повітря, що потребує спеціального аналізу та науково обґрунтованого підходу до розроблення шляхів їх мінімізації.

Теоретичну основу роботи становлять наукові праці вітчизняних та зарубіжних дослідників. Інформаційну базу становлять офіційні статистичні дані, державні й регіональні звіти, дані систем моніторингу, нормативно-правові документи України та ЄС. Методологічні засади ґрунтуються на принципах системного, просторово-структурного та порівняльного аналізу.

Актуальність дослідження визначається необхідністю комплексного розуміння процесів, які формують техногенне навантаження на повітря в різних регіонах України, та розроблення ефективних заходів, здатних забезпечити зниження рівня забруднення з урахуванням просторової специфіки. У зв'язку із євроінтеграційним курсом України особливо важливим є впровадження підходів, сумісних з екологічними політиками та стандартами Європейського Союзу, включно з вимогами директив про якість атмосферного повітря, промислові викиди та національні обмеження емісій.

Об'єктом дослідження є процеси формування, поширення та просторової диференціації техногенного забруднення атмосферного повітря в Україні.

Предметом дослідження є структура, динаміка та регіональні особливості викидів забруднювальних речовин, а також інструменти й заходи зі зменшення їхнього негативного впливу.

Метою дослідження є комплексний аналіз регіональних особливостей забруднення атмосферного повітря в Україні, встановлення чинників його формування та розроблення науково обґрунтованих шляхів зменшення техногенного навантаження з урахуванням регіональної специфіки та європейських екологічних практик.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

- охарактеризувати сучасний стан та регіональну диференціацію забруднення атмосферного повітря в Україні;
- проаналізувати структуру та динаміку викидів основних забруднювачів у територіальному розрізі;
- визначити ключові промислові, енергетичні, транспортні та аграрні фактори формування техногенного навантаження;
- узагальнити досвід країн ЄС щодо зменшення забруднення повітря та виокремити релевантні для України практики;
- встановити регіональні екологічні ризики, пов'язані з підвищеним рівнем забруднення;
- сформувати комплекс регіонально диференційованих заходів зі зниження техногенного навантаження.

В роботі застосовано загальнонаукові методи аналізу, синтезу, узагальнення, а також елементи статистичного аналізу: розрахунок темпів приросту, оцінка регіональної структури забруднення, побудова лінійної регресійної моделі для прогнозування динаміки обсягів викидів у короткостроковій перспективі. Для встановлення взаємозв'язків між показниками використовувався кореляційний аналіз. Обробка даних здійснювалась із використанням табличних і графічних методів за допомогою програмного середовища MS Excel.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

- вперше здійснено комплексний регіональний аналіз забруднення атмосферного повітря в Україні з урахуванням впливу воєнних дій, що дозволило виявити зміни у структурі та інтенсивності техногенного навантаження;
- удосконалено підхід до оцінювання регіональної диференціації забруднення атмосферного повітря на основі поєднання статистичного, кореляційного та просторового аналізу;
- розроблено регіонально орієнтований пілотний проєкт зі зниження забруднення атмосферного повітря (на прикладі Дніпропетровської області) з урахуванням європейських екологічних практик та регіональної специфіки.

Апробація результатів роботи.

Участь у роботі XVI Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Сучасні технології управління туристичним та готельно-ресторанним бізнесом», м. Київ, 26 верес. 2024 р.

Участь у роботі XI Міжнародної науково-практичної конференції «Особливості інтеграції країн у світовий економічний та політико-правовий простір», м. Київ, 13 грудня 2024 р.

Участь у роботі VIII Всеукраїнська науково-практична заочна конференція «Екологія, природокористування та охорона навколишнього середовища: прикладні аспекти», м. Київ, 16 травня 2025 року.

Результати роботи опубліковані у науковій статті: Сердюк, С.А., Петрик І.В., Мітюшкіна Х.С. (2025). Забруднення повітря території в Україні та його зв'язок з регіональним економічним розвитком. *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій*. Серія Економічні науки, 27 (106). С. 63-69. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-e10611>

Кваліфікаційна робота складається з анотації, вступу, 3 розділів, які містять дев'ять підрозділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 102 сторінки. Кількість використаних джерел – 56. Кількість таблиць – 10, кількість рисунків – 12.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

1.1. Поняття, джерела та класифікація забруднення атмосферного повітря

Атмосферне повітря є одним з найважливіших природних ресурсів, який забезпечує життєдіяльність біосфери. Проте під впливом антропогенної діяльності його якісний склад зазнає істотних змін, що становить загрозу для здоров'я людини, стану екосистем та кліматичного балансу. В умовах активного промислового розвитку, урбанізації, інтенсифікації транспорту, а також військових дій, проблема забруднення атмосферного повітря набуває особливої актуальності.

Дослідженням атмосферного повітря, його стану, якості та забрудненням займається багато дослідників як вітчизняних, так і зарубіжних. Так, територіальне забруднення атмосферного повітря та його взаємозв'язок з регіональним економічним розвитком досліджували Мітюшкіна Х. та Петрик І. [1, с. 63-69]; Пастернак О., Данилова С. приділяли увагу порівняльному аналізу даних систем моніторингу атмосферного повітря [2, с. 20-30]; Белоконь К., Пірогова І. аналізували та оцінювали рівень забруднення міста [3, с. 149-159], а Гринчишин Н. вивчав якість атмосферного повітря за вмістом твердих мікрочастинок у містах України в умовах карантину та воєнного часу [39, с. 6-15]. Варто зазначити, що досліджувати атмосферне повітря доцільно не лише з екологічного, економічного чи соціального аспекту, необхідно акцентувати увагу і на нормативно-правовому аспекті, адже саме він визначає як суспільство повинно реагувати на проблеми забруднення та протидіяти йому в правовому полі. Так, Рубцова І. [4, с. 109] в своїх роботах займалась дослідженням атмосферного повітря як предмету правового регулювання, зазначаючи, що якість та безпечність атмосфери залежить не лише від рівня забруднення, а й від адміністративно-правових заходів, спрямованих на

адміністративно-правову охорону. Омельченко О. досліджував питання об'єктивної сторони кримінального правопорушення щодо забруднення атмосферного повітря [40, с. 31-38].

Отже, аналіз джерел наукової літератури засвідчив необхідність та актуальність обраної теми. Вважаємо необхідним дослідити термінологічний апарат, який є основою магістерського дослідження (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Термінологічний апарат дослідження

Трактування терміну	Джерело
Атмосфера – газоподібна оболонка Землі та інших небесних тіл	[5]
Атмосферне повітря – життєво важливий компонент навколишнього природного середовища, який являє собою природну суміш газів, що знаходиться за межами жилих, виробничих та інших приміщень	[6]
Атмосферне повітря – це елемент навколишнього природного середовища, що становить невидиму суміш газів у межах території України та містить життєво важливі хімічні речовини і сполуки, що необхідні для існування живих організмів	[4, с. 109]
Забруднення – внесення в навколишнє середовище або виникнення в ньому нових, зазвичай не характерних фізичних чинників, хімічних і біологічних речовин, які шкодять природним екосистемам та людині	[7]
Забруднювач – будь-який фізичний чинник, хімічна речовина або біологічний вид (головним чином мікроорганізми), який потрапляє в навколишнє середовище або виникає в ньому в кількості, більшій за звичайну, і викликає забруднення середовища	[5]

Продовження табл. 1.1

Забруднення довкілля – зміна складу навколишнього середовища внаслідок діяльності людини	[8]
Забруднення атмосферного повітря – змінення складу і властивостей атмосферного повітря в результаті надходження або утворення в ньому фізичних, біологічних факторів і (або) хімічних сполук, що можуть несприятливо впливати на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища	[6]

**сформовано автором з використанням [4; 5; 6; 7; 8]*

Визначивши основний термінологічний апарат дослідження, розглянемо джерела атмосферного забруднення, адже саме вони визначають масштаби, інтенсивність і просторову структуру екологічного навантаження на навколишнє середовище. Походження забруднюючих речовин є ключовим чинником у формуванні екологічного ризику та розробленні ефективних стратегій його зниження (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Систематизація джерел та видів атмосферного забруднення

**сформовано автором з використанням [41]*

Отже, за походженням джерела забруднення умовно поділяють на дві основні групи:

- природні джерела – виникають без участі людини: виверження вулканів, пилові бурі, лісові пожежі, вивітрювання гірських порід, біологічні процеси розкладу органічної речовини тощо. Хоча ці джерела можуть бути потужними, їх вплив, як правило, є короточасним і локалізованим.
- антропогенні джерела – результат людської діяльності: промислові підприємства, транспорт, спалювання викопного палива, виробництво енергії, сільське господарство, будівництво. Саме вони є головними джерелами тривалого та системного забруднення атмосфери в Україні.

Окрім цього ще існує класифікація джерел за характером викидів:

- стаціонарні джерела – об'єкти з фіксованим розташуванням (заводи, електростанції, котельні);
- рухомі джерела – транспортні засоби, що працюють на двигунах внутрішнього згоряння (автомобілі, літаки, судна).

Виділяють в науковій літературі також класифікацію забруднюючих речовин за фізико-хімічними властивостями:

- газоподібні речовини – оксиди вуглецю (CO , CO_2), азоту (NO , NO_2), сірки (SO_2), аміак (NH_3), леткі органічні сполуки (ЛОС), озон (O_3);
- тверді частинки – пил, сажа, метали, зола, зокрема частинки PM_{10} і $\text{PM}_{2.5}$, які є особливо небезпечними для органів дихання;
- аерозолі та рідкі домішки – краплі кислот, органічних сполук, масел, які утворюються внаслідок хімічних реакцій у повітрі.

Від механізму утворення виділяють:

- первинні забруднювачі – потрапляють в атмосферу без змін після викиду (наприклад, CO , SO_2 , пил).
- вторинні забруднювачі – формуються в атмосфері внаслідок хімічних реакцій первинних речовин між собою або з природними компонентами повітря (наприклад, озон, пероксиацетилнітрат, фотохімічний смог).

Класифікація забруднювачів також може враховувати їх вплив на організм людини: токсичні, канцерогенні, алергенні, радіоактивні тощо. Найбільш небезпечними є речовини, що мають властивість до біоаккумуляції, викликають хронічні захворювання або впливають на генетичний матеріал (мутагени).

В Україні контроль за якістю повітря здійснюється відповідно до вимог Закону України «Про охорону атмосферного повітря» [6] та Державних санітарних правил охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) [9]. Перелік пріоритетних забруднювачів включає речовини, що найчастіше перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК) у промислово розвинених регіонах: діоксид азоту, формальдегід, бенз(а)пірен, оксид вуглецю, пил, озон.

Таким чином, для ефективного управління якістю повітря необхідне не лише розуміння складу і джерел забруднень, але й урахування їх фізико-хімічних характеристик, біологічного впливу та просторово-часових особливостей розповсюдження. Комплексна класифікація забруднювачів є основою для розробки державних і регіональних стратегій екологічної безпеки.

1.2. Основні чинники регіонального забруднення в Україні

Рівень забруднення довкілля в Україні визначається комплексом природних і антропогенних чинників, що мають виразну регіональну специфіку. Просторова нерівномірність господарського розвитку, різна щільність населення, структура промисловості, інтенсивність транспортних потоків і природно-кліматичні умови зумовлюють диференціацію екологічного навантаження між регіонами.

Ключовими чинниками формування регіонального забруднення є промисловість, енергетика, транспорт і сільське господарство. До початку повномасштабного вторгнення, згідно даних офіційної статистики, найбільший внесок у загальні обсяги викидів мали промислові підприємства східних та

центральных областей – Дніпропетровської, Донецької, Запорізької, Полтавської, Харківської. Саме в цих регіонах зосереджені металургійні, хімічні, енергетичні та машинобудівні виробництва, що генерують значні обсяги оксидів сірки, азоту, вуглецю та дрібнодисперсних частинок. Високий рівень урбанізації та концентрації промислового потенціалу спричиняє утворення стійких осередків забруднення атмосферного повітря, ґрунтів і вод.

Транспортний сектор формує суттєву частку регіонального забруднення, особливо у великих міських агломераціях – Києві, Харкові, Дніпрі, Одесі, Львові. Викиди від автотранспорту містять чадний газ, оксиди азоту, леткі органічні сполуки та пилові частинки ($PM_{2.5}$, PM_{10}), що безпосередньо впливають на здоров'я населення. Енергетичний сектор, зокрема теплоелектростанції, які працюють на вугіллі, є джерелами вторинного забруднення у вигляді сірчаних і азотних сполук, що формують кислотні опади. Сільське господарство додає до цієї структури викиди аміаку, метану та сполук азоту, що утворюються при використанні мінеральних добрив і веденні тваринництва. Отже, будь-яка сфера промислової та непромислової сфери впливають на якість навколишнього середовища, змінюючи його.

Аналіз екологічних паспортів за кожною адміністративно-територіальною одиницею дозволив виділити основних забруднювачів атмосферного повітря в регіонах. Так, у Вінницькій області [10, с. 5-6] головним забруднювачем атмосфери виступають підприємства енергетичної промисловості, сільського господарства, переробної та транспортні підприємства. Кількість викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел у розрахунку на квадратний кілометр території протягом 2023 року складала 2,9 т. На душу населення в середньому по області припадає 52 кг викинутих у повітря забруднюючих речовин. За даними ДУ «Вінницький обласний лабораторний центр МОЗ України» [11] 6,9% проб повітря, відібраних в міських та сільських поселеннях, не відповідали вимогам за вмістом забруднюючих речовин за рахунок перевищення вмісту пилу, оксиду вуглецю, азоту діоксиду, фенолу та його похідних, формальдегіду.

Серед підприємств, які здійснюють найбільші викиди в атмосферне повітря в Закарпатській області залишаються АТ «Закарпатгаз» та магістральні газопроводи. Закарпатського лінійного виробничого управління, частка викидів від яких станом на 2023 рік [12] в загальному обсязі складає 80% або 2,7 тис. тонн (71 % - підприємства Закарпатського лінійного виробничого управління та 9 % - АТ «Закарпатгаз»). Отже, зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря залежить саме від цих підприємств, конкретніше від кількості об'ємів перекачаного цими підприємствами газу та профілактичними ремонтними роботами на компресорних станціях.

Запорізька область відноситься до регіонів, де зосереджена значна кількість підприємств важкої промисловості. Велика кількість промислових підприємств та їх концентрація призводять до значного забруднення повітряного басейну, що спричиняє техногенне навантаження на довкілля області. Найбільшими забруднювачами атмосферного повітря в області залишаються підприємства чорної та кольорової металургії, теплоенергетики, машинобудування, хімічної та харчової промисловості. Слід зазначити, що у 2023 році спостерігається зменшення загальних обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря по області. Це обумовлене, головним чином тим, що значна частина території Запорізької області опинилася в тимчасовій окупації, частина підприємств регіону зазнала руйнувань, а частина зменшила обсяги виробництва, оскільки були порушені ланцюги постачання, збуту продукції та відбувались перебої з електропостачанням. Варто зазначити, що дана тенденція спостерігається і в 2025 році. Основними забруднювачами атмосферного повітря в Запорізькій області є ПАТ «Запоріжсталь», АТ «Запорізький завод феросплавів», ПрАТ «Запоріжжюкс», ПрАТ «Український графіт», ПрАТ «Запорізький абразивний комбінат» [13, с. 6-7].

Основними забруднювачами повітря в Івано-Франківській області станом на 2023 рік і дотепер залишаються підприємства з постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря, на які припадає 89,2% (за даними 2023 року) від загальнообласних обсягів викидів забруднюючих речовин [14, с. 6].

В Кіровоградській області основними забруднювачами атмосферного повітря за статистичними даними 2023 року є підприємства, що здійснюють виробництво олії та тваринних жирів (1681,171 т), виробництво цукру (1237,924 т) та розведення свиней (860,823 т) [15, с. 8]. Станом на 2025 основні забруднювачі в Кропивницькій області продовжують свою роботу.

Основними забруднювачами повітря у Волинській області є підприємства добувної та переробної промисловості, сільського, лісового та рибного господарства, підприємства з видобування природного газу та нафтопереробки, а також здійсненні діяльності у сфері постачання електроенергії, газу, пари та конденсованого повітря. На них припадає понад 89% загальнообласних викидів, згідно даних 2023 року (ТзОВ «Птахокомплекс Губин», Локачівський ЦВНТК ГПУ «Львівгазвидобування» ПАТ «Укргазвидобування», ДП «Волиньторф» та інші) [16, с. 6].

Дніпропетровська область після початку повномасштабного вторгнення збільшила обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, що в 2023 році на 56,2 тис. т більше, ніж у 2022 році. У складі викинутих забруднюючих речовин оксиди вуглецю становлять 120,013 тис. т; діоксиди сірки – 71,740 тис. т; речовини у вигляді суспендованих твердих частинок – 34,161 тис. т; діоксиди азоту – 19,001 тис. т тощо. До основних забруднювачів повітря відносять наступні підприємства:

- ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»,
- АТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»,
- ДТЕК «Придніпровська ТЕС»,
- ПрАТ «Дніпровський металургійний завод»,
- АТ «Кривбасзалізрудком»,
- АТ «Нікопольський завод феросплавів», ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» та інші суб'єкти господарювання [17, с. 10-12].

На території Донецької області створена потужна техносфера, що включає значні промислові підприємства гірничодобувної, металургійної, хімічної промисловості, енергетики, важкого машинобудування та будівельних

матеріалів, родовища корисних копалин. Висока концентрація промислового, сільськогосподарського виробництва, транспортної інфраструктури в поєднанні із значною щільністю населення створили величезне навантаження на біосферу – найбільшу в Україні і Європі (якщо проаналізувати стан техносфери до початку повномасштабного вторгнення РФ в Україну та проведення АТО на сході країни у 2014 році). За даними Головного управління статистики у Донецькій області [18, с. 9] викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення за 2023 рік становлять 161,7 тис. т, що на 26,1% менше, ніж у 2022 році, та на 78,3% менше, ніж у 2021 році. Значне зниження обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами у 2022–2023 роках пов'язано з:

- веденням активних бойових дій на території Донецької області та частковою окупацією частини території;
- припиненням виробничої діяльності та/або переміщення в більш безпечні регіони країни окремих підприємств Донецької області.

Аналізуючи загальний обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами у Житомирській області необхідно відмітити значне скорочення обсягів викидів у 2022-2023 роках у порівнянні з 2021 роком, що склало відповідно 17,2% та 36,8%. Проаналізувавши інформацію про обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами основних забруднювачів атмосферного повітря області, що майже не змінюються протягом останніх років, відмічене скорочення викидів в атмосферного повітря у половини суб'єктів господарювання. Основними забруднювачами атмосферного повітря за видами економічної діяльності залишаються сільське, лісове та рибне господарство, переробна промисловість, добувна промисловість і розроблення кар'єрів, викиди забруднюючих речовин яких у 2022-2023 рр. склали відповідно 88,76% та 85,43% від загального обсягу викидів в атмосферне повітря у Житомирській області. Спостерігається значне зменшення обсягів викидів у 2023 році у порівнянні з 2022 роком за видами екологічної діяльності

«Транспорт, складське господарство поштова та кур'єрська діяльність» на 76,6%, «Сільське, лісове та рибне господарство» - 35,5%, «Добувна промисловість і розроблення кар'єрів» - 15,5%. Зросли обсяги викидів в атмосферне повітря стаціонарними джерелами у таких галузях як «Переробна промисловість» на 14,86%; «Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря» на 10% [19, с. 6-7].

Основними забруднювачами атмосферного повітря в 2023 році в Черкаській області залишаються наступні підприємства: ПрАТ «Черкаське хімволокно» ВП «Черкаська ТЕЦ» з валовим викидом 28,989 тис. т; ПрАТ «Миронівська птахофабрика» - 6,178 тис. т; ПрАТ «АЗОТ» – 6,018 тис. т. Загальний обсяг викидів від цих підприємств становив 41,185 тис. т (67% від викидів стаціонарних джерел області) [20, с. 6].

Через збройну агресію РФ та у зв'язку з тимчасовою окупацією Херсонської області у 2022 році систематичні спостереження за станом атмосферного повітря у містах не проводилися. Систематичні спостереження на звільненій правобережній частині території області почали здійснюватися із серпня 2023 року, щодня, крім вихідних, на чотирьох стаціонарних постах спостережень у місті Херсоні [21, с. 5]. Найбільшим джерелом забруднення атмосфери міста Херсон є транспорт: вантажний, приватний, громадський та військова техніка. 70% усіх токсичних викидів в атмосферу припадає на автотранспорт. Загальні викиди токсичних речовин залежать від потужності та типу двигуна, режиму його роботи, технічного стану автомобіля, швидкості руху, стану дороги, якості пального. Основні токсичні інгредієнти, якими забруднюється повітря під час експлуатації пересувних джерел, – оксид вуглецю, оксиди азоту, легкі органічні сполуки, діоксид сірки, вуглеводні речовини та речовини у вигляді суспендованих твердих частинок. Крім того, від пересувних джерел забруднення в атмосферу надходить діоксид вуглецю. Слід зауважити, що надходження забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення та виробничої техніки у всіх районах області переважають над викидами стаціонарних джерел. У місті Херсоні досить широко

використовуються кам'яне вугілля, нафтопродукти та природний газ. Це вже само по собі визначає забруднення міста продуктами згорання. Житлові будинки та виробничі приміщення частково опалюються газовими та електричними приладами.

Оцінюючи стан забруднення атмосферного повітря в ході середньомісячних концентрацій, перевищення середньодобових гранично допустимих концентрацій (ГДКс.д.) відмічалось по діоксину азоту (3,2-3,5 ГДКс.д.), фенолу (1,1-2,1 ГДКс.д.) формальдегіду (1,8-2,9 ГДКс.д.). Середня концентрація інших домішок нижче гранично допустимого рівня. Разові максимальні концентрації спостерігались у місті по діоксиду азоту – 2,0 ГДКм.р., фенолу – 3,8 ГДКм.р. та формальдегіду – 1,8 ГДКм.р. Аналізуючи в цілому стан атмосферного повітря в місті Херсоні у 2023 році, неможливо зробити порівняння з попереднім роком через тимчасову окупацію обласного центру збройними формуваннями країни-агресора [21, с. 6].

Таким чином, рівень і характер забруднення безпосередньо пов'язаний зі спеціалізацією регіонів України. Індустріально розвинені області східної та центральної частин мають потужні джерела стаціонарних викидів, тоді як західні регіони характеризуються переважанням переробної промисловості, деревообробки, харчового виробництва та туризму. У південних регіонах вагому роль відіграє аграрний сектор, а в північних – лісова та целюлозно-паперова промисловість. Такий територіальний розподіл господарської діяльності формує специфічну просторову структуру забруднення атмосфери, вод і ґрунтів, визначаючи як обсяги, так і склад домінуючих поллютантів.

1.3. Вплив військових дій на стан атмосферного повітря в Україні

Військові дії справляють масштабний і руйнівний вплив на навколишнє природне середовище, порушуючи баланс екосистем, забруднюючи атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти та рослинний і тваринний світ. Особливо вразливою є атмосфера, оскільки вона першою реагує на наслідки бойових дій – вибухи, пожежі, рух військової техніки, горіння палива та боєприпасів супроводжуються значними викидами шкідливих речовин у повітря.

У межах даного магістерського дослідження основна увага зосереджується саме на стані атмосферного повітря, адже його якість безпосередньо впливає на здоров'я людей, функціонування природних систем і кліматичні процеси. Тому актуальним є аналіз змін, які відбуваються в атмосфері внаслідок збройних конфліктів.

Війна завдає як прямого, так і непрямого впливу на стан атмосферного повітря. Прямий вплив проявляється у фізичних, хімічних та термодинамічних процесах, що відбуваються під час бойових дій: вибухи, пожежі, утворення диму й токсичних сполук. Непрямий вплив охоплює довготривалі наслідки – руйнування промислових об'єктів, складів палива, транспортної інфраструктури, а також порушення систем екологічного контролю та моніторингу. Відтак, у подальшому дослідженні доцільно розмежувати і детально проаналізувати обидва типи впливу – прямий і непрямий, щоб комплексно оцінити масштаби екологічних наслідків війни для атмосферного повітря.

Отже, до основних механізмів прямого впливу відносять:

По-перше, вибухи боєприпасів, ракет, авіаударів – супроводжуються виділенням у повітря великої кількості оксидів азоту, вуглецю, діоксиду сірки, важких металів, сажі та токсичних сполук. За оцінками Європейського агентства з навколишнього середовища [42], один великий вибух може вивільняти тисячі тонн забруднюючих речовин локально.

По-друге, горіння складів палива, промислових об'єктів, нафтобаз, енергетичної інфраструктури – створює стійкі хмари забруднення, які містять бенз(а)пірен, поліциклічні ароматичні вуглеводні, діоксини. Пожежі на нафтобазах мають ефект, подібний до виверження вулкану, формуються щільні аерозольні шари, що знижують прозорість атмосфери.

По-третє, руйнування хімічних і металургійних підприємств – у східних регіонах (Донецька, Луганська, Запорізька області) спричинило викиди промислових реагентів, аміаку, хлору, фенолів, які потрапляють у повітря.

По-четверте, підпал лісів і торфовищ – особливо в зонах бойових дій та на покинутих територіях. Це збільшує кількість дрібнодисперсного пилу PM2.5, який має канцерогенні властивості.

По-п'яте, пилові шлейфи від техніки – пересування бронетанкових колон, вибухи ґрунту створюють аерозольні хмари, збагачені частками важких металів та ґрунтового пилу.

Отже, прямі наслідки проявляються у зростанні концентрацій пилу, чадного газу, діоксиду азоту, сірки, формуванні локальних смуг забруднення, які можуть поширюватися на сотні кілометрів залежно від вітрів.

Крім безпосередніх бойових процесів, війна має системний і тривалий непрямий ефект на атмосферу - через зміну структури економіки, енергоспоживання й транспортних потоків.

Непрямий вплив військових дій проявляється у наступному:

По-перше, зменшення промислової активності у східних і південних регіонах призвело до суттєвого скорочення викидів від стаціонарних джерел (металургія, енергетика, хімічна промисловість).

По-друге, зміна транспортних потоків – зменшення пересування цивільного транспорту у прифронтових зонах, але збільшення військової мобільності (паливо, важка техніка). Це створює локальні осередки забруднення біля логістичних вузлів.

По-третє, порушення екологічного моніторингу – багато постів спостережень за повітрям у зонах бойових дій знищено або не функціонують, тому частина забруднень не фіксується офіційною статистикою.

По-четверте, зміщення виробництва на захід країни – призводить до часткового перерозподілу джерел викидів, збільшення навантаження на екосистеми Карпатського та Подільського регіонів.

По-п'яте, зміна енергетичного балансу – через руйнування ТЕС і скорочення газопостачання відбувається перехід на дизельні генератори та вугілля, що збільшує локальні викиди CO_2 , SO_2 , NO_x .

По-шосте, гуманітарні наслідки – зростання кількості тимчасових поселень і об'єктів інфраструктури (пункти обігріву, пересувні кухні, транспорт) збільшує локальні навантаження на атмосферу у відносно безпечних регіонах.

На тлі загального забруднення в окремих регіонах спостерігається тимчасове зниження рівня викидів через зупинку підприємств, евакуацію населення, скорочення споживання енергії.

Таким чином, війна має подвійний вплив на атмосферу: короткостроковий вплив – різке збільшення забруднення через вибухи, пожежі, токсичні гази; довгостроково – зменшення загальних промислових викидів через знищення підприємств і зміну економічної структури. Попри часткове зниження статистичних показників викидів, якість повітря не поліпшується пропорційно, оскільки спостерігаються локальні екологічні катастрофи у зонах бойових дій, а токсичні сполуки осідають у ґрунті та потрапляють у атмосферу під час вторинних процесів.

Широкомасштабна військова агресія російської федерації проти України призвела до серйозних екологічних наслідків, особливо для регіонів, які перебувають у зоні активних бойових дій. Саме там виникають надзвичайні ситуації, що спричиняють забруднення атмосферного повітря, ґрунтів і поверхневих водойм. Одним із прикладів таких надзвичайних ситуацій є лісові пожежі та пошкодження екологічно небезпечних об'єктів унаслідок обстрілів і

вибухів. Такі події призводять до значного забруднення атмосферного повітря, рівень якого неможливо точно оцінити через відсутність моніторингових спостережень. Це пов'язано з тим, що переважна більшість території Донецької, Луганської, Запорізької, Херсонської областей тимчасово окуповані збройними формуваннями країни-агресора, а підконтрольна Україні частина області перебуває в зоні активних бойових дій або під постійним артилерійсько-мінометним обстрілом. Через це відповідна екологічна інформація відсутня або ж формується не в повному обсязі.

За даними Міндовкілля [38] станом на 13.08.2025 збитки, завдані атмосферному повітрю внаслідок воєнних дій в Україні, склали понад 946 млрд гривень, причому левову частку (81%) цієї суми становили збитки, завдані лісовими пожежами (понад 767 млрд гривень) з викидами в атмосферу внаслідок горіння лісів понад 76 млн тонн забруднюючих речовин. Такі форсмажорні додаткові обсяги забруднення повітря, посилюють негативний вплив на клімат, сприяючи потеплінню та зсуву меж природних зон за рівнем погодних показників із півдня на північ.

Варто зазначити, що серед численних промислових підприємств, пошкоджених унаслідок бойових дій, опинилися найбільш екологічно небезпечні виробництва:

- ВП «Луганська теплова електрична станція» ТОВ «ДТЕК Східенерго»,
- ПАТ «Лисичанськвугілля»,
- ДП «Первомайськвугілля»,
- ДП «Сєвєродонецька ТЕЦ»,
- ПрАТ «Сєвєродонецьке об'єднання Азот»,
- ПАТ «Рубіжанський картонно-тарний комбінат»,
- ПрАТ «Лисичанська нафтова інвестиційна компанія»,
- ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Зоря»,
- ПАТ «Лисичанський склозавод «Пролетарій»,

- та інші, адже військові дії досі тривають і далекобійні ракети та дрони, нажаль, уражують суб'єкти господарювання, які знаходяться далеко від зони активних бойових дій.

Отже, забруднене повітря не має кордонів – шкідливі речовини можуть переноситися на великі відстані й осідати на значних територіях. Особливо небезпечними є оксиди сірки (SO_2) та оксиди азоту (NO_2), які, окислюючись в атмосфері, спричиняють кислотні дощі. Вони змінюють рН ґрунту, пошкоджують рослини, викликають опіки слизових оболонок у людей, птахів і тварин. Наприклад, під час детонації ракет та артилерійських снарядів у повітря викидається значна кількість хімічних сполук:

- чадний газ (CO),
- вуглекислий газ (CO_2),
- водяна пара (H_2O),
- бурий газ (NO),
- закис азоту (N_2O),
- діоксид азоту (NO_2),
- формальдегід (CH_2O),
- пари ціанистої кислоти (HCN),
- токсичні органічні речовини.

Вибухи спричиняють окиснення навколишніх ґрунтів, рослинності та будівельних конструкцій. Основними продуктами повного згоряння є вуглекислий газ і водяна пара – вони не є токсичними, проте належать до парникових газів, що сприяють зміні клімату. Водночас оксиди сірки та азоту, потрапляючи в атмосферу, стають причиною кислотних дощів, які негативно впливають на довкілля та здоров'я живих організмів.

Отже, регіональне забруднення в Україні має комплексну природу, що формується поєднанням промислових, енергетичних, транспортних і аграрних чинників. Війна істотно трансформувала економічну географію країни, призвівши до перерозподілу виробничих потужностей, скорочення промислової активності на сході та посилення господарського розвитку на заході. Ці

процеси водночас зменшили навантаження на традиційні індустріальні центри та створили нові екологічні виклики для відносно чистіших регіонів. Подальше відновлення України має ґрунтуватися на принципах сталого розвитку, енергоефективності та екологічної безпеки.

З 2022 року та по сьогодні в Україні фіксуються масові ракетні обстріли енергетичної інфраструктури, наслідком яких стали аварійні та віялові відключення електроенергії, а подекуди – тривалі блекауті. У таких умовах підприємства та населення були змушені переходити на альтернативні джерела живлення, насамперед дизельні та бензинові генератори. Лише протягом 2022 року до України було імпортовано близько 670 тисяч одиниць генераторного обладнання [37], що свідчить про масштабне поширення цього джерела енергії в побуті й бізнесі.

Однак широке використання генераторів має негативні екологічні наслідки, оскільки двигуни внутрішнього згоряння під час роботи виділяють у повітря значну кількість шкідливих речовин – оксид вуглецю, чадний газ, сажу, оксиди азоту та дрібнодисперсний пил. Ці компоненти не лише погіршують якість атмосферного повітря, а й створюють серйозну загрозу здоров'ю людей. Найбільше від забруднення страждають уразливі категорії населення – особи із захворюваннями органів дихання, зокрема на астму або хронічні респіраторні недуги, а також люди із серцево-судинними проблемами. Особливу небезпеку становить дрібнодисперсний пил, здатний проникати в легені, судини та кров, негативно впливаючи на функціонування мозку, нервової системи й сприяючи розвитку хронічних патологій. Згідно з науковими оцінками, спалювання лише одного літра бензину може забруднити приблизно 15 м³ атмосферного повітря [37], що наочно демонструє масштаби потенційного екологічного впливу масового використання генераторів.

Таким чином, повномасштабна війна, розпочата Росією у 2022 році, суттєво змінила територіальну структуру економіки України, що безпосередньо вплинуло й на екологічну ситуацію. Значна частина промислових підприємств сходу та півдня країни була зруйнована або зупинила роботу через бойові дії,

окупацію чи руйнування інфраструктури. Це спричинило різке скорочення промислового виробництва у традиційно індустріальних регіонах – Донецькій, Луганській, Запорізькій та Херсонській областях – і часткове переміщення підприємств до центральних і західних областей. Унаслідок цього спостерігається зміщення економічної активності на захід країни, де формується нова структура виробництва з переважанням легкої промисловості, логістики, інформаційних послуг та харчового сектору. Натомість частка важкої промисловості, гірничо-металургійного комплексу та видобувних галузей у загальній структурі економіки зменшилася. Такі зміни сприяли тимчасовому зниженню рівня промислових викидів на сході, проте підвищили екологічне навантаження у приймаючих регіонах через концентрацію нових підприємств, збільшення транспортних потоків і споживання енергії. Війна створила низку нових екологічних ризиків – руйнування промислових об’єктів, витіки небезпечних речовин, пожежі на складах пального, забруднення ґрунтів і вод вибуховими речовинами та важкими металами. Унаслідок цього змінилися джерела та інтенсивність забруднення, що потребує посилення системи моніторингу, відновлення екологічної інфраструктури та впровадження програм «зеленої» реконструкції.

Висновки до розділу 1

У першому розділі здійснено теоретико-методологічне обґрунтування проблеми забруднення атмосферного повітря в Україні, визначено сутність, основні джерела та чинники його погіршення, а також проаналізовано вплив воєнних дій на якість повітряного середовища.

Атмосферне повітря є невід’ємним компонентом природного середовища, що забезпечує існування живих організмів і стабільність біосферних процесів. Проте під впливом індустріалізації, урбанізації, транспортної інтенсифікації та воєнних дій його хімічний склад зазнає істотних змін. У сучасних умовах зростає роль комплексного підходу до оцінки стану повітря – екологічного, економічного, соціального й нормативно-правового, що дає змогу не лише виявити масштаби проблеми, а й визначити ефективні механізми її попередження та регулювання.

У роботі систематизовано наукові підходи до визначення ключових понять: атмосферне повітря, забруднення, забруднювач, забруднення атмосферного повітря. З’ясовано, що нормативно-правові документи трактують атмосферне повітря як життєво важливий компонент навколишнього природного середовища, а забруднення – як внесення у нього фізичних, хімічних або біологічних чинників, що погіршують його якість та створюють ризики для здоров’я людей.

Досліджено джерела забруднення атмосфери, які поділяються на природні (виверження вулканів, пилові бурі, пожежі, біологічні процеси) та антропогенні (промисловість, енергетика, транспорт, сільське господарство, будівництво).

Встановлено, що домінуючими для України залишаються антропогенні джерела, зокрема викиди стаціонарних промислових об’єктів і транспортних засобів. Проведена класифікація забруднювачів за фізико-хімічними властивостями, механізмом утворення та ступенем впливу на організм людини

дозволила виділити найбільш небезпечні речовини – дрібнодисперсний пил (PM_{2.5}, PM₁₀), оксиди азоту, діоксид сірки, бенз(а)пірен, формальдегід.

Встановлено, що рівень і характер регіонального забруднення в Україні визначаються поєднанням природних та антропогенних чинників, які мають чітко виражену просторову специфіку. Індустріальні області східної та центральної частини країни (Дніпропетровська, Донецька, Запорізька, Полтавська, Харківська) характеризуються найвищими показниками викидів від підприємств металургії, хімічної та енергетичної промисловості. У західних регіонах переважають джерела переробної промисловості, деревообробки, харчового виробництва та транспорту, а в південних – аграрного сектору. Така регіональна диференціація формує специфічну просторову структуру забруднення повітряного басейну держави.

Окрему увагу приділено впливу війни на стан атмосферного повітря. З'ясовано, що військові дії мають як прямий, так і непрямий вплив на атмосферу. Прямий пов'язаний із вибухами, пожежами, руйнуванням промислових об'єктів і складів пального, що супроводжується викидом великої кількості токсичних речовин. Непрямий проявляється через зміну структури промисловості, переміщення виробництв, використання генераторів і дизельних установок, руйнування систем екологічного моніторингу. За оцінками Міндовкілля, лише станом на серпень 2025 року збитки, завдані атмосферному повітрю через бойові дії, перевищили 946 млрд грн, що підтверджує масштабність екологічних наслідків війни.

Таким чином, у результаті проведеного аналізу доведено, що:

- забруднення атмосферного повітря в Україні має комплексний, багатofакторний характер;
- головними джерелами залишаються антропогенні викиди промислових, енергетичних і транспортних секторів;
- регіональні відмінності зумовлені економічною спеціалізацією, рівнем урбанізації та природно-кліматичними умовами;

- воєнні дії значно загострили екологічну ситуацію, створивши нові осередки техногенного забруднення;
- подолання наслідків можливе лише через впровадження інтегрованої державної політики у сфері охорони атмосферного повітря, посилення екологічного контролю, відновлення моніторингової мережі та орієнтацію на принципи сталого розвитку.

Результати цього розділу створюють наукову основу для подальших прикладних досліджень просторової диференціації забруднення повітря в Україні та розроблення рекомендацій щодо зменшення антропогенного навантаження в умовах воєнного та післявоєнного відновлення.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

2.1. Територіальне забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами

В умовах сучасних глобальних викликів, концепція сталого розвитку набуває ключового значення для забезпечення збалансованого співіснування людини та довкілля. Екологічна безпека виступає одним із фундаментальних компонентів цієї концепції, оскільки саме вона формує основу для довготривалого соціального, економічного й екологічного добробуту [22]. В Україні, яка перебуває в умовах тривалої війни з рф, проблеми охорони довкілля, зокрема атмосферного повітря, набули ще більшої актуальності. З огляду на те, що екологічна безпека є невіддільною складовою національної безпеки, питання забруднення атмосферного повітря потребують не лише екологічного, але й стратегічного переосмислення.

Одним із головних джерел забруднення атмосферного повітря в Україні залишаються стаціонарні джерела – підприємства енергетичної, металургійної хімічної та інших галузей [23]. Негативний вплив суб'єктів господарювання особливо відчутним є на регіональному рівні, де високий рівень концентрації промислових об'єктів поєднується з недостатнім екологічним контролем, зношеністю очисних систем та обмеженими ресурсами місцевої влади. Регіональне забруднення повітря має складну структуру та різниться за масштабами й джерелами в залежності від особливостей природно-кліматичних умов, щільності промислових вузлів, рівня урбанізації та господарської спеціалізації регіону.

Крім традиційних екологічних викликів, військова агресія рф поглибила наявні проблеми: руйнування промислових об'єктів, масштабні пожежі, порушення екологічного нагляду, зміщення акцентів державної політики у бік воєнної безпеки, що спричинило зростання техногенного навантаження на

атмосферне повітря. Багато регіонів, особливо прифронтові території, зазнали інтенсивного забруднення, масштаби якого наразі дуже складно оцінити. Таким чином, проблема регіонального забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами в Україні потребує комплексного вивчення, з урахуванням як довгострокових тенденцій розвитку промисловості, так і новітніх викликів, спричинених війною. Це дозволить не лише окреслити актуальний екологічний стан окремих територій, а й сформувати ефективну політику управління природоохоронною діяльністю, інтегровану в національну систему безпеки та сталого розвитку.

Метою цього підрозділу магістерської роботи є оцінка зміни викидів атмосферного забруднення від стаціонарних джерел за регіонами України, а також встановлення взаємозв'язку між цими змінами та динамікою кількості діючих підприємств з метою виявлення регіональних диспропорцій та формування науково обґрунтованих рекомендацій для екологічної й економічної політики (див. 3 розділ магістерської роботи).

Результати такого аналізу можуть відігравати важливу роль у формуванні стратегій повоєнного відновлення територій – зокрема при плануванні промислової реструктуризації, реалізації заходів екологічної модернізації, визначенні пріоритетів інфраструктурної відбудови та спрямуванні державної підтримки на регіони з найвищим рівнем техногенного навантаження. Застосування екологічно орієнтованого підходу у процесах відновлення сприятиме не лише відтворенню економічного потенціалу, а й переходу до моделей сталого розвитку, зниженню екологічних ризиків та підвищенню адаптивної спроможності регіонів до майбутніх екологічних і соціальних викликів.

Так, основою для проведення дослідження стали наукові напрацювання дослідників авторського колективу за чолі з Мітюшкіною Х. С., Пастернак О. М., Івановою В. В. та Петрик І. В. [22], а також аналітичні та теоретичні праці українських учених, присвячені питанням забруднення атмосферного повітря [24], екологічного аналізу територіальних громад і

регіонів [25], та сталого розвитку [26; 27]. Інформаційною базою для проведення розрахунків слугували офіційні статистичні дані, оприлюднені на вебсайті Державної служби статистики України [28] та світових організацій. [29; 30].

У цьому розділі застосовано загальнонаукові методи аналізу, синтезу, узагальнення, а також елементи статистичного аналізу: розрахунок темпів приросту, оцінка регіональної структури забруднення, побудова лінійної регресійної моделі для прогнозування динаміки обсягів викидів у короткостроковій перспективі. Для встановлення взаємозв'язків між показниками використовувався кореляційний аналіз. Обробка даних здійснювалась із використанням табличних і графічних методів за допомогою програмного середовища MS Excel.

Атмосферне забруднення впливає на регіональний розвиток як прямо (здоров'я населення, втрати робочих годин, зростання витрат на охорону здоров'я; зниження врожайності сільгоспкультур) так і опосередковано (зниження інвестиційної привабливості, відтік населення, деградація інфраструктури). У 2018–2021 в Україні спостерігалися регіональні відмінності із загальноєвропейським трендом поступового покращення стану атмосфери в багатьох містах, але з 2022 року війна внесла різноспрямовані зміни: падіння промислової активності й емісій у деяких зонах, одночасно – локальні сильні спалахи забруднення (руйнування, пожежі, військова інфраструктура) та значні прогалини в моніторингу.

Аналіз даних світових джерел [29; 30] також свідчить про позитивну динаміку щодо викидів CO₂ в атмосферу України, так за період з 2006 по 2023 рр., кількість викидів зменшилася 2,5 рази з 355,3087 до 138,3356 млн. т відповідно. Але, якщо говорити про екологічну ефективність економіки, то слід зазначити, що частка України в світовій економіці, на жаль складає лише 0,17%, але при цьому внесок у світове забруднення вдвічі більший (0,35%).

Постійно відстежуючи стан забруднення повітря в Україні, слід звернути увагу на наступні моменти. По перше, рівень викидів в атмосферу зі стаціонарних джерел забруднення в Україні протягом останніх років суттєво зменшився (таблиця 2.1). По друге, змінилася і регіональна структура цих викидів. Оскільки якість атмосферного повітря є одним із головних індикаторів екологічної безпеки та сталого розвитку, вважаємо доцільним оцінити його зміни та відповідний вплив на регіональний розвиток.

Динаміка викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел свідчить про загальну тенденцію до зменшення антропогенного навантаження на атмосферу в Україні (табл. 2.1).

Загальні обсяги викидів в 2024 році, в порівнянні із 2018 роком, скоротились на 60,1%, що спричинено руйнуванням, зупинкою чи обмеженням роботи підприємств по всій території країни внаслідок військової агресії РФ. В регіональному розрізі найбільше скорочення викидів зафіксовано у південно-східних областях: Луганській області (-100%), Донецькій (-97,5%), Запорізькій (-69,0%) та Миколаївській областях (-58,8%). Водночас у Волинській (+11,8%), Тернопільській (+8,4%) та Черкаській (+5,2%) областях спостерігається зростання викидів від стаціонарних джерел, що може бути результатом активізації місцевих промислових підприємств, релокації бізнесу в зазначені області із зони активних бойових дій або ж зміни енергоспоживання.

Найвищі обсяги викидів у 2024 році зафіксовано у Дніпропетровській області (392,1 тис. т.) і Івано-Франківській області (115,1 тис. т.), найнижчі – у Чернівецькій (1,6 тис. т.) і Закарпатській областях (1,7 тис. т.), що обумовлено галузевою спеціалізацією регіонів.

Таблиця 2.1

**Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних
джерел, тис. т.**

Регіон	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Тпр, %, 2024/2018
Вінницька	97,3	99,7	155,8	97,3	99,7	98,5	49,0	-49,6
Волинська	5,1	5,3	5,0	5,1	4,8	4,4	5,7	11,8
Дніпропетровська	614,30	576,93	534,66	537,6	328,9	385,1	392,1	-36,2
Донецька	790,2	773,5	751,0	744,1	218,8	161,7	19,9	-97,5
Житомирська	13,0	12,7	11,8	11,7	9,7	7,4	8,5	-34,6
Закарпатська	4,0	3,7	3,3	2,8	3,4	2,8	1,7	-57,5
Запорізька	174,7	173,4	155,5	148,2	64,071	52,1	54,1	-69,0
Київська	81,3	84,4	66,6	59,3	48,0	55,5	39,4	-51,5
Кіровоградська	12,17	12,8	10,7	11,1	8,4	7,5	7,4	-39,2
Луганська	46,7	37,3	35,5	35,1	0,2	0,0003	0,0	-100,0
Львівська	106,7	88,89	76,0	57,9	77,5	75,08	55,4	-48,1
Одеська	37,4	33,1	42,6	37,3	27,2	27,8	27,4	-26,7
Полтавська	52,2	51,0	45,8	52,4	25,8	30,3	29,2	-44,1
Сумська	20,8	21,7	21,0	18,3	10,6	12,9	12,9	-38,0
Тернопільська	9,5	9,4	10,2	8,3	8,3	7,9	10,3	8,4
Харківська	44,7	106,5	94,1	73,4	23,2	38,8	20,5	-54,1
Херсонська	12,4	17,8	17,8	17,1	6,0	5,5	6,5	-47,6
Хмельницька	22,1	20,3	18,2	21,1	16,5	18,8	19,2	-13,1
Черкаська	57,9	51,8	51,4	46,6	47,0	61,8	60,9	5,2
Чернівецька	2,7	2,4	1,8	1,7	1,4	1,7	1,6	-40,7
Чернігівська	29,7	27,4	20,9	23,0	15,0	14,9	14,5	-51,2
Івано-Франківська	221,4	205,0	140,4	172,4	152,3	147,7	115,1	-48,0
Миколаївська	13,1	12,1	11,2	12,19	5,3	5,6	5,4	-58,8
Рівненська	9,1	9,9	10,1	9,4	5,6	7,6	7,1	-22,0
м. Київ	29,2	22,3	25,5	38,8	11,3	27,8	35,6	21,9
Україна	2508,3	2459,5	2238,6	2242,0	1189,6	1224,2	999,4	-60,1

Джерело: розраховано та сформовано автором за даними [28]

Динаміка викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел (рис. 2.1) протягом 2014-2024 рр., дає змогу візуально оцінити загальну тенденцію зміни обсягів забруднення повітря за аналізований період.

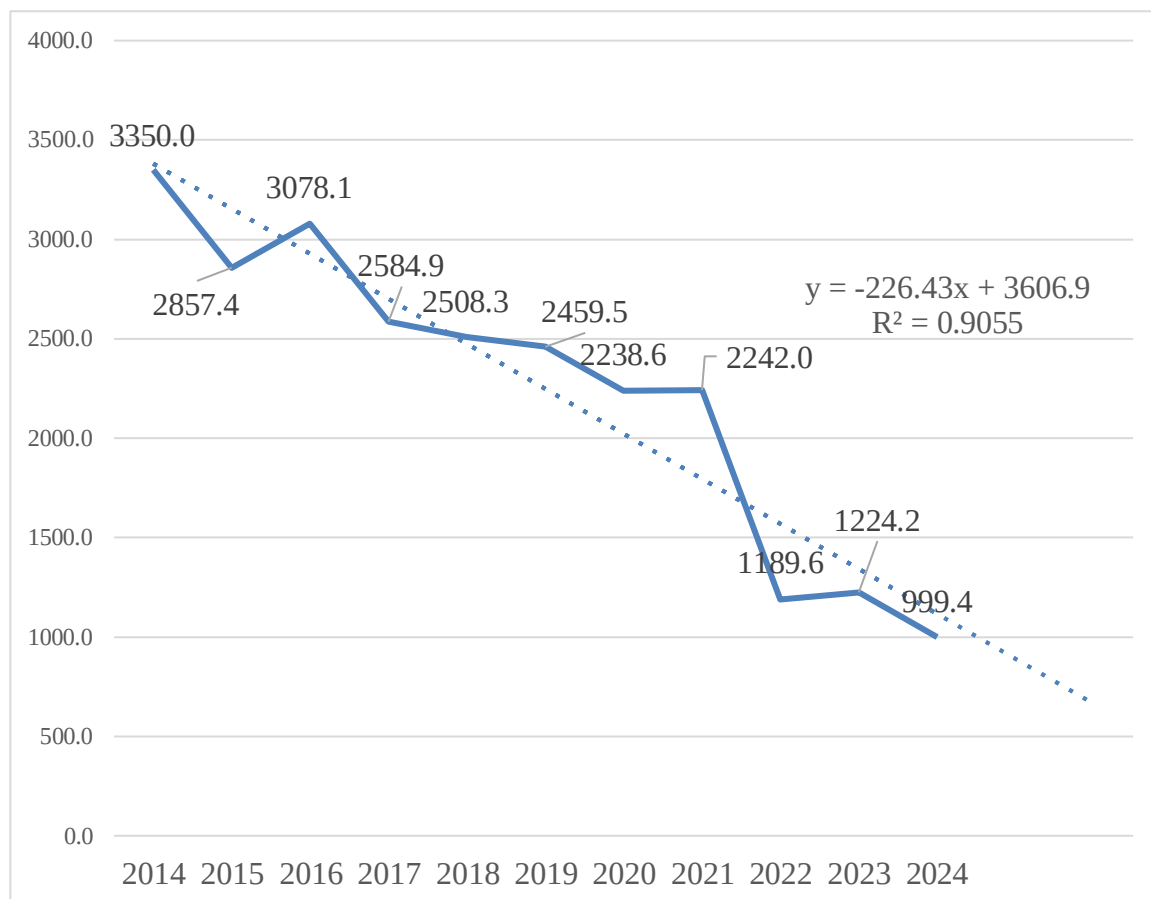


Рис. 2.1. Динаміка викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел забруднення, тис. т.

Джерело: власні дослідження

З метою кількісного аналізу цієї тенденції та подальшого прогнозування змін було побудовано лінійну регресійну модель, високе значення коефіцієнту детермінації якої ($R^2 = 0,9055$) дозволило розглядати модель як адекватну для аналізу та короткострокового прогнозування динаміки викидів.

На основі цієї моделі були розраховані прогнозовані значення викидів на наступні два роки.

Для 2025 року ($x = 12$):

$$y = -226,43 \cdot 12 + 3606,9 = -2717,16 + 3606,9 = 889,74 \text{ тис. т.}$$

Для 2026 року ($x = 13$):

$$y = -226,43 \cdot 13 + 3606,9 = -2943,59 + 3606,9 = 663,31 \text{ тис. т.}$$

Таким чином, за умови збереження існуючої тенденції, очікується скорочення викидів від стаціонарних джерел забруднення у 2025 та 2026 рр.

Доцільним є також аналіз просторових особливостей забруднення, за для якого проведено аналіз регіональної структури забруднення, який дає змогу визначити території (адміністративно-територіальні одиниці) з найбільшим навантаженням на атмосферу. Дослідження регіональної структури забруднення свідчить, що станом на 2018 рік найбільша частка викидів припадала на Донецьку (31,5%), Дніпропетровську (24,5%), Івано-Франківську (8,8%), Запорізьку (7,0%) та Львівську (4,3%) області. На інші адміністративно-територіальні одиниці (19 областей та м. Київ) припадало 23,9%, що свідчить про значні територіальні диспропорції (рис. 2.2).

В 2024 році (рис. 2.3) спостерігається зміна в регіональній структурі забруднення. Найбільша питома вага викидів була сконцентрована в Дніпропетровській області (39,2%), Івано-Франківській (11,5%), Черкаській (6,1%), Львівській (5,5%), Запорізькій (5,4%) та Вінницькій (4,9%) областях. Питома вага інших адміністративно-територіальних одиниць склала 27,4%. Отже, традиційно індустріальні регіони з великою кількістю промислових підприємств та об'єктів енергетичної інфраструктури Донецька та Луганська області, після 2014 року втратили контроль над більшістю об'єктів, а з 2022 року – практично над всіма об'єктами стаціонарних викидів, що суттєво змінило регіональну структуру забруднення, але не зменшило територіальних диспропорцій.

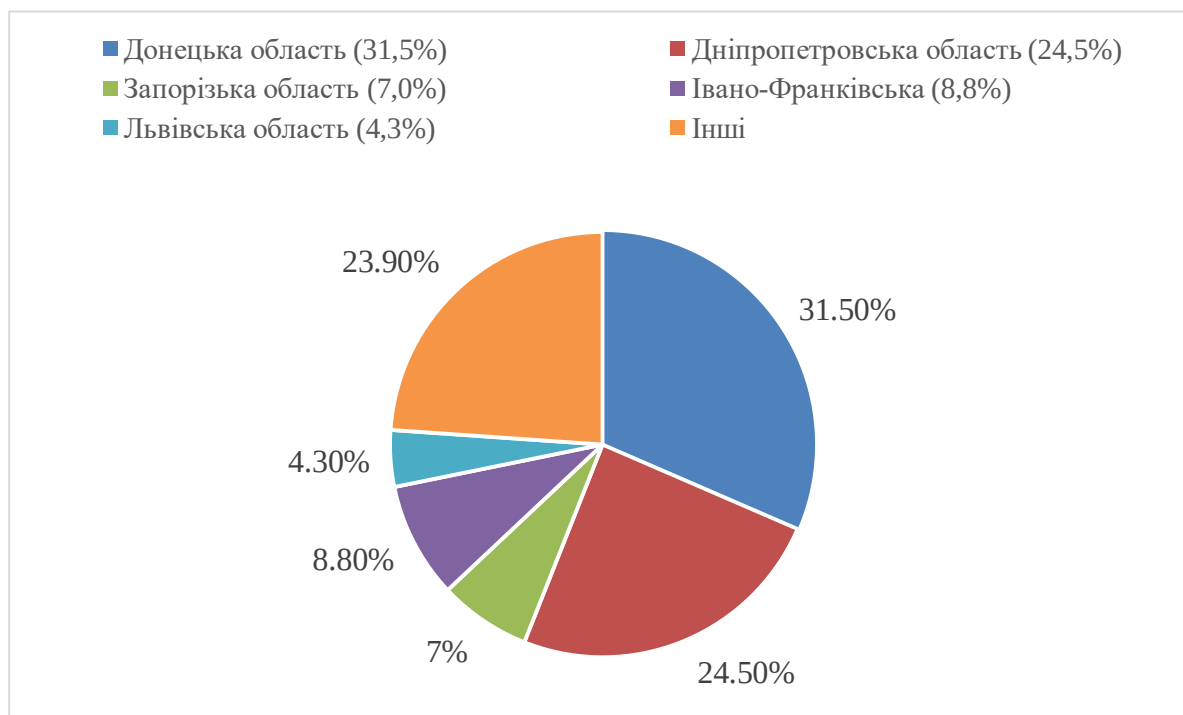


Рис. 2.2. Територіальна структура забруднення регіонів України в 2018 році, %

Джерело: власні дослідження



Рис. 2.3. Територіальна структура забруднення регіонів України в 2024 році, %

Джерело: власні дослідження

Враховуючи результати аналізу динаміки та структури викидів від стаціонарних джерел забруднення, доцільним є дослідження взаємозв'язку структурних змін в економічній активності регіонів та атмосферного забруднення. Обсяги викидів значною мірою залежать від кількості та характеру функціонуючих підприємств, які виступають основними джерелами техногенного навантаження, тому аналіз змін у чисельності суб'єктів господарювання дозволяє глибше оцінити причини коливань рівнів забруднення у різних регіонах (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

**Кількість діючих суб'єктів господарювання (підприємств) за регіонами,
одиниць**

Регіон	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Тпр, %, 2024/2018
Вінницька	9713	10295	9862	10050	8034	9262	9006	-7,3
Волинська	5917	6292	6047	6280	5202	5975	5914	-0,1
Дніпропетровська	29119	31191	30827	30511	24556	27728	25899	-11,1
Донецька	9731	10299	9473	9202	2968	3274	2244	-76,9
Житомирська	6913	7306	7060	7028	5408	6343	5953	-13,9
Закарпатська	6424	6388	6655	6572	4899	5687	5313	-17,3
Запорізька	14993	15652	15368	15363	7947	9568	7518	-49,9
Київська	20054	21077	20320	20262	14661	18009	17232	-14,1
Кіровоградська	8068	8755	8553	8347	7086	7693	7367	-8,7
Луганська	3449	3732	3408	3356	333	1022	206	-94,0
Львівська	19233	20480	20911	21186	16726	19785	19273	0,2
Одеська	24704	25871	25465	23962	17065	20457	18097	-26,7
Полтавська	10958	11439	11104	112254	9079	10226	9763	-10,9
Сумська	5949	6222	6096	6132	4916	5324	4892	-17,8
Тернопільська	5043	5092	5135	5136	4121	4787	4574	-9,3
Харківська	23793	25051	25144	25808	16017	18783	17348	-27,1
Херсонська	8218	8511	8116	7811	1674	2633	1316	-84,0
Хмельницька	7431	7864	7654	7698	6198	7079	6956	-6,4
Черкаська	9176	9709	9286	9238	7289	8242	8075	-12,0
Чернівецька	4096	4235	4205	4090	3022	3658	3351	-18,2

Чернігівська	6105	6443	6254	6192	4292	4971	4558	-25,3
Івано- Франківська	8302	8595	8124	7793	6054	7079	7084	-14,7
Миколаївська	11434	12278	11482	11481	6994	8560	8018	-29,9
Рівненська	5545	5956	6021	6163	5035	5732	5645	1,8
Місто Київ	91509	101864	101252	99919	72348	85975	78211	-14,5
Україна	355877	380597	373822	471834	261924	307852	283813	-20,2

Джерело: розраховано за даними [28]

Відобразимо графічно у вигляді рис. 2.4 загальну динаміку кількості суб'єктів господарювання в Україні за аналізований період.

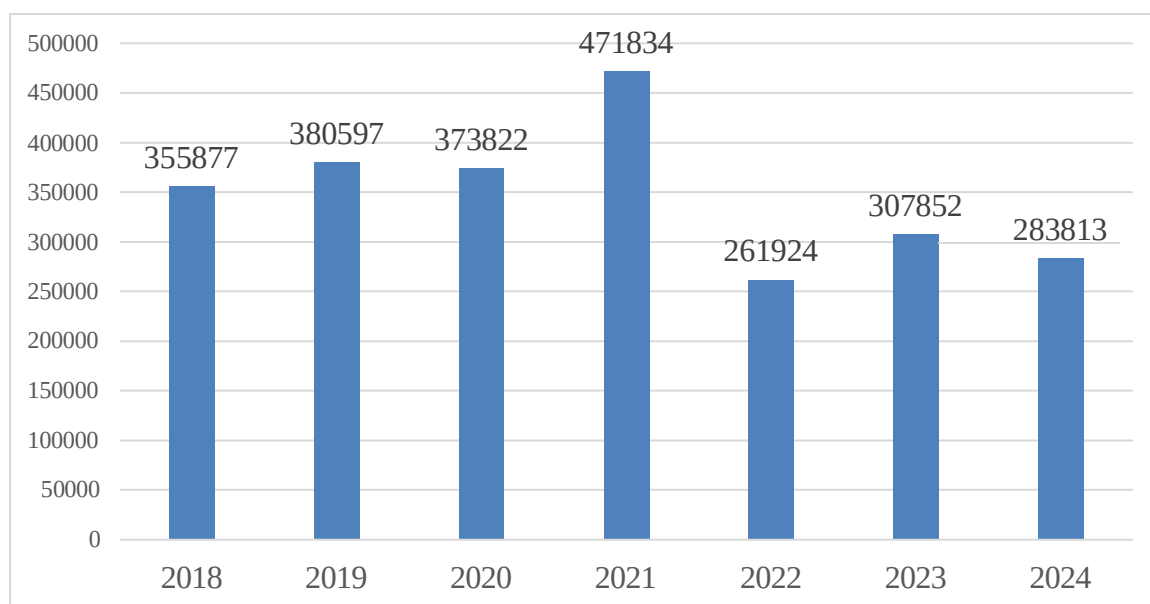


Рис. 2.4. Динаміка загальної кількості діючих суб'єктів господарювання (підприємств) в Україні, одиниць

Джерело: побудовано за даними [28]

Згідно регіональної структури (рис. 2.5) році найбільша кількість діючих суб'єктів господарювання в 2018 зосереджена в м. Київ (26%), Дніпропетровській області (8%), Харківській (7%), Одеській області (7%), Київська (6%), Львівська область (5%). Питома вага інших адміністративно-територіальних одиниць складає 41%.

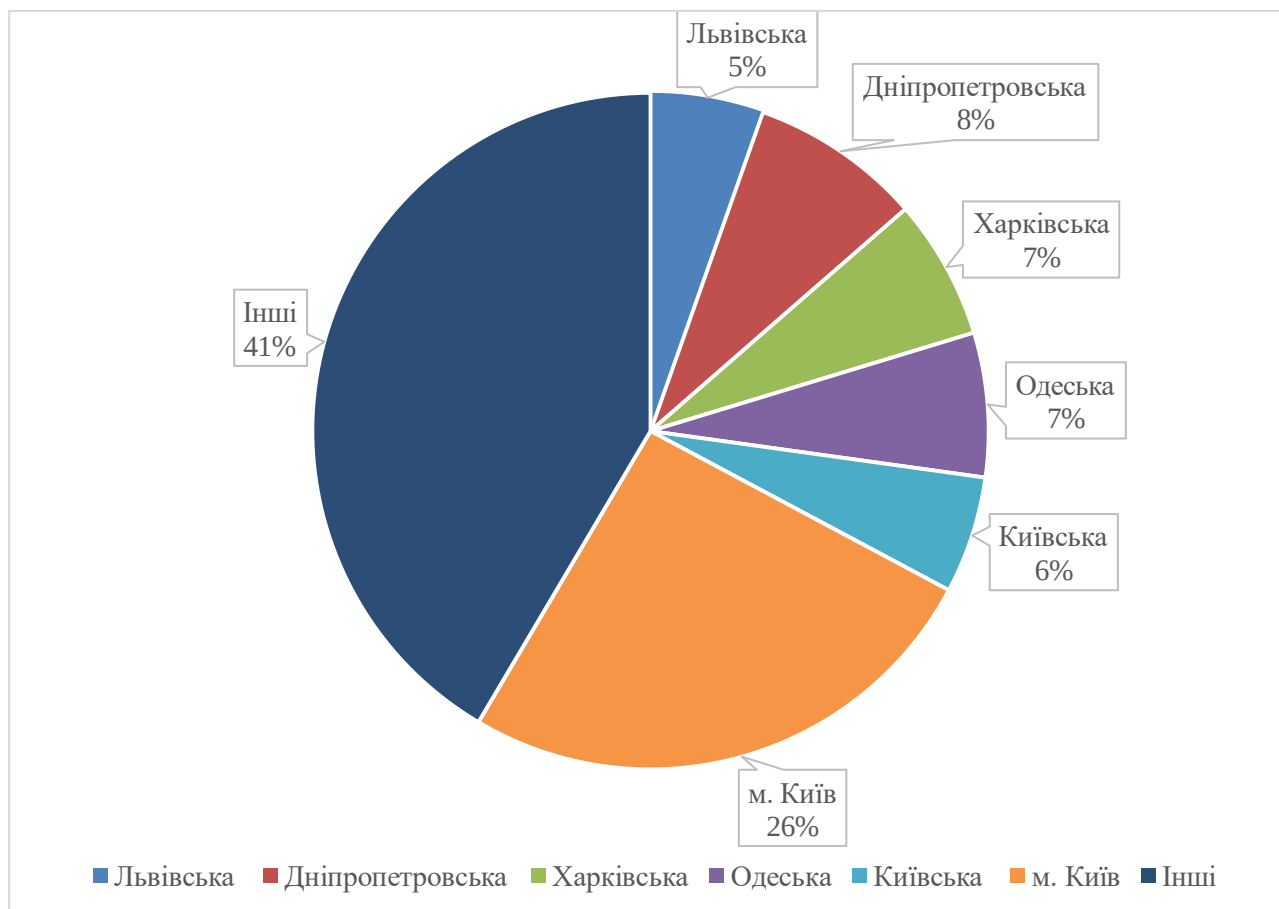


Рис. 2.5. Регіональна структура діючих суб'єктів господарювання в 2018 році

Джерело: побудовано за даними [28]

В 2024 році (рис. 2.6) найбільша кількість діючих суб'єктів господарювання також зосереджувалась в м. Київ (27,6%), Дніпропетровській області (9,1%), Харківській (6,1%), Одеській області (6,4%), Київська (6,1%), Львівська область (6,8%)

Варто зазначити, що м. Київ, попри зменшення на 14,5%, залишається абсолютним лідером за кількістю підприємств у 2024 році. Дніпропетровська, Одеська, Харківська та Київська області також мають високі показники, але демонструють значне скорочення. У центральних та північних регіонах (наприклад, Черкаська, Сумська, Чернігівська області) теж спостерігається стійке зниження, хоча менш критичне, ніж на сході країни.

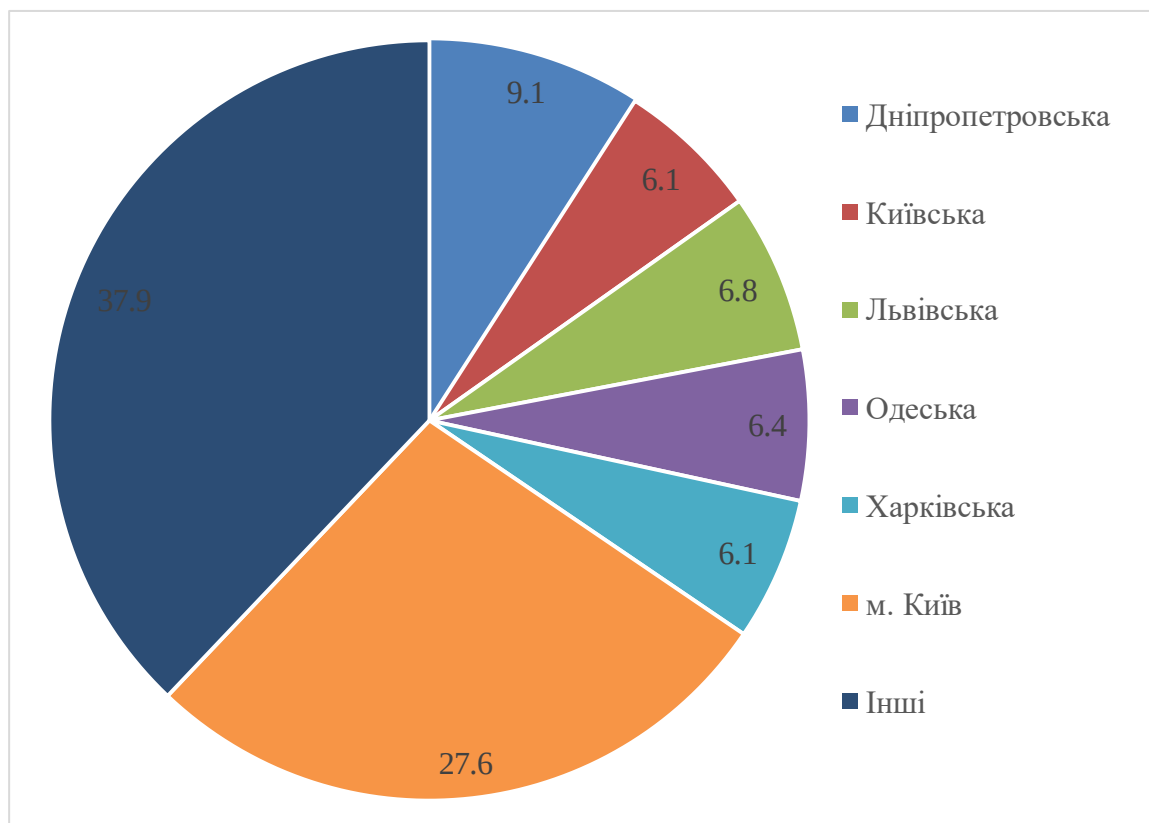


Рис. 2.6. Регіональна структура діючих суб'єктів господарювання в 2024 році

Джерело: побудовано за даними [28]

Таким чином, істотне скорочення діючих суб'єктів господарювання в Україні за останні шість років емпірично підтверджено, зокрема в регіонах, які найбільше постраждали від військової агресії рф. Водночас деякі західні області змогли зберегти та наростити підприємницьку діяльність, що свідчить про адаптаційні процеси в умовах кризи.

Взаємозв'язок між економічною активністю та рівнем забруднення атмосфери було оцінено за допомогою кореляційного аналізу темпів приросту викидів від стаціонарних джерел та кількості діючих суб'єктів господарювання за регіонами України у 2018-2024 роках. Візуалізація виявленого зв'язку представлена на діаграмі розсіювання (рис. 2.7).

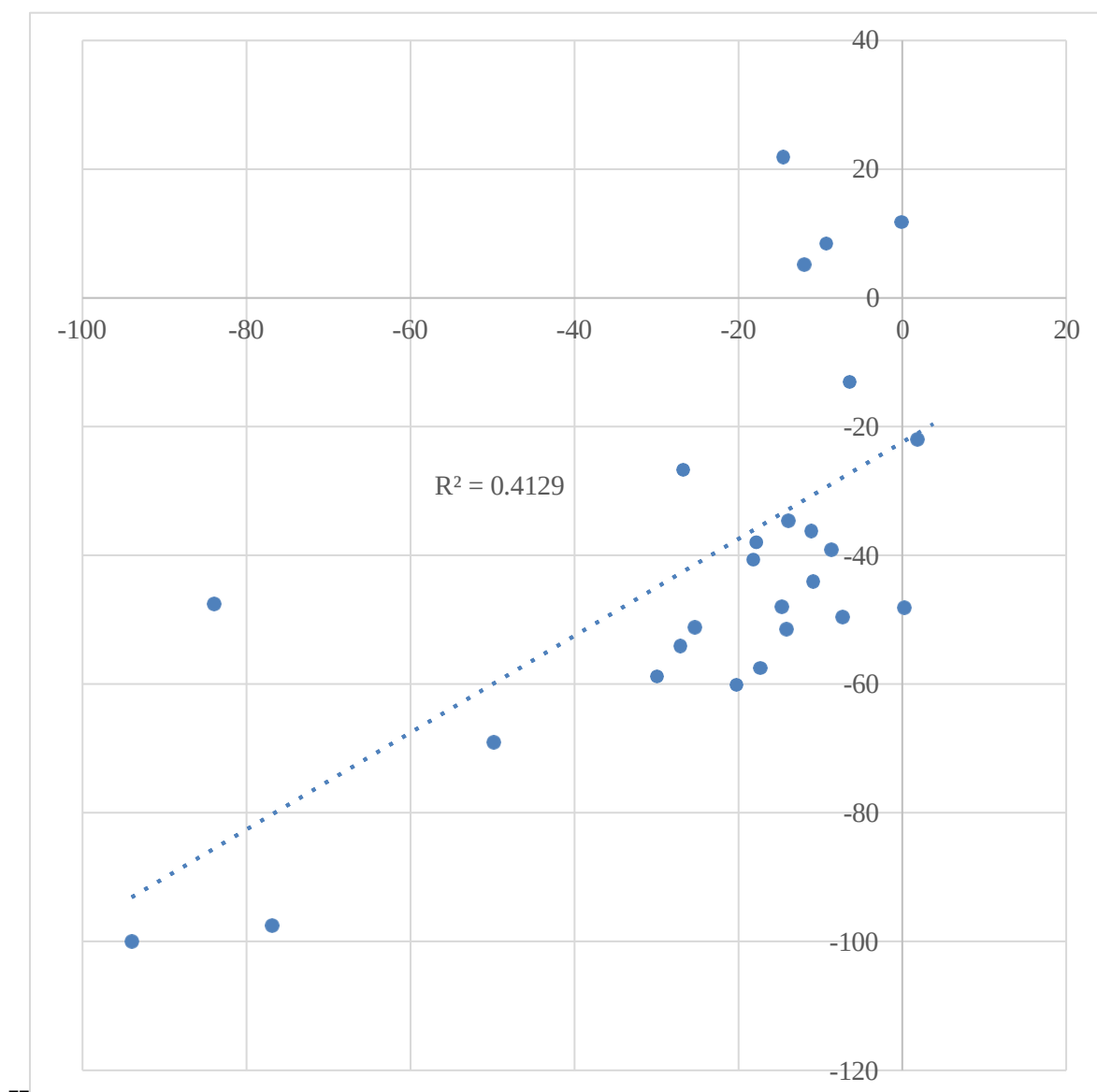


Рис. 2.7. Діаграма розсіювання та лінія тренду темпів приросту викидів від стаціонарних джерел забруднення та кількості діючих суб'єктів господарювання за регіонами України у 2018-2024 рр.

Джерело: власні дослідження

Результати аналізу показали, що зв'язок існує, але ступінь його помірна. Це свідчить про те, що зростання, або зменшення викидів в атмосферу залежить не лише від зміни кількості суб'єктів господарювання, а і від інших факторів. Наприклад, від зміни структури генерації електричної енергії в країні. В 2007 році виробництво електричної енергії в Україні здійснювалось за рахунок ТЕС (42%) та АЕС (51%), тоді як у 2023 році – на ТЕС 28%, а АЕС – 48% [31].

Також необхідно враховувати інші чинники, зокрема: галузеву структуру підприємств, рівень технологічного розвитку країни, екологічну політику та наслідки бойових дій.

Отже, забруднення атмосферного повітря залишається однією з ключових екологічних проблем в Україні, особливо в контексті сталого розвитку, національної та регіональної безпеки. Проведене дослідження підтверджує існування та збереження суттєвих регіональних диспропорцій у рівнях техногенного навантаження на довкілля. Доведено, що зростання, або зменшення викидів в атмосферу залежить не лише від зміни кількості суб'єктів господарювання, а і від інших факторів (структури виробництва, енергоспоживання, рівня технологічного оновлення підприємств тощо). Отримані результати мають практичне значення для формування регіональної екологічної політики, планування та відбудови промислового потенціалу.

Для оцінки регіонального рівня забруднення атмосферного повітря побудовано матрицю за основними інгредієнтами забруднення. Знак «+» означає перевищення гранично допустимих або цільових концентрацій, «—» - це відповідність нормативам. Такий підхід дозволяє виявити регіони з найвищим комплексним рівнем забруднення та визначити пріоритетні напрями для зниження техногенного навантаження.

У результаті аналізу даних моніторингу атмосферного повітря в адміністративно-територіальних одиницях України за 2023 рік (табл. 2.4) встановлено нерівномірний розподіл рівнів забруднення. Найбільша кількість перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК) зафіксована у промислово розвинених регіонах центральної та східної частини країни – Вінницькій, Дніпропетровській, Кіровоградській, Полтавській, Київській, Одеській та Херсонській областях.

Таблиця 2.4

Матриця цільових показників забруднюючих речовин забруднень у 2023 році (зафіксовані перевищення граничних рівнів або цільових показників забруднюючих речовин)

<i>Адміністративно-територіальна одиниця</i>	<i>Діоксид сірки</i>	<i>Азоту діоксиди</i>	<i>Вуглецю оксид</i>	<i>Пил</i>	<i>Аміак</i>	<i>Сажа</i>	<i>Сірководень</i>	<i>Фенол і його похідні</i>	<i>Формальдегід</i>	<i>Фтористий водень</i>
Вінницька	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+
Волинська	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-
Дніпропетровська	-	+	+	+	-		+	+	+	
Донецька*	Дані відсутні									
Житомирська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Закарпатська	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Запорізька	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Київська	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Кіровоградська	+	+		+		+	-	-	+	
Луганська*	Дані відсутні									
Львівська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Одеська	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Полтавська	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+
Сумська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Тернопільська	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Харківська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Херсонська	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
Хмельницька	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Черкаська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Чернівецька	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+
Чернігівська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Івано-Франківська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Миколаївська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Рівненська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
м. Київ	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-

*сформовано автором згідно [10-21]

«+» - перевищення цільового або граничного рівня

«-» - концентрація в межах норми

** лабораторні дослідження стану атмосферного повітря на стаціонарних постах не виконувались, що пов'язане з проведенням бойових дій на відповідних територіях та небезпекою для фахівців філій.

Основними забруднювачами, концентрації яких перевищували встановлені норми, були діоксид азоту (NO_2), оксид вуглецю (CO), пил, фенол і його похідні, а також формальдегід. Високі показники цих речовин свідчать про суттєвий вплив транспортного сектору, теплоенергетики та промислових підприємств на якість повітря.

Регіони західної та північної України (зокрема Житомирська, Львівська, Сумська, Хмельницька, Чернігівська області) характеризувалися стабільними показниками в межах норми, що може бути зумовлено меншою концентрацією промислових об'єктів, сприятливими кліматичними умовами та ефективнішим розсіюванням забруднень.

Водночас у Донецькій та Луганській областях дані відсутні через неможливість проведення лабораторних вимірювань унаслідок бойових дій. Це створює прогалину в оцінюванні загального екологічного стану повітряного середовища східного регіону.

Отримані результати підкреслюють необхідність подальшого удосконалення системи моніторингу атмосферного повітря, зокрема в частині відновлення спостережень у зонах підвищеного ризику та запровадження більш сучасних методів вимірювання. Результати аналізу можуть бути використані для обґрунтування регіональних програм зниження викидів, планування екомодернізації промислових підприємств і розроблення стратегій сталого розвитку міст.

2.2. Регіональне забруднення атмосферного повітря пересувними джерелами забруднення

Забруднення атмосферного повітря є однією з найбільших екологічних загроз, що стоїть перед багатьма країнами світу, включаючи Україну. Особливої уваги заслуговує забруднення, спричинене пересувними джерелами забруднення, серед яких важливе місце займають транспортні засоби,

будівельна та сільськогосподарська техніка, а також інші мобільні джерела викидів. Останнім часом зростає роль транспорту як одного з основних забруднювачів атмосферного повітря, що пов'язано з підвищенням рівня моторизації, інтенсивністю руху та збільшенням кількості вантажних і пасажирських перевезень. В Україні, де спостерігається значне зростання автомобільного парку та викидів від транспортного сектора, а також високі показники використання старих і неефективних двигунів внутрішнього згоряння, проблема забруднення атмосферного повітря пересувними джерелами є надзвичайно актуальною. Окремо слід відзначити вплив на регіональні екосистеми, оскільки рівень забруднення значно варіюється залежно від густоти населення, інтенсивності транспортних потоків і концентрації промислових об'єктів.

Пересувні джерела забруднення, до яких відносяться автомобілі, автобуси, вантажівки, а також техніка, що використовує традиційні види палива, є основними джерелами таких шкідливих речовин, як оксиди азоту (NO), оксиди вуглецю (CO), вуглецеві частки (сажі), вуглеводні, формальдегід та інші токсичні сполуки. Вони не тільки знижують якість повітря, а й викликають виникнення смогу, окислення атмосферного кисню та створення озонового шару на рівні земної поверхні, що має серйозні наслідки для здоров'я людини та довкілля.

Важливим аспектом є також вплив військової техніки, яка є потужним джерелом забруднення повітря в регіонах з підвищеною концентрацією військових об'єктів або у разі військових конфліктів. Використання танків, бронетранспортерів, вантажних автомобілів та іншої техніки, що працює на дизельному паливі та інших шкідливих видів пального, призводить до значних викидів токсичних речовин, таких як оксиди сірки, азоту, діоксид вуглецю та важкі метали. Підвищення інтенсивності використання військової техніки в умовах війни або військових навчань може значно погіршити якість повітря на великих територіях, що є особливо важливим для екологічної безпеки.

Забруднення повітря внаслідок пересувних джерел забруднення викликає численні проблеми в містах і промислових регіонах. Викиди з транспорту є однією з основних причин захворювань органів дихання, серцево-судинних хвороб, раку легень та інших небезпечних хвороб. Особливо негативно це впливає на населення великих міст, де транспортні потоки є надзвичайно інтенсивними. Крім того, високий рівень забруднення повітря підвищує ризик утворення кислотних дощів та інших кліматичних змін, що погіршують екологічну ситуацію в цілому.

Наслідки забруднення повітря пересувними джерелами є не тільки медичними та екологічними, а й економічними, оскільки збільшення витрат на лікування захворювань, викликаних забрудненням, а також зниження продуктивності праці та збитки для сільського господарства через забруднення ґрунтів і води є значними. Для України це особливо важливо, оскільки країна знаходиться на етапі економічних і соціальних трансформацій, і питання ефективного управління забрудненням стають все більш актуальними.

Регіональний аспект забруднення повітря пересувними джерелами забруднення є важливим для розуміння того, як різні території країни зазнають різних рівнів впливу від транспортних викидів і військової техніки. Забруднення повітря варіюється залежно від густоти населення, наявності промислових підприємств, транспортних мереж та природно-географічних умов. У великих містах з високою інтенсивністю руху транспортні викиди можуть досягати критичних рівнів, що вимагає спеціальних заходів щодо контролю і зменшення забруднення.

Таким чином, дослідження регіонального забруднення атмосферного повітря пересувними джерелами є важливим для розробки науково обґрунтованих стратегій з поліпшення якості повітря, удосконалення системи моніторингу та зменшення негативного впливу транспорту та військової техніки на довкілля і здоров'я населення. Особливо актуальним є вивчення просторових закономірностей забруднення, впливу різних видів транспорту та

техніки, а також аналіз факторів, які сприяють підвищенню рівня забруднення в окремих регіонах України.

Результати досліджень можуть сприяти удосконаленню політики держави у сфері екології та транспорту, а також допомогти у впровадженні сучасних технологій для зниження викидів з транспортних засобів, підвищенні ефективності транспортних мереж та розвитку зелених технологій у транспортному секторі, що має важливе значення для покращення екологічної ситуації в Україні.

На основі статистичних даних за 2016-2021 роки проведено аналіз територіальних і часових тенденцій, що характеризують інтенсивність викидів у розрізі регіонів (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Видики забруднюючих речовин у атмосферне повітря від пересувних джерел, тис. т.

Регіон	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Тпр, %, 2021/2016
Вінницька	53,56	58,59	65,89	58,06	51,44	55,16	0,65
Волинська	35,60	35,39	33,14	31,36	31,67	30,82	-6,56
Дніпропетровська	132,60	132,69	133,01	131,35	126,01	133,46	-22,80
Донецька	54,94	54,40	54,54	56,89	51,49	51,33	-19,71
Житомирська	60,57	64,12	59,97	60,62	42,09	46,76	-8,86
Закарпатська	49,52	47,11	45,49	38,13	33,33	39,76	23,06
Запорізька	76,07	80,19	77,35	80,77	71,40	69,33	-10,47
Київська	112,02	113,84	115,70	131,30	134,15	137,86	-57,00
Кіровоградська	45,39	42,59	41,51	43,55	38,46	40,63	-17,65
Луганська	37,67	17,29	16,69	17,02	15,11	16,20	1,44
Львівська	101,52	90,69	86,18	84,79	72,05	83,60	-7,54
Одеська	93,18	104,21	91,98	93,68	81,18	94,52	-6,67
Полтавська	84,07	101,97	98,31	93,42	72,16	77,73	-13,92
Сумська	43,93	47,20	47,87	47,48	37,83	41,00	9,46
Тернопільська	36,17	34,76	32,73	32,57	27,46	31,14	-8,59
Харківська	91,40	95,18	93,82	100,22	88,02	100,04	-16,62
Херсонська	44,56	45,27	42,69	42,81	38,62	40,73	-5,46

Хмельницька	51,40	55,59	55,09	52,44	40,05	42,85	-19,69
Черкаська	59,89	65,13	63,28	62,56	52,46	56,62	-27,28
Чернівецька	27,49	25,41	23,84	21,71	19,17	22,08	-16,09
Чернігівська	40,60	48,27	41,78	39,13	28,90	29,52	3,82
Івано- Франківська	45,18	42,57	39,51	37,02	33,09	37,90	-13,78
Миколаївська	44,91	48,97	46,16	48,74	43,05	46,63	27,07
Рівненська	38,27	37,13	34,97	35,23	29,44	32,99	-3,84
Місто Київ	148,03	157,20	171,40	207,97	178,10	188,11	0,65
Україна	1608,52	1645,75	1612,90	1648,83	1436,73	1546,78	-6,56

Джерело: розраховано за даними [28]

Загалом по Україні протягом 2016-2021 рр. спостерігається тенденція до зниження викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел. Якщо у 2016 році їх загальний обсяг становив 1608,52 тис. т, то у 2021 році – 1546,78 тис. т, що відповідає скороченню на 61,74 тис. т або 6,56%. Така динаміка свідчить про поступове зменшення транспортного навантаження на атмосферне повітря, зокрема внаслідок оновлення автопарку, зменшення частки застарілих транспортних засобів, а також тимчасового скорочення транспортної активності у 2020 році, пов'язаного з карантинними обмеженнями під час пандемії COVID-19.

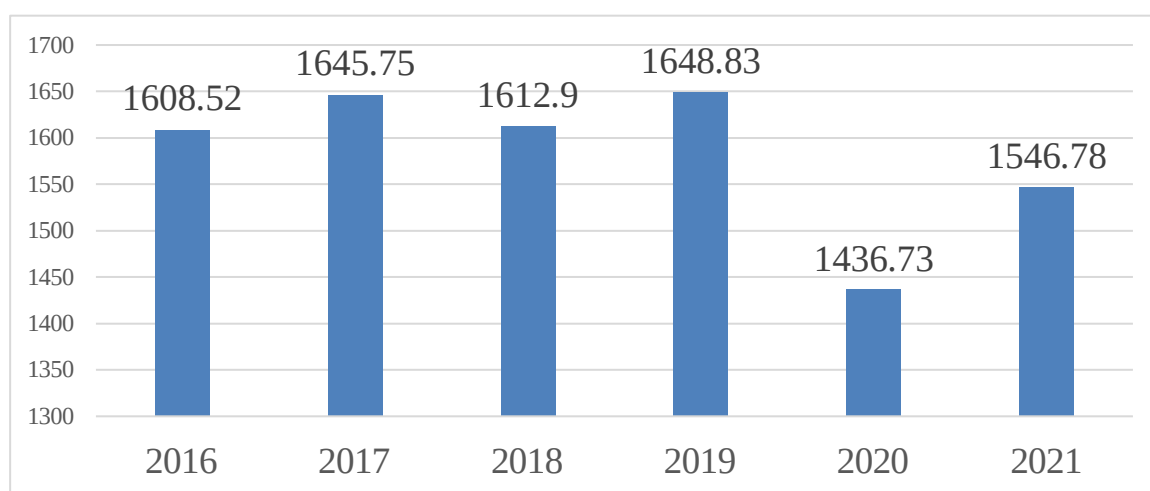


Рис. 2.8. Динаміка викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря від пересувних джерел, тис. т.

Джерело: побудовано автором за даними [28]

Проте слід зазначити, що зниження є неоднорідним у регіональному розрізі, оскільки окремі області демонструють протилежну тенденцію – зростання рівня забруднення, що свідчить про різну інтенсивність транспортного руху, структуру господарської діяльності та ступінь урбанізації. Аналіз регіональної структури показує, що у 2021 році найбільші обсяги викидів зафіксовано в: м. Києві (188,11 тис. т), Київській області (137,86 тис. т), Дніпропетровській області (133,46 тис. т), Львівській області (83,60 тис. т), Полтавській області (77,73 тис. т). Ці регіони відзначаються високим рівнем урбанізації та промислової активності, значною кількістю транспортних засобів, щільною мережею автомагістралей і логістичних маршрутів. Високі показники м. Києва та Київської області пояснюються концентрацією населення, інтенсивним міським рухом та високою густотою приватного транспорту. Найнижчі обсяги викидів зафіксовано у Чернівецькій (22,08 тис. т), Луганській (16,20 тис. т), Тернопільській (31,14 тис. т), Рівненській (32,99 тис. т), Закарпатській (39,76 тис. т) областях. Зазначені області мають меншу індустріалізацію, переважно аграрну економічну структуру та нижчу транспортну насиченість, що безпосередньо позначається на рівні забруднення повітря.

За аналізований період (2016–2021 рр.) у більшості регіонів України спостерігалось скорочення обсягів викидів від пересувних джерел. Найбільше зменшення характерне для: Київської області (–57,0 %), Черкаської (–27,28 %), Дніпропетровської (–22,8 %), Донецької (–19,71 %), Хмельницької (–19,69 %) областей. Такі тенденції можуть бути зумовлені реформами у сфері транспортної інфраструктури, розвитком громадського транспорту, оптимізацією промислових перевезень, а також зменшенням промислового виробництва у певних регіонах, що вплинуло на обсяги вантажного транспортування. Водночас у шести регіонах України спостерігалось зростання обсягів викидів, серед яких Миколаївська (+27,07 %), Закарпатська (+23,06 %), Сумська (+9,46 %), Чернігівська (+3,82 %), Луганська (+1,44 %), м. Київ (+0,65 %). Підвищення рівня викидів у цих регіонах може бути пов'язане з

інтенсифікацією автомобільного руху, зростанням кількості приватних транспортних засобів, а також розвитком транзитних транспортних коридорів, зокрема в південних і прикордонних областях. Зіставлення отриманих даних дозволяє виділити певні просторові закономірності розподілу викидів:

Промислові регіони (Дніпропетровська, Запорізька, Донецька, Полтавська, Київська) мають стабільно високі обсяги забруднення через інтенсивне використання вантажного транспорту, що обслуговує промислові об'єкти.

Західні області (Волинська, Рівненська, Івано-Франківська, Тернопільська) характеризуються помірним рівнем викидів, що узгоджується з їх переважно аграрним профілем та значною часткою природно-рекреаційних територій.

Столичний регіон має максимальні показники викидів, що зумовлено високою щільністю населення, значним обсягом пасажирських і вантажних перевезень, а також концентрацією ділової та адміністративної активності.

Проведений аналіз свідчить, що рівень викидів від пересувних джерел в Україні має тенденцію до помірного зниження, однак зберігається значна територіальна диференціація. Найбільш забруднені регіони співпадають з зонами високої урбанізації та транспортної інтенсивності, тоді як області з переважно аграрним характером господарства мають відносно сприятливу екологічну ситуацію.

У перспективі для подальшого зниження рівня забруднення атмосферного повітря від пересувних джерел доцільним є:

- активізація державної політики з оновлення автопарку та стимулювання електромобільності;
- розвиток екологічно чистого громадського транспорту;
- вдосконалення системи моніторингу транспортних викидів;
- реалізація регіональних програм сталого транспортного розвитку.

Отже, ефективне управління викидами від пересувних джерел потребує комплексного підходу, що поєднує технологічні, економічні та просторово-планувальні рішення, спрямовані на підвищення екологічної безпеки транспортного сектору в контексті сталого розвитку територій України.

Динаміка викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел (рис. 2.8 та рис. 2.9) протягом 2016-2021 рр., дає змогу візуально оцінити загальну тенденцію зміни обсягів забруднення повітря за аналізований період. З метою кількісного аналізу цієї тенденції та подальшого прогнозування змін було побудовано лінійну регресійну модель, що свідчить про помірний зв'язок між часовим фактором і зміною обсягу викидів. Тому модель може бути використана для орієнтовного короткострокового прогнозування напрямку зміни викидів, але не для точного кількісного передбачення.

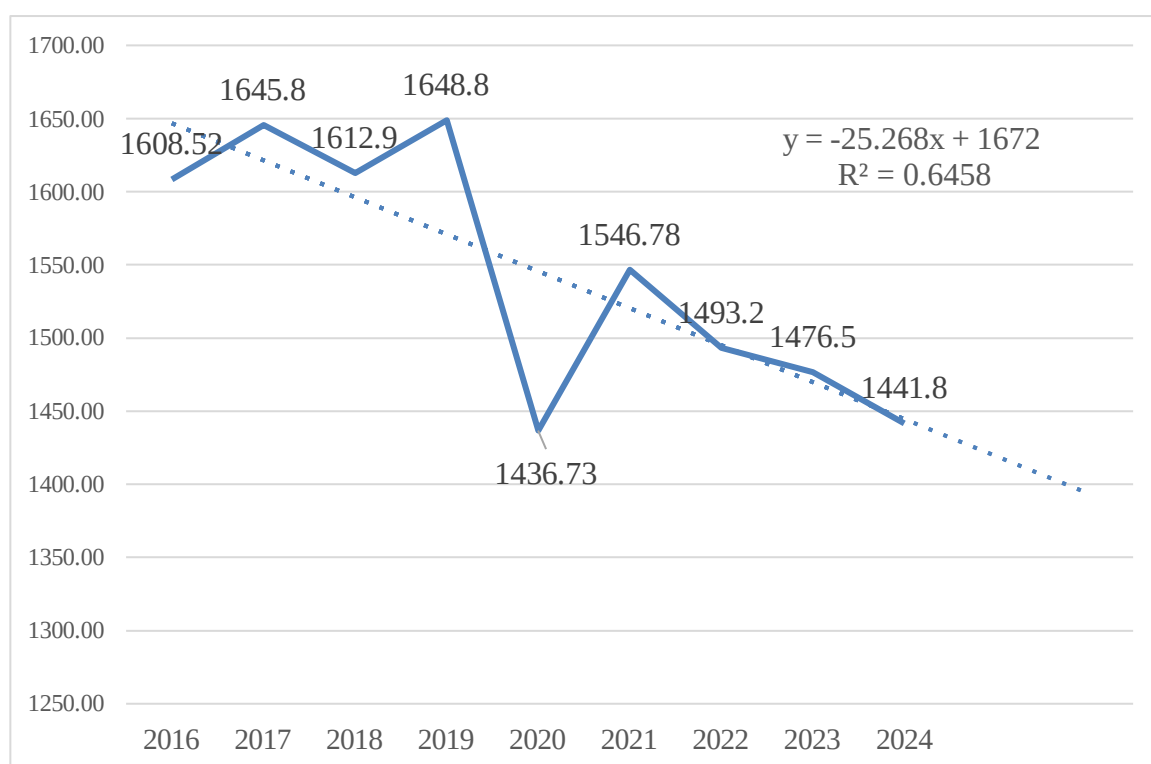


Рис. 2.9. Динаміка викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення, тис. т.

Джерело: власні дослідження

Коефіцієнт нахилу ($-25,709$) означає, що в середньому щорічно обсяг викидів зменшується на 25,7 тис. т. $y = -25,709x + 1673,2$, де:

x - порядковий номер року (якщо 2016 = 1, 2017 = 2, ..., 2021 = 6);

y - прогнозований обсяг викидів, тис. т.

2022 рік: $y = -25,709 \times 7 + 1673,2 = 1493,2$ ($x = 7$)

2023 рік: $y = -25,709 \times 8 + 1673,2 = 1467,5$ ($x = 8$)

2024 рік: $y = -25,709 \times 9 + 1673,2 = 1441,8$ ($x = 9$).

Отже, аналіз динаміки викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел у 2016-2024 рр. показав стійку тенденцію до зниження їх обсягів. Згідно з рівнянням тренду ($y = -25,709x + 1673$), середньорічне скорочення становить близько 25,7 тис. т. Значення коефіцієнта детермінації ($R^2 = 0,6458$) свідчить про помірний зв'язок між роками та рівнем викидів, що підтверджує реальність тенденції, попри окремі коливання.

Найбільш помітне зменшення спостерігалось у 2020 р., що можна пов'язати з карантинними обмеженнями COVID-19, а також у 2022–2024 рр. - через зниження транспортної активності в умовах воєнного стану. Загалом, за аналізований період обсяг викидів скоротився більш ніж на 230 тис. т, що свідчить про позитивні результати екологічної політики у транспортному секторі. У разі збереження існуючої динаміки прогнозується подальше зменшення викидів до рівня близько 1,29 млн т у 2030 р.

Рекомендовано продовжити політику стимулювання переходу на екологічно чисті види транспорту, розвиток електромобільності та посилення контролю за технічним станом транспортних засобів.

Таблиця 2.6

Порівняння тенденцій стаціонарних та пересувних джерел забруднення

Показник	Стаціонарні джерела	Пересувні Джерела
Період дослідження	2014-2024 рр	2016-2024 рр
Формула	$y = -226,43x + 3606,9$	$y = -25,709x + 1673,2$
Середнє щорічне скорочення	-226,4 тис. т	-25,7 тис. т
R^2	0,9055 (дуже високе)	0,6458 (середнє)
Загальне скорочення за період	≈ 2350 тис. т	≈ 235 тис. т
Тенденція	Стійке зменшення	Поступове зменшення з коливаннями
Основні причини	падіння промисловості, військові дії, (можливо, часткова модернізація)	карантин, військові дії (можливо, часткове оновлення транспорту)

*узагальнено автором на основі попередніх власних розрахунків [28]

Порівняльний аналіз показує, що темпи скорочення викидів від стаціонарних джерел у дев'ять разів вищі, ніж від пересувних. Це пояснюється як об'єктивним спадом промислового виробництва, так і більшими можливостями технічного контролю за промисловими об'єктами порівняно з транспортним сектором. Разом із тим, транспорт залишається суттєвим джерелом забруднення, а його частка у загальних викидах є стабільно значною. У цілому результати свідчать про загальну позитивну тенденцію щодо зменшення антропогенного навантаження на атмосферне повітря в Україні. Проте для подальшого покращення екологічної ситуації необхідно продовжувати розвиток систем моніторингу, стимулювати перехід на екологічно чисті види транспорту та забезпечувати модернізацію промислових потужностей із впровадженням сучасних технологій очищення.

2.3. Візуалізація розподілу забруднення атмосферного повітря

Сучасна екологічна наука надає велике значення не лише моніторингу рівня забруднення, а й його просторовому аналізу. Розподіл шкідливих речовин у довкіллі є неоднорідним і залежить від багатьох факторів: характеру джерел забруднення, рельєфу, метеорологічних умов, густоти населення та особливостей транспортної мережі. Для оцінки цих процесів та прийняття ефективних управлінських рішень застосовуються методи візуалізації просторового розподілу забруднення. Одним із ключових інструментів у цьому напрямку є карти забруднення, які дозволяють наочно відобразити концентрації шкідливих речовин у повітрі, воді чи ґрунті на певній території.

Візуалізація просторового розподілу забруднення забезпечує декілька важливих функцій:

- визначення зон підвищеного ризику для населення та екосистем;
- оцінка внеску різних джерел забруднення у загальний стан довкілля;
- підготовка матеріалів для прийняття рішень щодо регулювання та контролю забруднення;
- наочна демонстрація результатів моніторингу та досліджень для наукової, освітньої та адміністративної аудиторії.

Для побудови мап забруднення використовуються різні джерела інформації, які можуть бути поділені на кілька категорій:

1. Стационарні пости моніторингу. Вони забезпечують регулярні та систематичні спостереження за концентраціями основних забруднювачів (CO, NO_x, SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, важкі метали) у визначених точках. Дані постів дозволяють отримати точні значення рівня забруднення у конкретних локаціях та стати основою для просторового аналізу.

2. Мобільні вимірювання. Використання пересувних лабораторій або переносних сенсорів дозволяє проводити вимірювання в різних частинах міста чи регіону. Такий підхід забезпечує покриття території, де стаціонарні пости відсутні, і дозволяє виявляти локальні «гарячі точки» забруднення.
3. Супутникові та аерокосмічні дані. Супутники надають можливість отримувати безперервні просторові дані щодо забруднення атмосфери та водних об'єктів на великих територіях. Наприклад, супутникові вимірювання можуть відображати концентрацію пилу, NO_2 , CO та інших забруднювачів.
4. Лабораторні аналізи та інші джерела. Дані хімічного аналізу проб ґрунту, води або осадів у поєднанні з географічною прив'язкою дозволяють створювати мапи для оцінки поширення забруднення у локальних та регіональних масштабах.

Оскільки вимірювання здійснюються не у всіх точках території, для отримання безперервного просторового розподілу забруднення застосовують методи інтерполяції та геостатистичного моделювання. До основних методів належать:

1. Кригінг (Kriging). Метод ґрунтується на оцінці кореляції між сусідніми точками і дозволяє отримувати найбільш точні передбачення концентрацій забруднювачів у невиміряних точках. Кригінг є стандартним методом у геостатистиці та широко використовується для побудови екологічних мап.
2. Зважене згладжування за відстанню (Inverse Distance Weighting, IDW). Концентрації у проміжних точках оцінюються як зважена середня значень сусідніх вимірювань, де вага зменшується з відстанню. Метод простий у застосуванні, проте менш точний у складних умовах рельєфу або при нерівномірному розподілі станцій.

3. Spline-інтерполяція. Забезпечує гладку поверхню розподілу концентрацій забруднювачів, що зручно для візуалізації та створення естетично зрозумілих карт.
4. Моделювання на основі математичних та фізичних моделей. Для великих територій або комплексних забруднювачів використовуються моделі розсіювання шкідливих речовин (наприклад, Gaussian plume models), які враховують швидкість і напрямок вітру, температуру, рельєф та інші фактори.

Після обробки та інтерполяції даних їх відображають на карті за допомогою географічних інформаційних систем (ГІС). Основні підходи до візуалізації:

- *Кольорові градієнти.* Дозволяють показати рівні забруднення від низького до високого. Наприклад, зеленим позначають ділянки з безпечним рівнем забруднення, жовтим – помірним, червоним – критичним.
- *Ізолінії концентрацій.* Лінії однакового значення забруднювача допомагають простежити просторові закономірності та визначити межі зон високого впливу.
- *3D-візуалізація.* Використовується для наочного представлення зміни концентрацій у просторі та висоті. Особливо ефективна для промислових територій або міст з висотними будівлями.
- *Комбіновані мапи.* Поєднання декількох шарів інформації: стаціонарні джерела, транспортні потоки, результати інтерполяції та супутникові дані. Це дозволяє отримати комплексну картину забруднення та оцінити внесок різних джерел.

Мапи забруднення використовуються в багатьох практичних і наукових цілях:

- Виявлення зон підвищеного ризику для здоров'я населення та екосистем.
- Планування та оптимізація розміщення житлових та промислових об'єктів.

- Оцінка ефективності заходів щодо зниження забруднення.
- Наукові дослідження, прогнозування поширення забруднювачів та розробка моделей екологічного ризику.

Наприклад, мапи концентрації дрібнодисперсного пилу PM_{2.5} у місті дозволяють виявити «гарячі точки», де необхідно вживати заходів щодо обмеження транспортного потоку або зниження промислових викидів.

Візуалізація розподілу забруднення у просторі є ефективним інструментом сучасного екологічного моніторингу. Використання мап дозволяє не лише оцінити поточний стан довкілля, а й визначити пріоритетні напрямки для управлінських рішень, прогнозувати зміни та оцінювати вплив різних джерел забруднення.

Застосування сучасних методів інтерполяції та ГІС забезпечує високу точність і наочність результатів, а комбінування різних джерел даних дозволяє отримати комплексну картину просторового розподілу забруднювачів. Таким чином, мапи забруднення стають не лише науковим інструментом, а й практичним засобом для планування та управління станом атмосферного повітря.

Метою створення карти є виявлення регіональних особливостей і динаміки змін у рівнях забруднення повітря, а також визначення областей з найбільшим антропогенним навантаженням. Вибір порівняльних періодів (2018 та 2024 роки) дає змогу оцінити тенденції у викидах забруднюючих речовин у довоєнний та воєнний періоди, простежити вплив економічних і соціально-політичних чинників на екологічний стан регіонів.

Для наочного відображення просторової диференціації рівнів забруднення атмосферного повітря в Україні побудовано теплову карту в Excel, що відображає викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел за 2018 та 2024 роки (рис. 2.10 та 2.11).

На карті значення викидів від стаціонарних джерел відображено кольоровою шкалою, де інтенсивність кольору відповідає рівню забруднення: від низького до дуже високого. Такий підхід дозволяє швидко і наочно визначити території з підвищеною концентрацією промислових об'єктів (переважно східні та центральні області) та регіони, де рівень викидів знизився або залишився стабільним.

Таблиця 2.7

Шкала забруднення атмосферного повітря

<i>Діапазон</i>	<i>Категорія</i>	<i>Колір на карті</i>
0 – 10	Дуже низьке	Світло-блакитний
10 – 30	Низьке	Блакитний
30 – 60	Середнє	Жовтий
60 – 120	Високе	Помаранчевий
>120	Дуже високе	Червоний

**сформовано автором на основі метода експертної оцінки*

На рис. 2.10 побудована теплова мапа забруднення стаціонарними джерелами у 2018 році.

Карта відображає просторовий розподіл обсягів викидів стаціонарних джерел по регіонах України. Чим інтенсивніший колір (оранжевий/червоний), тим вищий рівень забруднення; жовтий означає середні значення; синій – низькі. Карта чітко демонструє нерівномірність викидів, що зумовлена галузевою спеціалізацією областей, концентрацією промислових підприємств та енергетики.

Найбільші значення викидів спостерігаються у промислово розвинених областях: Донецька область – 106,7 тис. т. Одна з найбільш індустріалізованих територій України з потужною металургією, енергетикою та коксохімією. Дніпропетровська – 392,1 тис. т. На карті теж відображена як надвисока. Провідний центр чорної металургії, гірничодобувної промисловості, енергетики. Запорізька – 54,1 тис. т (дуже високе значення відносно площі та

населення). Сильний вплив підприємств металургії, хімічної промисловості та енергетики. Луганська – історично має високі показники (на карті показано значне забруднення). Особливо через теплову енергетику.



Рис. 2.10. Теплова мапа забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами в 2018 році

Джерело: розроблено автором з використанням платформи Bing (Microsoft, OpenStreetMap)

Усі ці області характеризуються домінуванням важкої промисловості, що й формує дуже високі рівні викидів. Регіони із середнім рівнем забруднення (жовта зона). Це області зі змішаною економікою, де присутня промисловість, але не масово: Житомирська, Київська, Полтавська, Харківська, Одеська, Херсонська області.

Фактори:

- наявність локальних підприємств,
- середнє навантаження від енергетики та транспорту,
- розосереджена промислова структура.

Регіони з низьким рівнем забруднення (синя зона). Найнижчі показники мають:

- Закарпатська – 1,7 тис. т
- Чернівецька – дуже низькі значення
- Івано-Франківська (відносно низькі)
- Львівська, Тернопільська регіони – теж у категорії низьких. Такі значення зумовлені:
- відсутністю важкої промисловості,
- перевагою туристично-рекреаційної та аграрної діяльності,
- гірським ландшафтом та меншою концентрацією населення.

Ці регіони мають найбільш сприятливий стан повітря серед західних областей. Карта демонструє чітку тенденцію: Схід та центр України – високий рівень забруднення. Це регіони найбільшої концентрації металургії, енергетики та великих промислових вузлів. Захід України – низький рівень забруднення. Тут практично відсутні великі промислові комплекси. Південь – переважно середній рівень, за винятком окремих точок (теплоенергетика).

Отже, регіону є ключовим фактором формування рівня забруднення. Чим більше металургійних, енергетичних, хімічних підприємств – тим інтенсивніший колір на карті. Викиди значною мірою зосереджені у промисловому поясі: Дніпро – Запоріжжя – Донбас. Західні регіони демонструють екологічно сприятливий стан повітря, що формує потенціал для рекреаційного та туристичного розвитку.

Теплова карта відображає просторовий розподіл викидів стаціонарних джерел по регіонах України у 2024 році із застосуванням узгодженої шкали градацій (від *дуже низького* до *дуже високого* рівня). Результати демонструють

суттєву територіальну нерівномірність забруднення, що на пряму пов'язана з галузевою структурою економіки та концентрацією промислових потужностей.



Рис. 2.11. Теплова мапа забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами в 2024 році

**Джерело: розроблено автором з використанням платформи Bing (Microsoft, OpenStreetMap)*

Регіони з дуже високим рівнем забруднення (>120 тис. т). До групи регіонів із найбільшим антропогенним навантаженням у 2024 році належать:

- Дніпропетровська область – 392,1 тис. т.
- Донецька область – 119,6 тис. т.

Зазначені області зберігають статус ключових промислових центрів України. На їх території зосереджені підприємства металургійної, коксохімічної, гірничодобувної промисловості, а також великі об'єкти енергетики. Їх сумарний внесок формує найвищі показники викидів серед усіх регіонів держави.

Регіони з високим рівнем забруднення (60–120 тис. т). До групи з високим рівнем забруднення увійшли:

- Запорізька область – 54,1 тис. т (верхня межа середнього рівня, але наближена до високого).
- Одеська область – 54,1 тис. т.

Хоча значення дещо нижче порогу «високого» рівня, за структурою промисловості ці регіони демонструють стабільно значний внесок у забруднення атмосфери. Переважними джерелами є металургійні підприємства, нафтопереробка, порти та об'єкти енергетики.

Регіони із середнім рівнем забруднення (30–60 тис. т). Середній рівень характеризує області зі збалансованою структурою виробництва:

- Полтавська – 52,7 тис. т
- Київська – 39,4 тис. т
- Черкаська – 39,9 тис. т
- Харківська – 39,2 тис. т

У цих регіонах діють локальні промислові центри, підприємства машинобудування, харчової, хімічної промисловості, а також об'єкти теплоенергетики. Забруднення є помірним, але стабільним.

До регіонів з низьким рівнем забруднення увійшли:

- Волинська,
- Житомирська,
- Вінницька,
- Чернігівська,
- Сумська.

Зазначені області характеризуються відсутністю потужних індустріальних кластерів. Основний внесок у забруднення забезпечують комунальні підприємства та невеликі теплоенергетичні установки.

До регіонів із дуже низьким рівнем забруднення увійшли:

- Закарпатська – 1,7 тис. т
- Чернівецька – нижче 10 тис. т
- Івано-Франківська – низькі показники
- Львівська – низькі або помірні викиди

Зазначені регіони мають переважно рекреаційно-туристичну спеціалізацію або сільськогосподарську економіку. Важка промисловість фактично відсутня, що зумовлює сприятливий стан атмосферного повітря.

Карта забруднення за даними 2024 року підтверджує сталість просторових трендів:

- промисловий схід – високі викиди,
- аграрно-рекреаційний захід – низькі,
- центральні області – середні значення із локальними піками забруднення.

Отже, схід і центр України залишаються найбільш промислово навантаженими, що пояснює концентрацію високих і дуже високих рівнів забруднення. Західні регіони демонструють найнижчі показники, що формує чіткий контраст із промисловими зонами. Південні області переважно належать до середнього або низького рівня, за винятком Одеси (портово-індустріальний вузол).

Висновки до розділу 2

У другому розділі магістерської роботи було здійснено комплексний аналіз стану атмосферного повітря в регіонах України, що включав вивчення територіального забруднення стаціонарними джерелами, оцінку впливу пересувних джерел, а також просторову візуалізацію рівнів забруднення. Проведене дослідження дозволило виявити суттєві регіональні відмінності, визначити фактори формування екологічного навантаження та виокремити ключові просторові закономірності техногенного впливу.

За результатами аналізу встановлено, що рівень забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами має чітко виражений територіальний характер. Найбільш критичні показники спостерігаються у промислових регіонах – зокрема в Дніпропетровській та Донецькій областях, які за даними 2024 року зберігають статус головних центрів металургійного, енергетичного та гірничодобувного виробництва. Саме концентрація потужних промислових підприємств формує надзвичайно високі обсяги шкідливих викидів і визначає провідні позиції цих регіонів у структурі стаціонарного забруднення. Натомість західні області, з переважанням аграрного та рекреаційного профілю, характеризуються низькими або дуже низькими рівнями техногенного навантаження.

Дослідження динаміки викидів пересувних джерел засвідчило стабільну тенденцію до зниження їх обсягів у 2016-2024 роках, що підтверджується статистичними даними та трендовими розрахунками. Найбільш відчутне скорочення спостерігалось в 2020 році (пандемічні обмеження) та у 2022-2024 роках (зниження транспортної активності в умовах воєнного стану). Водночас пересувні джерела залишаються суттєвим фактором забруднення, особливо у великих містах та транспортних вузлах, а також у зонах активних або колишніх бойових дій, де додатковим джерелом негативного впливу є військова техніка. Особливу інформаційну цінність має створена теплова карта просторового розподілу забруднення, яка дозволила візуально окреслити екологічні «гарячі

точки» та підтвердила територіальну нерівномірність техногенного навантаження. Просторовий аналіз показав стійкий контраст між промисловим сходом і відносно чистішим заходом країни. Центральні регіони демонструють середні значення з окремими локальними піками, обумовленими міською забудовою та роботою великих підприємств. Південні області мають переважно середні або низькі рівні забруднення, за винятком міст із портовою та логістичною інфраструктурою.

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що регіональне забруднення атмосферного повітря формується під впливом поєднання промислово-енергетичних, транспортних і воєнних факторів, а його просторові особливості зумовлені специфікою економічного профілю регіонів та рівнем їх інфраструктурної розвитку. Отримані дані підкреслюють важливість модернізації промислового комплексу, підвищення екологічної ефективності транспортного сектору, удосконалення системи моніторингу, а також необхідність врахування просторових трендів при формуванні державної екологічної політики.

Результати розділу можуть слугувати науковою основою для розроблення заходів зі зменшення техногенного навантаження, планування екологічної модернізації та визначення пріоритетних напрямів повоєнного відновлення регіонів України (див. розділ 3 магістерської роботи).

РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ РЕГІОНАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.

3.1. Досвід країн ЄС у зменшенні забруднення атмосферного повітря

Європейський Союз протягом останніх трьох десятиліть формував цілісну систему політик, спрямованих на зменшення забруднення атмосферного повітря як одного з ключових факторів впливу на здоров'я населення та стан довкілля. Комплексність підходу ЄС ґрунтується на поєднанні нормативно-правових вимог, технологічних інновацій, економічних стимулів та інституційних механізмів, що взаємно підсилюють одне одного. Саме така багаторівнева модель дозволила досягти відчутного зниження викидів у більшості країн-членів. Вивчення цього досвіду є важливим для України, оскільки дає можливість адаптувати найефективніші інструменти з урахуванням національних та регіональних особливостей.

Фундаментальними елементами європейської політики виступає розгалужена система директив, серед яких ключову роль відіграють:

Директива 2008/50/ЄС (Ambient Air Quality Directive) – встановлює стандарти якості повітря (порогові концентрації для $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 , O_3 тощо), вимоги до моніторингу та звітності;

- Національні емісійні цілі (NEC Directive, 2016/2284/EU) – встановлює зобов'язання держав членів щодо скорочення викидів основних політичних забруднювачів (NH_3 , NO_x , SO_2 , NMVOC, $PM_{2.5}$) у довгостроковій перспективі;
- Industrial Emissions Directive (IED, 2010/75/EU) – регулює промислові викиди за принципом BAT та через систему дозволів.

Ці акти поєднуються з численними регламентами та технічними стандартами (наприклад, випробувальні норми для моторів та палива), що створює чіткий правовий флор для скорочення викидів. Важливо, що ці

документи не існують окремо - вони взаємодоповнюють один одного, забезпечуючи єдину логіку регулювання якості повітря на рівні ЄС.

Для забезпечення виконання нормативних вимог створено жорсткий інституційний механізм. Кожна країна-член зобов'язана регулярно звітувати Єврокомісії про стан якості повітря та обсяги викидів, а у випадку систематичних порушень ЄС має повноваження ініціювати юридичні процедури, що включають штрафи та судові позови. Поєднання контролю та допомоги стало однією з причин високої ефективності екологічної політики ЄС.

Варто акцентувати увагу, що в країнах ЄС діють наступні механізми, ЄС забезпечує виконання через:

- обов'язкову звітність країн щодо стану якості повітря та викидів;
- правові процедури проти держав, що не виконують директиви (комісійні розгляди, штрафи);
- технічну допомогу та рекомендації щодо застосування BAT;
- фінансування (LIFE, Cohesion Fund, EIB кредити) на екологічні заходи.

Запровадження BAT у промислових процесах – ключова практика. Євросоюз забезпечує державам технічну та фінансову підтримку у впровадженні BAT, модернізації моніторингових систем та реалізації декарбонізаційних проєктів. Пакет BAT включає конкретні технологічні рішення (наприклад, вискоєфективні електрофільтри, сухі та мокрі скрубери, системи селективної каталізаторної віднови для NO_x, фільтрація пилу на агломераційних і доменних печах). Інтегровані дозволи на основі IED змушують підприємства впроваджувати такі заходи і моніторити їхню ефективність.

Паралельно з прямими заходами проти полютантів у багатьох країнах ЄС реалізують енергетичну трансформацію:

- активне впровадження ВДЕ (вітро-, сонячна енергія), розвиток розподіленої генерації;

- переходи ТЕС на газ або комбіновані схеми (CHP) з кращими показниками локальних викидів;
- застосування технологій уловлювання та збереження вуглецю (CCS) на окремих об'єктах.
- зниження використання вугілля суттєво сприяло покращенню якості повітря в країнах, що відмовлялися від вугільних ТЕС.

Поступове введення стандартів викидів для легкового і вантажного транспорту (Euro 1 → Euro 6 для легкових; Euro VI для важких) значно знизило викиди NO_x та частинок від нових автомобілів. Комбінація стандартів для двигунів, контролю пального та періодичних техоглядів – потужний інструмент.

Деякі країни (Норвегія – не член ЄС, але релевантний приклад; Нідерланди, Франція, Німеччина) застосували податкові пільги, субсидії, пріоритети паркування та реєстраційні переваги для EV. Результат – високі частки електромобілів у загальному парку.

- London ULEZ / Congestion Charge – жорстке обмеження для старих та забруднюючих авто, із значним зниженням NO_2 у центральних районах.

- Low Emission Zones (Німеччина, Італія, Іспанія, Польща) – різні моделі (зона заборони для певних категорій авто, платні зони, часові обмеження).

- Політика заохочення громадського транспорту і велоінфраструктури (Нідерланди, Данія) – зменшує потребу в приватних авто.

Великі порти і міста впроваджують електрифікацію портової техніки, заохочують використання комбінованих перевезень (залізниця+транспорт), створюють міські логістичні хаби для консолідації вантажів.

Аграрний сектор – джерело аміаку, що сприяє формуванню вторинних частинок ($\text{PM}_{2.5}$). Європейські практики:

- регулювання розпилення гною, впровадження ін'єкцій у ґрунт замість розпилення;
- модернізація тваринницьких ферм (закриті системи, фільтрація вентиляції);

- фінансова підтримка установки біогазових установок (зменшення відходів і отримання енергії);
- застосування схем добрив з контрольованим вивільненням.

NEC директива змушує країни знижувати викиди аміаку цілями на національному рівні.

Зелені пояси, дерева в міських вулицях, паркові зони – не повністю вирішують проблему домінуючих хімічних поллютантів, але сприяють зниженню пилу, покращенню мікроклімату і розсіюванню забруднень. При цьому важливо правильно підбирати види та розташування рослин для максимального ефекту.

Міста використовують моделі (наприклад, ADMS, AERMOD) і високощільні мережі сенсорів для виявлення «гарячих точок», цілевих заходів та комунікації з громадянами.

Публічні портали, мобільні додатки та публікації «повітряного індексу» підвищують прийняття політик та дозволяють чутливим групам обирати менш ризикову поведінку.

LIFE Programme, Cohesion Fund, Structural Funds, EIB – надають значні ресурси на модернізацію промислових фільтрів, розвиток громадського транспорту, реконструкцію енергетичного сектору.

Економічні стимули та податки:

- диференційовані екологічні податки та збори (для палив, великих викидачів);
- торгівля викидами в рамках Emissions Trading System (ETS) – для CO₂ (небезпосередньо для місцевих поллютантів, але впливає на вибір палива).

Підтримка для малих підприємств і громад – гранти на заміну опалювальних котлів, субсидії на утеплення будинків, програми «скрап-енд-ре-плейс» для застарілих автомобілів.

Ефективність європейського підходу підтверджують численні успішні приклади. Наприклад, Лондонська модель ULEZ + Congestion Charge. Поєднання плати за в'їзд та стандартів для авто призвело до значного зниження

NO₂ у центральних районах, а також стимулювало оновлення автопарку й розвиток громадського транспорту. Наступний приклад, Нідерланди – інвестиції в велоінфраструктуру та електромобілі. Системна інфраструктурна підтримка громадського та велотранспорту показала, що зміна поведінки мешканців можлива без драконівських обмежень. Німеччина – інтеграція ВАТ і локальні LEZ. Німецькі промислові кластери застосували високі стандарти для фільтрації, а міста – низку зон з обмеженим доступом для старих дизелів. Скандинавія (Норвегія, Швеція) – потужні стимули для EV та опалення на біомасі / відновлюваних джерелах. Сильні податкові стимули дали швидкий ріст частки електромобілів; одночасно впровадження екологічних систем опалення зменшило місцеві викиди від побутового опалення.

Таким чином, досвід ЄС демонструє, що ефективного зниження забруднення атмосферного повітря досягається шляхом поєднання законодавчих, технологічних, інфраструктурних та соціальних заходів. Ключовими елементами є: жорсткі стандарти (що задають мінімум), фінансова та технічна підтримка модернізації, розвиток чистого транспорту, міські політики (LEZ, ULEZ) і прозорий моніторинг. Для України важливо адаптувати європейські практики до регіональної специфіки (індустріальні кластери, аграрні зони, постраждалі від війни території), посилити моніторинг та створити комплексні плани реагування на надзвичайні екологічні ситуації. Ретельне поетапне впровадження політик із соціальною підтримкою дозволить мінімізувати опір і забезпечити стійке покращення якості повітря.

3.2. Розробка комплексу заходів зі зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря України з урахуванням регіональної специфіки та виявлених екологічних ризиків

Атмосферне повітря України зазнає комплексного впливу як традиційних джерел забруднення (промисловість, енергетика, транспорт, аграрний сектор), так і нових загроз, пов'язаних із повномасштабною війною. Просторова нерівномірність господарської діяльності, руйнування інфраструктури, зміщення промислових центрів, збільшення мобільності військової техніки, використання дизельних генераторів, а також погіршення якості моніторингу визначають складність формування сучасної політики у сфері охорони атмосферного повітря. Для ефективного зниження техногенного навантаження необхідно розробити інтегрований комплекс заходів, адаптований до регіональних умов, рівня забруднення, спеціалізації економіки та наявних екологічних ризиків.

У цьому розділі магістерської роботи систематизовано та розроблено заходи трьох рівнів: державного, регіонального та локального (підприємства/громади). Така багаторівнева структура дозволяє врахувати специфіку розвитку окремих територій, результати аналізу регіональних забруднювачів (див. Розділ 2), вплив війни та можливості післявоєнної реконструкції екологічної інфраструктури.

Отже, першочерговим завданням є формування ефективної системи екологічного управління атмосферним повітрям має ґрунтуватися на таких принципах:

Принцип територіальної диференціації. Даний принцип забезпечує адаптацію природоохоронних заходів до домінуючих типів забруднення в конкретному регіоні (промисловість - у Дніпропетровській, Запорізькій; транспорт - у Київській, Львівській; аграрні викиди - у Кіровоградській, Вінницькій тощо).

Принцип пріоритетності ризиків. У регіонах, де фіксуються високі концентрації пилу, діоксиду азоту чи формальдегіду, першочерговими повинні бути заходи щодо зменшення цих саме поллютантів.

Принцип відновлення та модернізації. Актуальний для територій, де інфраструктура знищена або пошкоджена внаслідок бойових дій (Донецька, Луганська, Херсонська, Запорізька області).

Принцип інтеграції європейських стандартів (Acquis EC). Зокрема вимог Директиви 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та Директиви 2016/2284/ЄС щодо національних викидів.

Принцип відкритості та участі громад. Екологічні рішення будуть ефективними лише за умов залучення ОТГ, екологічних НУО, громадян та бізнесу.

Варто зазначити, що вищезазначені принципи покладено в основу комплексу заходів, запропонованих нижче на кожного з рівнів управління.

Державний рівень:

1. Відновлення та модернізація національної системи моніторингу атмосферного повітря. Воєнні дії призвели до руйнування значної кількості постів спостереження у східних і південних областях. З огляду на це пропонуються такі кроки:
 - 1.1. створення єдиної державної мережі автоматизованих станцій моніторингу, здатних працювати у воєнних умовах;
 - 1.2. інтеграція даних державного та громадського моніторингу (EcoCity, SaveEcoBot, Luftdaten);
 - 1.3. забезпечення оперативної передачі даних до Європейської мережі AirBase;
 - 1.4. застосування методів дистанційного зондування (супутниковий моніторинг за даними Sentinel-5P, MODIS).

Перевагою відновленої системи є можливість своєчасно виявляти зони підвищеного ризику та реагувати на появу токсичних хмар, пов'язаних із вибухами, пожежами або промисловими аваріями.

2. Посилення екологічних вимог до підприємств. З огляду на аналіз у Розділі 2 найбільший внесок у забруднення здійснюють підприємства:

- металургії (Дніпропетровська, Запорізька області),
- хімічної промисловості (Черкаська, Дніпропетровська),
- енергетики (Івано-Франківська, Луганська - до руйнування),
- газотранспортної системи (Закарпатська),
- аграрної переробки (Кіровоградська, Вінницька).

Пропонується:

- запровадження жорсткіших норм викидів відповідно до європейських регламентів ВАТ (Найкращі доступні технології);
- обов'язкове впровадження цифрових систем Flue Gas Monitoring;
- екологічний аудит усіх підприємств, які відновлюють роботу після зупинки або релокації;
- диференційовані екологічні податки: вищі ставки для високопріоритетних забруднювачів (SO_2 , NO_x , PM).

3. Реформування транспортної політики держави. Основними напрямками є:

- поетапне впровадження стандарту Euro-6d для всього автопарку;
- державна підтримка електротранспорту (гранти для ОТГ, відшкодування частини вартості електробусів);
- впровадження Low Emission Zones у містах-мільйонниках.

Такі заходи дозволять зменшити викиди NO_2 і CO, які домінують у містах із високою транспортною інтенсивністю (Київ, Харків, Львів, Одеса).

Регіональний рівень: адаптовані заходи для областей із різним типом забруднення:

1. Індустріальні регіони (Дніпропетровська, Запорізька, Полтавська, частково Харківська області). Ключові проблеми:
високі обсяги викидів пилу, SO_2 , NO_x , бенз(а)пірену;
концентрація металургійних та хімічних підприємств;
зношеність очисних споруд.

Запропоновані заходи:

- Оновлення систем пилогазоочистки на підприємствах металургії (рукавні фільтри, електрофільтри нових поколінь).
- Перехід ТЕС на газ/біомасу або впровадження технологій уловлювання CO₂ (Carbon Capture).
- Створення промислових екологічних кластерів, які забезпечують спільні очисні споруди й мінімізують транскордонні викиди.
- Впровадження екологічного рейтингування підприємств, що стимулюватиме конкуренцію за чисті технології.

Регіони, що постраждали від війни (Донецька, Луганська, Херсонська, частково Запорізька та Миколаївська області). Проблеми:

- руйнування екологічно небезпечних підприємств;
- неможливість моніторингу;
- неконтрольовані пожежі та вибухи;
- локальні токсичні хмари.
- Заходи:
- Фіксація та оцінка екологічних збитків за європейською методикою EVA та українським алгоритмом Міндовкілля.
- Створення мобільних лабораторій для оцінки забруднення у місцях вибухів і пожеж.
- Дегазація та рекультивація територій, де відбулося загоряння складів палива.
- Забезпечення регіонів альтернативною енергетикою для мінімізації використання генераторів.
- Розроблення проєктів «зеленої» реконструкції індустріальних зон із застосуванням технологій замкненого циклу.

Агропромислові регіони (Кіровоградська, Вінницька, Черкаська області).

Проблеми:

- викиди аміаку та метану від тваринницьких комплексів;
- забруднення атмосферного повітря в процесі виробництва олії, цукру, м'ясної продукції;

- сезонні спалювання рослинних решток.

Заходи:

- Модернізація систем вентиляції та очищення повітря у тваринницьких комплексах.
- Впровадження технології anaerobic digestion (біогазових станцій).
- Заборона випалювання стерні, розвиток систем мульчування та no-till.
- Збільшення площ полезахисних лісосмуг для зниження пилових перенесень.

Транспортно-урбанізовані регіони (Київська, Одеська, Львівська області).

Заходи:

- Розвиток «розумних транспортних систем» з пріоритетом громадського транспорту.
- Створення мережі міських станцій моніторингу NO₂, PM_{2.5}, ЛОС
- Стимулювання переходу таксі та доставки на електротранспорт.
- Запровадження зелених коридорів (посилене озеленення транзитних магістралей).

Карпатський регіон (Закарпатська, Львівська, Івано-Франківська, Чернівецька області). Проблеми в основному пов'язані з: викидами газотранспортних підприємств (Закарпаття), лісопереробною промисловістю, сезонними пожежами, зростанням туризму.

Заходи:

- Оновлення компресорних станцій газотранспортної системи.
- Перехід лісопереробних підприємств на замкнуті цикли вентиляції.
- Створення мережі протипожежних бар'єрів.
- Розвиток екологічного громадського транспорту у туристичних зонах.

Локальний рівень (підприємства та громади).

Технічні заходи:

- Модернізація фільтраційних систем (електрофільтри, циклонні фільтри, скрубери).
- Заміна старих котлів на сучасні з низькими викидами NO_x.

- Контроль витоків метану на аграрних і нафтогазових підприємствах.
- Утеплення та енергоефективна модернізація комунальних установ, що зменшує споживання палива.

Просторово-планувальні заходи:

- Озеленення міських територій (створення «зелених поясів»).
- Перенесення промислових підприємств за межі житлових кварталів.
- Формування буферних зон між промисловими об'єктами та забудовою.

Соціально-освітні заходи:

- Екологічна освіта населення щодо небезпеки спалювання сміття й рослинних залишків.
- Інформування громади про стан повітря через застосунки та локальні датчики.

Заходи зниження екологічних ризиків у післявоєнний період. Особливістю сучасної екологічної ситуації є наявність нових ризиків, пов'язаних із руйнуванням промислових об'єктів, вибухами, пожежами та залповими викидами токсичних речовин. У зв'язку з цим необхідно:

- Провести повну інвентаризацію знищених або пошкоджених підприємств, визначивши ступінь забруднення.
- Створити Національний реєстр екотоксичних територій, які потребують особливого спостереження.
- Залучити донорські та європейські програми для розмінування та екологічної рекультивації.
- Впровадити систему прогнозування поширення токсичних хмар на базі метеомоделей HYSPLIT.
- Забезпечити громади обладнанням для оперативного вимірювання $PM_{2.5}$, NO_2 , CO та формальдегіду.

Ефективність запропонованих заходів дасть змогу:

- зменшити викиди основних поллютантів (SO_2 , NO_x , $PM_{2.5}$, PM_{10}) на 20–40% у середньостроковій перспективі;
- підвищити екологічну безпеку регіонів, що постраждали від війни;

- зменшити економічні втрати від захворювань, спричинених забрудненням повітря;
- забезпечити інтеграцію України до Європейської системи екологічного врядування;
- створити основу для сталого відновлення країни.

Отже, досвід країн Європейського Союзу переконливо демонструє, що зниження рівня забруднення атмосферного повітря можливе лише за умов комплексного та послідовного впровадження взаємопов'язаних політик. Поєднання правових інструментів, технологічних стандартів, фінансових механізмів і локальних міських стратегій створює стійку модель управління, яка дозволяє ефективно контролювати викиди в усіх основних секторах – промисловості, енергетиці, транспорті та сільському господарстві. Важливо, що ЄС не обмежується лише регулюванням: його система базується на постійному моніторингу, прозорості даних і залученні громадськості, що формує високий рівень відповідальності та стимулює дотримання встановлених норм. Успішні приклади окремих країн доводять, що найефективнішими є саме комплексні рішення, які одночасно модернізують технології, змінюють поведінку споживачів і трансформують міське середовище.

Для України вивчений європейський досвід має особливе значення, оскільки у багатьох регіонах країни спостерігається поєднання промислових, транспортних та воєнно обумовлених екологічних викликів. Адаптація європейських підходів із урахуванням національної специфіки здатна створити основу для формування сучасної, ефективної та надійної системи управління якістю повітря. Поетапне впровадження директив ЄС, модернізація моніторингу, розвиток чистого транспорту та екологічно орієнтоване планування стануть ключовими кроками на шляху до зниження техногенного навантаження і забезпечення сталого розвитку України.

Таким чином, для нашої держави є доцільним реалізувати наступні заходи:

1. Запровадити комплексну правову базу, сумісну з європейськими директивами (поетапна адаптація Ambient Air Quality Directive та IED), з чіткими термінами і фінансовою підтримкою для підприємств.
2. Масштабна модернізація систем моніторингу: відновлення стаціонарних постів, розвиток мобільних лабораторій та мережі low-cost сенсорів для покриття «білих плям».
3. Міські пілоти LEZ / ULEZ у великих містах (Київ, Харків, Дніпро) у поєднанні з розвитком громадського транспорту та стимулюванням EV.
4. Фінансова підтримка переходу підприємств на ВАТ через кредити з відстрочкою, гранти з умовою модернізації фільтрів.
5. Аграрні заходи: підтримка біогазу, заборона спалювання стерні, модернізація тваринницьких комплексів для зменшення NH₃.
6. Плани реагування на аварії / пожежі: мобільні лабораторії, алгоритми оповіщення населення та карти ризиків (HYSPLIT-подібні моделі).
7. Інформаційна політика: відкриті дані про якість повітря, участь громад у моніторингу.
8. Враховувати регіональні пріоритети: у регіонах із домінуванням металургії – фокус на пилогазоочистці; у регіонах із домінуванням транспорту – інфраструктурні інвестиції у громадський транспорт і веломережі; у постраждалих від бойових дій – пріоритет рекультивації та дегазації.

3.3. Розробка регіонального пілотного проєкту щодо зниження забруднення атмосферного повітря (на прикладі Дніпропетровської області)

Дніпропетровська область є одним із найбільш індустріально розвинених регіонів України та водночас належить до територій з найвищим рівнем техногенного навантаження на атмосферне повітря. Висока концентрація підприємств гірничо-металургійного комплексу, теплоенергетики, коксохімічного виробництва та значні обсяги транспортних перевезень зумовлюють стабільно високі показники викидів забруднюючих речовин, зокрема оксидів сірки, азоту, вуглецю та дрібнодисперсного пилу.

За результатами аналізу, проведеного у другому розділі магістерської роботи, встановлено, що саме Дніпропетровська область демонструє одні з найбільших абсолютних обсягів викидів від стаціонарних джерел в Україні, а також суттєве зростання техногенного навантаження після початку повномасштабного вторгнення у зв'язку з концентрацією релокованих підприємств та відновленням промислового виробництва. Це зумовлює доцільність розроблення для області цільового пілотного проєкту, спрямованого на зниження рівня забруднення атмосферного повітря та апробацію механізмів екологічної модернізації, які в подальшому можуть бути масштабовані на інші регіони України з урахуванням їх спеціалізації.

Вибір Дніпропетровської області як базового регіону для реалізації пілотного проєкту зумовлений сукупністю екологічних, економічних та соціальних чинників. По-перше, область традиційно займає провідні позиції за обсягами промислового виробництва та є центром гірничо-металургійного комплексу України. На її території функціонують великі підприємства чорної металургії, теплоелектростанції, гірничо-збагачувальні комбінати, діяльність яких супроводжується значними викидами забруднюючих речовин.

По-друге, у структурі викидів області переважають речовини з високим рівнем екологічної небезпеки – суспендовані тверді частинки (PM_{10} , $PM_{2.5}$), діоксид сірки, оксиди азоту та оксид вуглецю. Їх накопичення у приземному шарі атмосфери негативно впливає на стан здоров'я населення, сприяє зростанню захворюваності органів дихання та серцево-судинної системи, а також формує зони підвищеного екологічного ризику у великих промислових містах області.

По-третє, після початку повномасштабної війни Дніпропетровська область стала одним із ключових регіонів прийому релокованих підприємств та логістичних потоків, що призвело до додаткового навантаження на атмосферне повітря. Водночас область має значний науково-технічний потенціал, розвинену інфраструктуру та можливості для впровадження сучасних природоохоронних технологій, що створює сприятливі умови для реалізації комплексного пілотного проєкту.

Метою пілотного проєкту є зниження рівня техногенного забруднення атмосферного повітря Дніпропетровської області шляхом екологічної модернізації стаціонарних джерел викидів, удосконалення системи моніторингу та впровадження принципів сталого розвитку відповідно до європейських екологічних стандартів.

Для досягнення поставленої мети передбачається виконання таких завдань:

- зменшення обсягів викидів основних забруднюючих речовин від промислових підприємств області;

- впровадження сучасних газоочисних та фільтраційних технологій на найбільш екологічно небезпечних об'єктах;

- удосконалення регіональної системи моніторингу якості атмосферного повітря;

- стимулювання підприємств до екологічної модернізації через економічні та організаційні інструменти;

підвищення рівня екологічної безпеки та якості життя населення промислових міст області.

Реалізація пілотного проєкту передбачає впровадження комплексу взаємопов'язаних заходів, які доцільно згрупувати за напрямками.

Технічні заходи. Основним напрямом є модернізація очисного обладнання на підприємствах металургійної та енергетичної галузей. Доцільним є впровадження електрофільтрів, рукавних фільтрів та систем сухого та напівсухого очищення димових газів, що дозволить суттєво знизити викиди дрібнодисперсного пилю. Для теплоелектростанцій рекомендовано поетапний перехід до комбінованого використання палива з підвищенням частки менш вуглеємних джерел енергії, а також впровадження автоматизованих систем безперервного контролю викидів (CEMS).

Організаційно-управлінські заходи. Запропоновано розроблення та впровадження регіональної цільової програми «Чисте повітря Дніпропетровщини», яка передбачатиме укладання екологічних угод між органами влади та найбільшими підприємствами-забруднювачами. Важливим елементом є проведення регулярних екологічних аудитів та публічне оприлюднення результатів моніторингу якості повітря для підвищення прозорості екологічної політики.

Транспортні заходи. У великих містах області доцільним є обмеження руху вантажного транспорту у житлових зонах, розвиток електротранспорту та стимулювання використання екологічно чистих видів палива. Створення «зелених транспортних коридорів» дозволить зменшити концентрацію забруднюючих речовин у центральних частинах міст.

Просторово-екологічні заходи. Передбачається розширення санітарно-захисних зон навколо промислових підприємств, створення зелених насаджень як природних бар'єрів для поширення забруднення, а також рекультивація деградованих промислових територій з подальшим їх екологічно орієнтованим використанням.

Таблиця 3.1.

**Основні заходи пілотного проєкту щодо зниження забруднення
атмосферного повітря в Дніпропетровській області**

№	Напрямок заходів	Зміст заходу	Очікуваний екологічний ефект	Орієнтовні терміни реалізації	Основні виконавці
1	Технічний	Впровадження електрофільтрів та рукавних фільтрів на підприємствах металургії	Зменшення викидів $PM_{2.5}$ та PM_{10} на 20-25 %	2025-2027 рр.	Промислові підприємства, обласна адміністрація
2	Технічний	Модернізація газоочисних систем на ТЕС та котельнях	Скорочення викидів SO_2 та NO_x на 15-20 %	2025-2028 рр.	Енергогенеруючі компанії
3	Моніторинговий	Впровадження автоматизованих систем безперервного контролю викидів (CEMS)	Підвищення точності та прозорості контролю за викидами	2025-2026 рр.	Підприємства, Держекоінспекція
4	Організаційний	Реалізація регіональної програми «Чисте повітря Дніпропетровщини»	Системне зниження техногенного навантаження	2025–2030 рр.	Обласна військова адміністрація, органи місцевого самоврядування
5	Управлінський	Проведення регулярних екологічних аудитів підприємств	Зменшення екологічних ризиків та порушень	1 раз на 2 роки	Аудиторські компанії, підприємства
6	Транспортний	Обмеження руху вантажного транспорту у житлових зонах міст	Зниження локального забруднення повітря	2025-2027 рр.	Органи місцевого самоврядування
7	Транспортний	Розвиток електротранспорту та громадського транспорту	Зменшення викидів від пересувних джерел	2025-2030 рр.	Міські ради, транспортні підприємства
8	Просторово-екологічний	Розширення санітарно-захисних зон навколо промислових об'єктів	Зниження впливу забруднення на житлові райони	2026-2029 рр.	Місцеві органи влади
9	Ландшафтно-екологічний	Створення зелених насаджень і захисних зелених поясів	Поліпшення мікроклімату та якості повітря	2025-2030 рр.	Органи місцевого самоврядування
10	Рекультивацийний	Рекультивація деградованих промислових територій	Відновлення екологічних функцій територій	2026-2030 рр.	Підприємства, обласна адміністрація

*запропоновано автором

Реалізація запропонованого пілотного проєкту дозволить досягти відчутних екологічних і соціально-економічних результатів. Очікується скорочення викидів дрібнодисперсного пилу на 20-25%, діоксиду сірки та оксидів азоту – на 15-20 %, що сприятиме покращенню якості атмосферного повітря в промислових містах області. Зниження рівня забруднення позитивно вплине на стан здоров'я населення, зменшить рівень захворюваності та підвищить комфортність проживання.

Крім того, екологічна модернізація підприємств сприятиме підвищенню їх інвестиційної привабливості, зменшенню екологічних платежів у довгостроковій перспективі та наближенню регіону до вимог екологічного законодавства Європейського Союзу.

Очікувані зміни показників якості атмосферного повітря, наведені в таблиці 3.2, є результатом поетапної реалізації комплексу взаємопов'язаних заходів, передбачених пілотним проєктом. Зокрема, зниження концентрацій дрібнодисперсного пилу $PM_{2.5}$ та PM_{10} обґрунтовується впровадженням сучасних електрофільтрів і рукавних фільтрів на підприємствах металургійного та енергетичного секторів. Ефективність таких технологій, підтверджена результатами наукових досліджень та європейською практикою, дозволяє уловлювати до 95-99% твердих частинок, що забезпечує реалістичне скорочення викидів у межах 20-25%.

Зменшення викидів діоксиду сірки та оксидів азоту зумовлене модернізацією теплоенергетичних установок, оптимізацією паливного балансу та впровадженням автоматизованих систем безперервного контролю викидів. Такі системи не лише забезпечують оперативне виявлення перевищень нормативів, а й підвищують рівень екологічної відповідальності підприємств, що в довгостроковій перспективі сприяє стабільному зниженню техногенного навантаження.

Таблиця 3.2.

**Очікувана зміна показників якості атмосферного повітря в
Дніпропетровській області в результаті реалізації пілотного проєкту**

Показник	Поточний стан (було)	Очікуваний стан (стало)	Характер змін
Викиди $PM_{2.5}$	Високі концентрації у промислових містах області	Зменшення на 20-25 %	Впровадження сучасних фільтраційних систем
Викиди PM_{10}	Періодичне перевищення гранично допустимих концентрацій	Зменшення на 15-20 %	Модернізація газоочисного обладнання
Діоксид сірки (SO_2)	Стабільно підвищені показники поблизу ТЕС та металургійних підприємств	Зниження на 15-20 %	Оптимізація паливного балансу та очищення димових газів
Оксиди азоту (NO_x)	Значний внесок стаціонарних та транспортних джерел	Зменшення на 10-15 %	Скорочення викидів промисловості та транспорту
Оксид вуглецю (CO)	Підвищені рівні в міських агломераціях	Зниження на 10 %	Оптимізація транспортних потоків
Індекс забруднення атмосфери	Середній–високий	Перехід до середнього рівня	Комплексний ефект заходів
Захворюваність органів дихання	Підвищена	Зниження на 8-12 %	Поліпшення якості повітря
Якість життя населення	Екологічно напружена	Покращення	Зменшення впливу шкідливих факторів

**запропоновано автором*

Скорочення вмісту оксиду вуглецю в атмосферному повітрі міських агломерацій пояснюється реалізацією транспортних заходів, зокрема обмеженням руху вантажного транспорту в житлових районах, розвитком електротранспорту та оптимізацією транспортної інфраструктури. Це дозволяє зменшити локальні пікові концентрації забруднення та покращити якість повітря в зонах проживання населення.

Сукупний вплив запропонованих технічних, організаційних і просторово-екологічних заходів формує кумулятивний екологічний ефект, що проявляється у зниженні інтегрального індексу забруднення атмосфери та позитивній динаміці показників здоров'я населення. Отримані прогнозні оцінки є

поміркованими та відповідають світовому досвіду реалізації регіональних програм зниження техногенного навантаження, що дозволяє розглядати їх як обґрунтовані й досяжні для умов Дніпропетровської області.

Таким чином, запропонований пілотний проєкт узгоджується з основними положеннями європейської екологічної політики, зокрема Директивою 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря, Директивою про промислові викиди та цілями Європейського зеленого курсу. Впровадження принципів найкращих доступних технологій (BAT), систем моніторингу та екологічної відповідальності підприємств створює передумови для інтеграції України до європейського екологічного простору та формування сталих моделей регіонального розвитку. Реалізація пілотного проєкту зниження забруднення атмосферного повітря в Дніпропетровській області є обґрунтованим та перспективним напрямом екологічної політики, який дозволяє поєднати післявоєнне відновлення промислового потенціалу з принципами екологічної безпеки та сталого розвитку.

Висновки до 3 розділу

Таким чином, у третьому розділі магістерської роботи здійснено комплексне дослідження сучасних підходів до зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря, охарактеризовано багаторівневу систему управління якістю повітря в країнах Європейського Союзу та запропоновано адаптований для України комплекс заходів, побудований з урахуванням регіональної специфіки та встановлених екологічних ризиків. Проведений аналіз дозволив виявити ключові тенденції, визначити найбільш результативні інструменти та сформулювати цілісні рекомендації для покращення екологічної ситуації в Україні.

У межах розділу детально проаналізовано комплекс заходів ЄС, спрямованих на зменшення забруднення атмосферного повітря. Акцентовано увагу на тому, що ефективність європейського підходу забезпечується взаємодією таких складових, як нормативно-правова база, технологічні рішення, фінансові механізми та розвинені системи моніторингу. З'ясовано, що ключовими інструментами екологічної політики ЄС є директиви щодо якості повітря, промислових викидів та національних зобов'язань щодо скорочення забруднювачів, які створюють чіткі рамки для діяльності держав і підприємств. У результаті дослідження підкреслено, що саме інтегроване використання цих механізмів дозволяє країнам ЄС досягати стабільного зниження рівня викидів та підвищення якості повітря.

Особлива увага приділена аналізу найкращих доступних технологій (BAT), які розглянуто як один із найбільш результативних інструментів зниження промислових викидів. Встановлено, що їх впровадження сприяє модернізації виробничих процесів, зменшенню концентрацій пилю, діоксидів азоту та сірки, а також покращенню загальної екологічної ефективності підприємств. З огляду на це, в роботі запропоновано можливі напрями інтеграції BAT у функціонування українських промислових об'єктів, особливо в регіонах із високим рівнем техногенного навантаження.

Проаналізовано також трансформаційні процеси в енергетичному та транспортному секторах ЄС, які справляють значний вплив на динаміку атмосферних викидів. У роботі підкреслено, що відмова від вугільної генерації, розвиток відновлюваних джерел енергії, стимулювання електротранспорту та застосування стандартів Euro стали ключовими драйверами зменшення викидів у країнах ЄС. Зроблено висновок, що подібні системні зміни необхідно враховувати під час формування української екологічної та енергетичної політики.

Крім того, у розділі запропоновано комплекс заходів зі зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря в Україні з урахуванням регіональних особливостей. Акцентовано увагу на диференційованому підході, що передбачає розроблення спеціалізованих рішень для промислових, аграрних, транспортно-урбанізованих та воєнно постраждалих територій. Зокрема, для індустріальних регіонів запропоновано заходи щодо модернізації систем пилогазоочищення, впровадження екологічних кластерів та систем безперервного контролю викидів. Для транспортно навантажених регіонів – розвиток громадського транспорту, створення зон низьких викидів, оптимізацію вуличної інфраструктури та стимулювання використання електромобілів. Для агропромислових областей – зменшення викидів аміаку, розвиток біогазових технологій та впровадження екологічних практик землеробства. У регіонах, що постраждали від війни, особливий акцент зроблено на необхідності оцінки екологічних збитків, рекультивації територій та впровадженні мобільних систем моніторингу.

У межах формування пропозицій значну увагу приділено також питанням моніторингу. На основі аналізу сучасних європейських практик обґрунтовано важливість створення багаторівневої та технологічно модернізованої системи спостереження, яка включатиме державні стаціонарні пости, мобільні лабораторії та мережі низьковартісних сенсорів. Підкреслено, що належний рівень моніторингу є базою для ухвалення ефективних управлінських рішень та для інформування населення про реальний стан якості повітря.

Таким чином, у третьому розділі запропоновано комплексну модель екологічного управління, що ґрунтується на адаптації кращих європейських практик до українських умов. Зроблено висновок, що її впровадження дозволить підвищити ефективність боротьби із забрудненням атмосферного повітря, мінімізувати техногенні ризики та сприяти покращенню екологічної безпеки в регіонах. Результати аналізу та розроблені рекомендації формують наукове підґрунтя для подальшого вдосконалення державної екологічної політики України.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі здійснено комплексне дослідження проблеми регіонального забруднення атмосферного повітря в Україні в умовах воєнного та післявоєнного розвитку, що є однією з ключових складових екологічної та національної безпеки держави. У ході виконання роботи досягнуто поставленої мети та розв'язано визначені завдання, що дозволило отримати низку теоретичних і прикладних результатів.

У першому розділі роботи узагальнено сучасні теоретичні та методологічні підходи до дослідження забруднення атмосферного повітря. Встановлено, що атмосферне повітря залишається одним із найбільш уразливих компонентів довкілля, особливо в умовах високої концентрації промислових об'єктів та інтенсивного розвитку транспорту. Проаналізовано основні джерела й види забруднюючих речовин, а також доведено, що воєнні дії суттєво посилюють антропогенний тиск на атмосферне повітря через вибухи, пожежі, руйнування промислових і енергетичних об'єктів та порушення функціонування систем екологічного моніторингу.

У другому розділі здійснено аналіз сучасного стану атмосферного повітря в регіонах України на основі офіційних статистичних даних, матеріалів державного моніторингу та екологічних паспортів областей. Виявлено значну регіональну диференціацію рівнів забруднення атмосферного повітря, що зумовлена особливостями територіального розміщення промисловості, енергетики та транспортної інфраструктури. Встановлено, що найбільше техногенне навантаження характерне для промислово розвинених регіонів, тоді як у ряді областей спостерігається відносно низький рівень викидів.

З використанням методів статистичного, кореляційного та регресійного аналізу підтверджено наявність взаємозв'язку між рівнем економічного розвитку регіонів та обсягами викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Застосування елементів просторової візуалізації дозволило наочно відобразити територіальні відмінності забруднення та виокремити регіони з

підвищеним екологічним ризиком, що потребують першочергового впровадження природоохоронних заходів.

У третьому розділі узагальнено досвід країн Європейського Союзу щодо зменшення забруднення атмосферного повітря та доведено доцільність його адаптації до українських реалій з урахуванням соціально-економічних та воєнних чинників. Обґрунтовано комплекс заходів зі зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря, який включає технологічні, організаційні та управлінські інструменти екологічної політики.

Розроблено регіонально орієнтований пілотний проєкт зі зниження забруднення атмосферного повітря на прикладі Дніпропетровської області, що є одним із найбільш промислово навантажених регіонів України. Запропонований проєкт спрямований на модернізацію джерел викидів, удосконалення систем екологічного моніторингу та підвищення ефективності управління якістю атмосферного повітря, що в перспективі сприятиме зниженню екологічних ризиків і покращенню умов життя населення.

Отримані результати підтверджують, що зменшення регіонального забруднення атмосферного повітря в Україні потребує комплексного підходу, який поєднує науково обґрунтований аналіз, регіональну адаптацію природоохоронних заходів та впровадження європейських екологічних практик.

Матеріали та висновки роботи можуть бути використані в діяльності органів державної влади та місцевого самоврядування при розробленні регіональних програм охорони атмосферного повітря, а також у навчальному процесі закладів вищої освіти екологічного спрямування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петрик І.В., Мітюшкіна Х.С., Сердюк, С.А. (2025). Забруднення повітря території в Україні та його зв'язок з регіональним економічним розвитком. Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія Економічні науки, 27 (106), 63-69. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-e10611>
2. Пастернак О.М., Данилова С.В. Порівняльний аналіз даних систем моніторингу атмосферного повітря. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Екологія». 2021. №4. С. 20-30. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-02>
3. Белоконь К.В., Пірогова І.М. Аналіз та оцінка рівня забруднення атмосферного повітря в м. Запоріжжя. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету. 2021. №38. С. 149-158. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.38.2021.18>
4. Рубцова І. Поняття й особливості детермінанти «охорона атмосферного повітря». Науковий журнал «Підприємництво, господарство і право». 2021. №6. С. 107-110. DOI <https://doi.org/10.32849/2663-5313/2021.6.17>
5. Енциклопедія сучасної України. URL: <https://esu.com.ua/article-44608>
6. Закон України «Про охорону атмосферного повітря». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>
7. Словник. Портал української мови та культури. URL: <https://slovnyk.ua/index.php>
8. Фармацевтична енциклопедія. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/14974/vazhki-metali>
9. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97#Text>
10. Екологічний паспорт Вінницької області за 2023 рік. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>

11. Вінницький обласний центр контролю та профілактики хвороб. URL:
<https://vn.cdc.gov.ua/>
12. Екологічний паспорт Закарпатської області за 2023 рік. URL:
<https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>
13. Екологічний паспорт Запорізької області за 2023 рік. URL:
<https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>
14. Екологічний паспорт Івано-Франківської області за 2023 рік. URL:
<https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>
15. Екологічний паспорт Кіровоградської області за 2023 рік. URL:
<https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>
16. Екологічний паспорт Волинської області за 2023 рік. URL:
<https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>
17. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2023 рік. URL:
<https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>
18. Екологічний паспорт Донецької області за 2023 рік. URL:
<https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>
19. Екологічний паспорт Житомирської області за 2023 рік. URL:
<https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>
20. Екологічний паспорт Черкаської області за 2023 рік. URL:
<https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>

21. Екологічний паспорт Херсонської області за 2023 рік. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichni-pasporty/>
22. Екологічна безпека в умовах сталого розвитку: кол. монографія / Х. С. Мітюшкіна, О. М. Пастернак, В. В. Іванова, І. В. Петрик та ін.; за заг. ред. Х. С. Мітюшкіної. Київ: МДУ, 2024. 206 с.
23. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А., Суха Н. О. Комплексна оцінка забруднення атмосферного повітря в місті Миколаєві. *Екологічні науки*. 2018. №4(23). С. 19-23.
24. Біляєв М. М., Берлов О. В., Козачина В. І. Аналіз динаміки забруднення атмосферного повітря методом чисельного моделювання. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. №6. С. 21-27.
25. Панчишин Т. В., Вдовин М. Л. Компоненти сталого розвитку територіальних громад та регіонів в умовах суспільно-політичних викликів. *Економіка та суспільство*. 2023. №50. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2379/2300>
26. Боднар К. В. Механізм державного управління сталим розвитком регіонів. *Державне будівництво*. 2023. №2(34). С. 150-161.
27. Порудєєва Т. В., Міхневич В. О., Єдина Ю. Г. Стратегічні цілі забезпечення сталого розвитку регіону. *Економіка і суспільство*. 2018. №19. С. 785-790. URL: https://economyandsociety.in.ua/journals/19_ukr/119.pdf
28. Держстат. URL: <https://stat.gov.ua/uk>
29. World Bank Group. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.GHG.CO2.MT.CE.AR5>
30. Unctad. URL: <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US.GDPTotal>
31. Міністерство енергетики України. URL: <https://mev.gov.ua/sites/default/files/field/pdf/>

32. Петрик І.В., Горобець Т.О., Даценко М.Д., Особливості місцевого економічного розвитку об'єднаних територіальних громад. Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво, 2022 р., № 1 (124) С.41-45. DOI: <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2022-1-6>

33. Diatlova V., Diatlova Yu., Petryk I., Yuliia Hutareva, Tetyana Zubro, Olena Tyshchenko. Innovative development: model and evaluation method in the context of integration processes. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*. 2021. Vol. 43. No. 1. 161-171 pp. DOI: <https://doi.org/10.15544/mts.2021.14>

34. Diatlova V., Petryk I. Sustainable development: methodical approaches and key indicators of assessment. Determinants of sustainable economic development: an international collective monograph. Kyiv: Interservice, pp. 160-170.

35. Mitiushkina, K., Pasternak, O., Ivanova, V., & Petryk, I. (2024). Environmental security in the national security system: Ukraine. *Transformations, challenges and security: collective monograph*. Transformations, challenges and security: collective monograph / ed. Ž. Simanavičienė; Mykolas Romeris University. Vilnius, 2024. 184–210 pp.

36. Пастернак О. М., Мітюшкіна Х. С., Лазаренко Д. Т. Економічне зростання та стан довкілля України в умовах реалізації стратегії низьковуглецевого розвитку. Вісник Маріупольського державного університету. Серія Економіка. 2019. №18. С. 71-78.

37. Чому природа стає жертвами війни? Інститут аналітики та адвокації. URL: <https://iaa.org.ua/>

38. Міністерство довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/>

39. Grynychyshyn, N. 2023. Якість атмосферного повітря за вмістом твердих мікрочастинок (PM 2,5) у містах України в умовах карантину та воєнного стану. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 27, (Чер 2023), 6-15. DOI:<https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.01>.

40. Омельченко О. І. Забруднення або інша зміна природних властивостей атмосферного повітря у системі ознак об'єктивної сторони кримінального правопорушення, передбаченого ст. 241 Кримінального кодексу України. Вісник Одеського національного університету. Серія: Правознавство. Том 26. Випуск 2(39). 2024. С. 31-38. DOI: [https://doi.org/10.32782/2304-1587/2024-26-2\(39\)-5](https://doi.org/10.32782/2304-1587/2024-26-2(39)-5)

41. Петрик І.В. Словник-довідник сучасних екологічних та природоохоронних термінів / І. В. Петрик. - Київ : МДУ, 2025. - 119 с.

42. European Environment Agency (EEA). URL: <https://www.eea.europa.eu/en>

43. Петрик І.В. Відновлювана енергетика як драйвер зеленої трансформації: просторово-часовий аналіз країн ЄС та України. Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. 2025. №3(137). С. 20-25. DOI: <https://doi.org/10.32782/1814-1161/2025-3-3>

44. Дятлова В.В., Петрик І.В. Сучасні підходи до розвитку відновлювальної енергетики як складової інноваційної економіки України. Економіка та організація управління. 2019. №2(34). С. 20-27. DOI: <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2019.2.2>

45. Diatlova, V., Petryk, I. (2019). Strategic approach to renewable energy development: EU experience. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Economic sciences. Vol.2(35): 9-19. DOI: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2019.2\(35\).9-19](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2019.2(35).9-19)

46. Petryk I., Diatlova, V. (2019). National innovative system: modern scientific approaches to its formation. International Journal of New Economics, Public Administration and Law. 2019. № 2(4). С. 28-37.

47. Петрик, І. В. Інноваційна діяльність в Україні: сучасні тенденції, проблеми, заходи з активізації. *Молодий вчений*. № 4 (2). 2019. С. 510-516.

48. Air Quality Index. URL: <https://waqi.info/>

49. OECD. Air pollution. URL: <https://www.oecd.org/en/topics/air-pollution.html>

50. Our World in Data. Air Pollution. URL: <https://ourworldindata.org/air-pollution>
51. Clean Air Fund. Facts and Stats on Air Pollution. URL: <https://www.cleanairfund.org/theme/facts-and-stats/>
52. The EU Ambient Air Quality Directives. URL: <https://www.airclim.org/working-areas/air-pollution/policy-initiatives/eu-air-pollution-policy/eu-ambient-air-quality>
53. United Nations. EU: air pollution remains a major health risk. URL: <https://unric.org/en/eu-air-pollution-remains-a-major-health-risk/>
54. The Guardian. Revealed: almost everyone in Europe is breathing toxic air. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2023/sep/20/revealed-almost-everyone-in-europe-breathing-toxic-air>
55. World Health Organization. Air Quality Euro. URL: https://www.who.int/europe/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
56. Diatlova, V., and I. Petryk. Сучасні підходи до розвитку відновлювальної енергетики як складової інноваційної економіки України. *Економіка і організація управління*. №2 (34). 2019. С 20-27.