

СТАЛИЙ РОЗВИТОК РЕГІОНУ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ЕКОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ)

РИГАЙЛО Святослава Яківна

провідний інженер

Західного наукового центру НАН України і МОН України

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-0871-8351>

Анотація. У статті проаналізовано структуру та територіальні особливості викидів основних забруднювачів повітря (SO_2 , NO , NO_2 , CO та тверді частинки) в Україні з акцентом на західний регіон. Встановлено, що внесок різних галузей економіки у формування забруднення є неоднаковим, а рівні екологічного навантаження значно відрізняються між областями та змінюються у часі. Результати підкреслюють важливість інтегрованого управління викидами, модернізації промислових підприємств та теплових установок, розвитку відновлюваної та водневої енергетики, а також удосконалення ГІС-систем моніторингу для забезпечення сталого розвитку та екологічної безпеки.

Ключові слова: *атмосферне забруднення, екологічне навантаження на економіку, галузева структура викидів, кореляційний аналіз, західний регіон України, сталий розвиток.*

Постановка проблеми. В умовах реалізації концепції сталого розвитку особливої актуальності набуває проблема зменшення забруднення атмосферного повітря як одного з ключових чинників екологічної безпеки та якості життя населення. Інтенсивний розвиток промисловості, енергетики та транспорту супроводжується зростанням обсягів викидів забруднюючих речовин, що негативно впливає на екосистеми та здоров'я людей.

Досягнення цілей сталого розвитку передбачає збалансування економічного зростання, соціального добробуту та збереження довкілля. Проте значна регіональна диференціація обсягів викидів свідчить про нерівномірність екологічного навантаження та недостатню ефективність природоохоронних механізмів на окремих територіях. Це ускладнює формування єдиної екологічної політики та потребує глибшого наукового обґрунтування управлінських рішень.

У зв'язку з цим актуалізується необхідність комплексного аналізу обсягів і структури викидів відповідно до джерел забруднення атмосферного повітря в розрізі регіонів, фіксацію їх впливу на екологічну складову сталого розвитку та визначення пріоритетних напрямків зниження техногенного навантаження з метою забезпечення екологічної рівноваги у довгостроковій перспективі розвитку територій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблеми забруднення атмосферного повітря та його впливу на сталий розвиток досліджуються вітчизняними науковцями, зокрема В. Шевчуком, Л. Мельник, О. Теліжко, А. Мельник та Ю. Коновалюком. Значна увага приділяється модернізації промислових підприємств, впровадженню відновлюваної та водневої енергетики, а також удосконаленню систем

моніторингу якості повітря. Водночас сучасна література недостатньо висвітлює комплексний аналіз регіональної диференціації викидів, особливо у західних областях України. Це створює нагальну потребу у дослідженнях, спрямованих на оцінку екологічного навантаження та розробку регіонально орієнтованих стратегій сталого розвитку.

Мета статті – дослідити структуру та територіальні особливості викидів основних забруднювачів повітря (SO_2 , NO , NO_2 , CO та тверді частинки) в Україні з акцентом на західний регіон.

Виклад основних результатів. Сталий розвиток неможливий без контролю за якістю атмосферного повітря, оскільки забруднення впливає на здоров'я людей, біорізноманіття та економічний потенціал регіонів. Забезпечення зростання економіки має поєднуватися із збереженням довкілля, раціональним використанням ресурсів та мінімізацією шкідливого впливу на екосистеми. Рівень забруднення формують різні галузі економіки – енергетика, переробна промисловість і будівництво тощо – кожна різною мірою. Актуальність дослідження зумовлена потребою оцінити територіальну та галузеву структуру основних забруднювачів атмосферного повітря в Україні, зокрема у її західному регіоні.

В Україні структура викидів шкідливих речовин значною мірою залежить від джерела забруднення. У 2024 р. найбільший обсяг викидів припадає на діоксид сірки (2568885,3 т [1], табл. 1), що переважно зумовлено спалюванням викопного палива. Основна частка цих викидів сформувалась в енергетичному секторі (88,8%). Значно менший внесок мають процеси спалювання в переробній промисловості і будівництві (6,82%), а також у малих установках (близько 1%). Таким чином, емісії SO_2 майже повністю припадають на енергетичний сектор.

Таблиця 1

Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від джерел забруднення в Україні (2024 р.)

Джерела		Діоксид сірки, т		Діоксид азоту, т		Оксид вуглецю, т	
процеси спалювання	в енергетичних галузях промисловості	228114,4	88,8%	49054,5	59,21%	14182,9	6,44%
	в переробній промисловості та будівництві	17507,0	6,82%	11651,4	14,06%	148635,8	67,47%
	в малих установках	2523,0	0,98%	7163,2	8,64%	15604,9	7,08%
виробництво цементу		1253,4	0,49%	4931,6	5,95%	4981,1	2,26%
виробництво чавуну і сталі		1398,8	0,54%	2138,0	2,58%	8061,3	3,66%
паперово-целюлозна промисловість		1551,8	0,60%	244,4	0,29%	774,2	0,35%
харчова промисловість		766,3	0,30%	804,2	0,97%	7562,0	3,43%
решта		3770,3	1,47%	6878,7	8,3%	20493,0	9,31
Україна		256885,3	100%	82866	100%	220295,4	100%

Джерело: Розраховано автором на основі [1].

Викиди діоксиду азоту демонструють диференційовану структуру з урахуванням типу джерел забруднення. На енергетичний сектор припадає близько 60 % загального обсягу викидів NO_2 . У процесах спалювання в переробній промисловості формується близько 14 % емісій, у малих установках – 8,6 %, а на виробництво цементу – приблизно

6 %. Тобто, хоча енергетичний сектор формує основну частину NO₂ припадає на енергетичний сектор, сумарний внесок інших галузей перевищує 40 %.

Серед основних атмосферних забруднювачів оксид вуглецю вирізняється найбільш різномірною структурою джерел його формування. Переважна частка його емісій припадає на переробну промисловість та будівництво – 148635,8 т (67,47%). Частка малих установок становить 7,08%, енергетики – 6,44%, виробництва чавуну і сталі – 3,66%. Отже, СО утворюється в переробній промисловості, що зумовлено особливостями технологічних процесів і неповним окисленням палива.

Аналіз викидів забруднюючих речовин у західних областях України відповідно до макрорегіональних досліджень, які проводяться в Західному науковому центрі НАН України і МОН України (Волинська, Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька та Чернівецька областях) у 2024 році свідчить про суттєву диференціацію як за абсолютними, так і за відносними показниками. Сукупний обсяг викидів у регіоні становить 145669,0 т, що складає близько 23,6% тоді як частка території регіону становить 21,6% площі країни.

Найбільші абсолютні обсяги викидів у 2024 р. зафіксовано в Івано-Франківській області (92862,8 т [1]), що суттєво перевищує показники інших областей регіону та формує основну частку сумарного обсягу. Варто зауважити, що понад 85% цих викидів формують два підприємства, розташовані на території Бурштинської громади, майже 6% забруднення фіксують на території Калуського району, і лише менше 0,5% – в гірській частині Івано-Франківської області. Відтак, гірські райони Івано-Франківської області (455,9 т [2]) зазнають мінімального антропогенного впливу і безпечні для проведення рекреаційної та реабілітаційної діяльності.

Значні показники також характерні для Львівської (19504,0 т) та Хмельницької (15084,4 т) областей. Найменші обсяги зафіксовані в Чернівецькій (1127,4 т) та Закарпатській (1083,9 т) областях.

Аналіз інтенсивності викидів на одиницю площі (табл. 2) демонструє значну територіальну концентрацію забруднення в Івано-Франківській області (10,18 т/км²), що у декілька разів перевищує середній рівень по регіону (1,58 т/км²). Для більшості інших областей цей показник не перевищує 1 т/км², а найнижчі значення характерні для Закарпатської (0,16 т/км²) та Чернівецької (0,12 т/км²) областей.

Показник викидів у розрахунку на 1000 осіб також виявляє істотну нерівномірність. Найвище навантаження спостерігається в Івано-Франківській області (104,13 т/1000 осіб), тоді як у Закарпатській та Чернівецькій областях воно не перевищує 1,63 та 1,07 т/1000 осіб відповідно. Враховуючи скорочення чисельності населення України з близько 41 млн осіб у 2021 році до орієнтовно 33,3 млн у 2024 році [3], питомі показники мають тенденцію до зростання навіть за умов стабілізації абсолютних обсягів викидів.

Таблиця 2

Питомі викиди забруднюючих речовин

Область	площа, км ²	к-сть населення, млн осіб	ВРП, млн грн	загальні викиди, т	на одиницю площі, т/км ²	на к-ть населення, т/1000 ос.	н ВРП, т/млн грн
Волинська	20144	1,027	92,5	3754,7	0,1864	3,655	40,59
Закарпатська	12753	1,250	75,6	2043,4	0,1602	1,634	27,03
Ів.-Франківська	13927	1,361	119,7	141723,3	10,1761	104,131	1183,98
Львівська	21833	2,497	296,2	31403,4	1,4383	12,576	106,02

Рівненська	20051	1,148	88,9	6676,1	0,3329	5,815	75,09
Тернопільська	13824	1,030	81,5	4182,4	0,3025	4,060	51,32
Хмельницька	20629	1,243	119,9	16806,1	0,8146	13,520	140,17
Чернівецька	8097	0,896	54,6	958,6	0,1184	1,069	17,56
Регіон	131258	10,452	928,9	207548,1	1,5812	13,937	223,43

Джерело: Розраховано автором на основі [1].

*Примітка: ВРП – валовий регіональний продукт (враховано крайні дані Держстату України); до загальних викидів віднесено оксид вуглецю (CO), оксид азоту (NO), діоксид азоту (NO₂), діоксид сірки (SO₂) та тверді частинки (Тч).

Оцінка екологічної інтенсивності економіки (викиди на 1 млн грн валового регіонального продукту (ВРП) показує значні відмінності між областями. Найвищий показник знову ж таки характерний для Івано-Франківської області (1183,98 т/млн грн), що свідчить про високу частку екологічно небезпечних виробництв у структурі регіональної економіки. Відносно низькі значення зафіксовано в Закарпатській (27,03 т/млн грн) та Чернівецькій (17,56 т/млн грн) областях, що може вказувати на менш енерго- та ресурсоємну структуру господарства.

Для оцінки територіальної концентрації забруднення розраховано інтегральний індекс екологічного навантаження за (1) в часовій ретроспективі (рис. 1).

$$I_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^m x_{ij}}, \quad (1)$$

де I_j – інтегральний індекс екологічного навантаження для j -ї області;

x_{ij} – значення i -го забруднювача для j -ї області;

m – кількість областей ($m=8$), n – кількість досліджуваних забруднювачів ($n=5$).

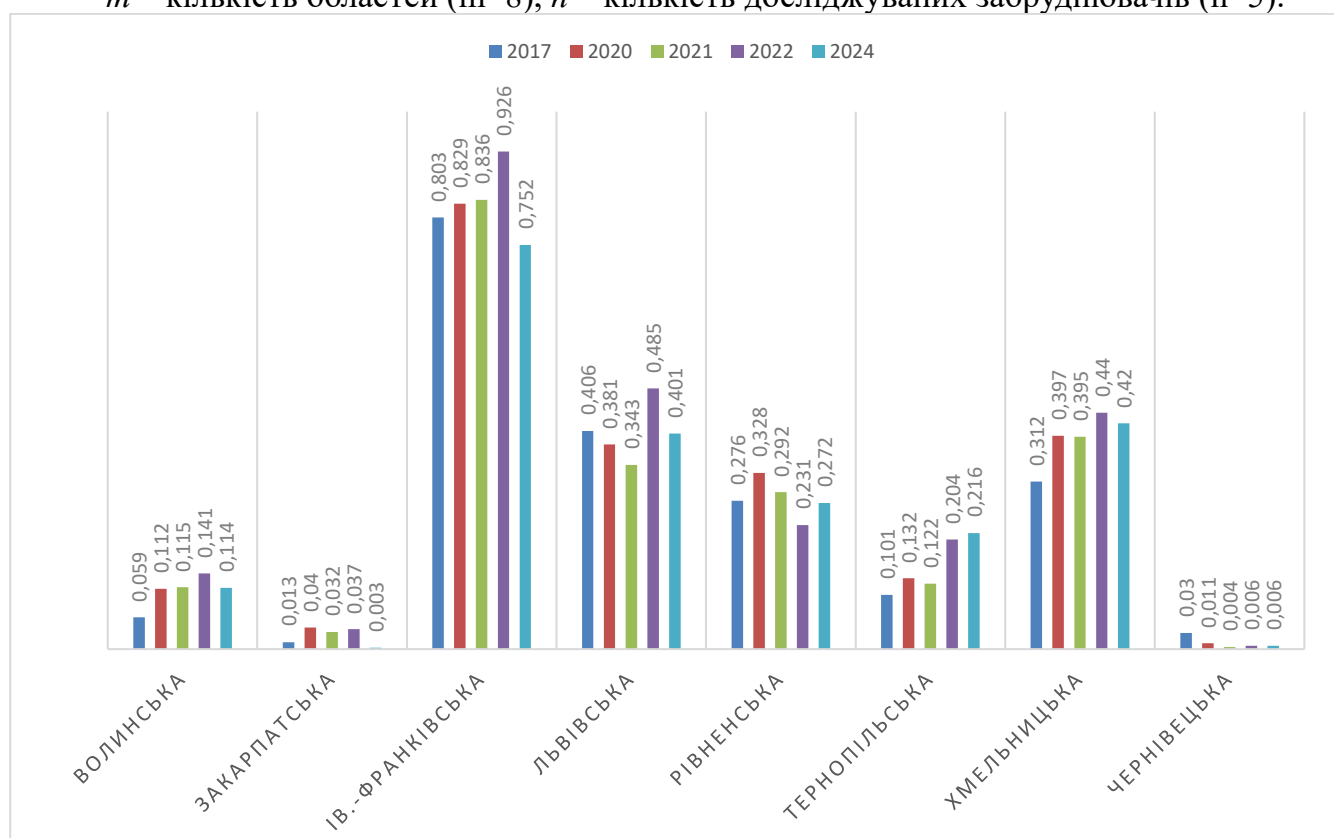


Рис. 1. Індекс екологічного навантаження в часовій ретроспективі по областях регіону.

Джерело: Розроблено автором на основі [1].

Інтегральний індекс екологічного навантаження відображає загальний рівень екологічного навантаження, дозволяючи порівняти області між собою та відстежити тенденції зміни навантаження у часовій ретроспективі. Його значення лежить у межах $0 < I_j < 1$. Аналіз даних свідчить про суттєву регіональну диференціацію рівнів показника та нерівномірність його змін у часі. Результати демонструють різко виражену асиметрію розподілу навантаження, що створює локальні зони екологічного ризику.

Найвищі значення індексу екологічного навантаження протягом усього періоду спостереження має Івано-Франківська область. Показник зростав до 2022 року (пік – близько 0,926), після чого у 2024 році знизився. Львівська та Хмельницька області демонструють середньо-високі значення (на рівні 0,4), причому після спаду у 2021 році відбулося зростання у 2022 та відносна стабілізація у 2024 році. Рівненська область характеризується коливаннями значення індексу (зростання у 2020 році, спад у 2022 та часткове відновлення у 2024 р). Тернопільська область демонструє поступове зростання протягом усього періоду, досягаючи найвищого значення у 2024 році. Чернівецька та Закарпатська області характеризуються мінімальними значеннями та тенденцією до поступового зниження.

Для оцінки взаємозв'язків між основними атмосферними забруднювачами у західному регіоні України у 2024 році було проведено розрахунок коефіцієнтів кореляції Пірсона (для $n = 8$ областей регіону) за формулою (2):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)(y_i - Y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - Y)^2}}, \quad (2)$$

де r_{xy} – коефіцієнт кореляції між забруднювачами x та y ;

x_i, y_i – значення відповідних забруднювачів в i -й області;

X, Y – середнє арифметичне значення відповідного забруднювача по областях регіону.

Результати представлені у вигляді матриці кореляцій (табл. 3). Отримані дані свідчать про наявність сильних та помірних кореляцій між деякими забруднювачами.

Таблиця 3

Матриця кореляційних зв'язків між забруднювачами по західному регіону України (2024 р.)

забруднювачі	SO ₂	CO	NO	NO ₂	Тч
SO ₂	1	0,01	0,51	0,94	0,44
CO	0,01	1	-0,20	0,22	0,72
NO	0,51	-0,20	1	0,63	-0,07
NO ₂	0,94	0,22	0,63	1	0,55
Тч	0,44	0,72	-0,07	0,55	1

Джерело: Розроблено автором на основі [1].

Найвища позитивна кореляція спостерігається між SO₂ та NO₂ ($r = 0,94$), що вказує на ймовірне спільне джерело цих газів, зокрема промислові підприємства та теплоелектростанції. Значна позитивна залежність між CO та твердими частинками (Тч) ($r = 0,72$), що вказує про спільне утворення в процесах неповного згоряння палива. Помірна кореляція між NO та NO₂ ($r = 0,63$) підтверджує їх спільне формування в процесах горіння. Суттєві кореляційні зв'язки спостерігаються між NO₂ та Тч ($r = 0,55$), NO та SO₂ ($r = 0,51$), а також SO₂ та Тч ($r = 0,44$), що вказують на технологічно пов'язані процеси спалювання палива та стаціонарний характер промислових джерел цих забруднювачів. Водночас відсутні статистично значущі зв'язки між CO та SO₂, NO та Тч, а також CO та NO свідчить про можливу різномірність джерел їх утворення або територіальні особливості розподілу викидів.

Встановлені кореляційні зв'язки між різними забруднювачами дозволяють не лише відобразити технологічні особливості джерел викидів, а й визначити характер їхнього впливу на довкілля та здоров'я людини.

Підвищені концентрації діоксиду сірки збільшують ризик утворення кислотних опадів і зменшують біорізноманіття [4]. Оксиди азоту сприяють утворенню приземного озону та фотохімічного смогу [5], який особливо помітний у великих містах у сонячну погоду. Тверді частинки осідають на листках рослин, порушують фотосинтез і сприяють накопиченню токсичних сполук у біосфері [6]. Нітрати та сульфати, що утворюються в атмосфері внаслідок хімічних реакцій, разом із опадами потрапляють у водойми, змінюючи хімічний склад води та стан водних екосистем [7].

Комплексний вплив атмосферних забруднювачів охоплює не лише екологічні, а й медико-біологічні аспекти. Забруднення атмосферного повітря є одним із ключових чинників екологічного ризику, що впливає на здоров'я населення, погіршуючи роботу дихальної та серцево-судинної систем, знижуючи загальний фізіологічний стан та імунний захист організму.

Важливим напрямом є модернізація промислових підприємств і теплоелектростанцій, яка передбачає встановлення сучасних газоочисних установок (електрофільтрів, скрубєрів), впровадження технологій десульфуризації димових газів для зменшення викидів SO_2 [8], застосування каталізаторів для зменшення викидів NO та NO_2 [9]. Перехід від вугілля до природного газу й відновлюваних джерел енергії – сонячних і вітрових електростанцій [10], а також розвиток водневої енергетики [11] сприятиме скороченню загального рівня викидів за рахунок зменшення обсягів спалювання викопного палива, що призводить до зниження концентрації SO_2 , NO_2 і твердих частинок.

Окремо слід виділити завдання вдосконалення системи моніторингу якості повітря: розробленню ГІС-систем спостереження за якістю повітря [12], розширенню мережі станцій спостереження, забезпеченню відкритого доступу населення до екологічної інформації та імплементації рекомендацій ВООЗ щодо гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин.

Висновки. Структура викидів забруднюючих речовин в Україні у 2024 році значно відрізняється залежно від типу джерела забруднення. Найбільші обсяги викидів спостерігалися для діоксиду сірки (SO_2), що переважно зумовлено спалюванням викопного палива в енергетичному секторі. Викиди діоксиду азоту (NO_2) характеризуються більш диференційованим розподілом і формуються за рахунок внеску переробної промисловості, малих локальних установок та виробництва цементу. Концентрації оксиду вуглецю (CO) переважно обумовлені технологічними процесами в переробній промисловості та будівництві, зокрема через неповне згорання палива, що відображає специфіку цих виробничих процесів.

Аналіз виявив значну територіальну диференціацію екологічного навантаження у західних областях України. Найвищі рівні викидів зафіксовані в Івано-Франківській області, тоді як Закарпатська та Чернівецька області характеризуються відносно низьким рівнем забруднення. Оцінка питомих показників викидів на одиницю площі, на 1000 осіб та на 1 млн грн ВРП підтверджує нерівномірний розподіл екологічного навантаження, що підкреслює необхідність врахування територіальних та економічних факторів при формуванні регіональної екологічної політики.

Отримані результати дозволяють визначити пріоритетні напрямки скорочення викидів та розробляти ефективні стратегії сталого розвитку, які враховують як екологічну безпеку, так і економічну ефективність регіонів.

Список використаної літератури.

1. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря : офіц. сайт. Державна служба статистики України. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzap_u.htm
2. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами : офіц. сайт. Головне управління статистики в Івано-Франківській області. URL: <https://www.ifstat.gov.ua>
3. МВФ оцінив кількість населення України. РБК-Україна. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/mvf-otsiniv-kilkist-naselennya-ukrayini-ta-1713333704.html>
4. Shandookh F. K. Harmful environmental effects of acid rain from sulfur compounds: a comprehensive scientific review. *European Journal of Ecology, Biology and Agriculture*. 2025. Vol. 2, No. 4. P. 115–128.
5. Donzelli G., Suarez-Varela M. M. Tropospheric ozone: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects. *Atmosphere*. 2024. Vol. 15, No. 7. Article 779.
6. Bui H. T. et al. Particulate matter accumulation and elemental composition of eight roadside plant species. *Urban Science*. 2023. Vol. 7, No. 2. Article 51.
7. Khilchevskiy V. K. et al. The chemical composition of precipitation in Ukraine and its potential impact on the environment and water bodies. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. Vol. 28, No. 1. URL: <https://geologydnu.dp.ua/index.php/GG/article/view/564>
8. Волчин І. А., Гапонич Л. С., Згоран І. П. Вибір технології десульфуризації димових газів для вугільних ТЕС України. *Наукові праці НУХТ*. 2018. Т. 24, № 4. С. 154–168.
9. Соловйов С. О. та ін. Розробка каталізаторів нейтралізації токсичних оксидів азоту у викидах виробництва азотної кислоти. *Наука та інновації*. 2019. Т. 15, № 1. С. 63–76.
10. Цапко-Піддубна О. І. Енергетичний перехід в умовах геополітичної нестабільності. *Економіка та суспільство*. 2022. № 43.
11. Проскура М. І., Білолипецька О. В., Бурмістров О. В. Воднева енергетика в Україні: передумови, можливості, перспективи. Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті : матеріали ХХ Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2019. С. 281–284.
12. Pandey M., Singh V., Vaishya R. Analysis and application of GIS-based air quality monitoring: state of the art. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2013. Vol. 2, No. 12.

Дата надходження статті: 28.02.2026

Дата прийняття статті: 13.03.2026

Дата публікації статті: 31.03.2026