

**Солод М.І.**

<https://orcid.org/0009-0006-1478-9382>

Національний університет «Львівська політехніка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ ПОВІТРЯ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВО-АНТРОПОГЕННИХ ВПЛИВІВ

У даній роботі розглянуто досвід Європейського Союзу стосовно дослідження повітряних мас на території ЄС, причин проникнення забруднювачів до повітряних ресурсів на територіях військових конфліктів, а також виконано порівняльні дослідження зразків повітря з територій України, що знаходяться неподалік території військових дій, та тих, які короткий час перебували під окупацією. Забруднення повітря внаслідок військових дій є катастрофічним, спричиняючи викиди мільйонів тон парникових газів та токсичних речовин. Основними джерелами є вибухи, пожежі на нафтобазах та промислових зонах, а також масове використання генераторів. Повітря забруднюється важкими металами та сажею, що має довгострокові наслідки для здоров'я населення. Саме забруднення повітря, спричинене військовою діяльністю, під час тестування апаратного забезпечення, сучасних систем озброєння, а також під час військових операцій, що включають інтенсивні бомбардування, потребує серйозного розгляду, щоб уникнути поступового деградування навколишнього середовища, зокрема якості повітря, що призводить до небезпеки для здоров'я та життя цивільного населення. В Україні під час війни можливо проводити такі дослідження лише поблизу районів активних бойових дій при відповідних напрямках вітру. Було проведено відбір проб повітря в місцевостях Харківської, Дніпропетровської та Київської областей, проведено їх дослідження в лабораторних умовах. Визначено незначне підвищення вмісту аерозолів, діоксиду азоту, оксиду вуглецю та оксиду сірки у деяких пробах областей, наближених до лінії бойових дій при напрямку вітру зі сходу та північного сходу, порівняно із пробами, відібраними у Київській області, в яких підвищення показників не спостерігалось. Екстраполюючи отримані дані, можна також припустити, що при наближенні до територій інтенсивних бойових дій концентрація небезпечних речовин в повітрі буде збільшуватись.

**Ключові слова:** військова діяльність, забруднення повітря, деградування навколишнього середовища, небезпека для здоров'я населення, порівняльні дослідження повітря.

**Постановка проблеми.** Забруднення повітря має стосуватися кожної людини. Аристотель вважав повітря одним із п'яти важливих елементів необхідних для життя на планеті. Протягом багатьох років відбулася серія конференцій на тему забруднення навколишнього середовища і, зокрема, забруднення повітря, стурбованих насамперед необхідністю офіційного контролю. Нещодавно завершилася Конференція ООН з навколишнього середовища людини, де забруднення повітря було визнано важливою темою [1]. Домовленості, досягнуті на кожній конференції, фіксуються у деклараціях. Однак, у декларації Стокгольмської конференції 1972 року не згадувалося про актуальність війни для забруднення навколишнього середовища, хоча в Принципі 6 є посилання на «... виділення тепла у такій кількості або концентрації, яка перевищить ємність навколишнього середовища...» [9, с.95].

У декларації Конференції в Ріо-де-Жанейро 1992 року в Принципі 24 згадувалося про війну

яка за своєю суттю є руйнівною для сталого розвитку і що держави, таким чином, повинні поважати міжнародне право, забезпечуючи захист навколишнього середовища під час збройного конфлікту [9]. Схоже, що занепокоєння щодо ситуації у середовищі внаслідок військових дій існує давно, хоча без конкретизації та планів, але немає ефективних дій. Необхідно створити документ, який би включав тему, якою, здається, часто нехтують, а саме, тему внеску військової діяльності в забруднення повітря, і, зокрема, значення виділення великої кількості тепла в атмосфері.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протягом історії, особливо під час збройних конфліктів, військові дії негативно впливали на навколишнє середовище. Застосування вибухових та хімічних речовин створює багатофакторну небезпеку через виділення в повітря мікрочасток та надмірного тепла, завдає великої екологічної шкоди і ставить під загрозу здоров'я населення. Повітряні маси здатні переносити аерозолі та



смог, що містять отруйні речовини, та посилюють вже існуючу вразливість середовища. Отже, вплив військових дій на повітряні маси ставить під загрозу середовище та цивільне населення не лише в місці безпосереднього застосування зброї, але й на значній відстані від нього. Над дослідженнями проблеми в історичному та сучасному аспектах працювали, зокрема, такі організації, як Всесвітня організація охорони здоров'я, Європейська агенція довкілля, світові науковці Н. Гіслоп, А. Горн, К. Дасгупта, Дж. Х. Зайнфілд, Р. Дж. Леві, Л. Мюррей, Д. Печевські, С. Пандіс, К. Протопсалтіс, Г. Хантрізер, К. Холман, Ю. Шуманн тощо, та українські науковці Ю. Байлюк, О. Бондар, Л. Воловик, Л. Горошкова, О. Наумовська, О. Рибалова, М. Сорока, І. Хондак, А. Чугай та інші досліджували важливість оцінювання впливу забруднень повітря внаслідок військових дій. Однак, європейські країни мають значний досвід у дослідженнях забруднень повітря та їхніх впливів на здоров'я громадян, отже варто його розглянути та дослідити як зразки повітря із звільнених територій та з областей, наближених до бойових дій, так і можливості застосування таких досліджень після звільнення територій України від окупації.

**Постановка завдання.** Мета дослідження – проаналізувати досвід Європейського Союзу стосовно досліджень впливу забруднень повітря внаслідок військових дій та здійснити аналіз повітря в регіонах України, звільнених від окупації та наближених до військових дій.

**Виклад основного матеріалу.** Вплив воєнної діяльності на навколишнє середовище, зокрема на забруднення повітря, починається з розробки та випробувань усіх аспектів, пов'язаних із військовою зброєю, технікою та озброєнням, а також необхідної підготовки щодо її використання. Між 1945 і 2009 роками ряд країн взялися за розробку ядерної зброї. Це включало понад 2000 випробувань протягом 64 років, і не можна сумніватися, що на якість повітря сильно вплинули як хімічні речовини, які викидалися в атмосферу, так і, що більш важливо, тепло, яке було додано до системи планети і повинно було вплинути на течії природного повітря над суходолом та морем, а також вплинуло на флору та фауну планети і на людей [2, с.126]. Артилерійські снаряди та бомби різного розміру, також хімічна зброя, постійно розробляються та випробовуються, ігноруючи обмеження, накладені на них міжнародною угодою для забезпечення захисту навколишнього середовища та якості повітря [9].

Планета Земля має довгу історію воєн, які вражають розвивалися протягом століть. У минулому воїн виходив з дому вранці, щоб піти воювати. Він знав, що якщо його не вб'ють або тяжко не поранять, він знову об'єднається зі своїми близь-

кими того ж вечора. Ситуація, однак, змінювалася з роками, деякі війни тривали десятиліттями. Інструменти війни постійно змінюються, переживаючи етапи розвитку, хоча тло воєн не змінилося.

Воїн минулого залежав від лісу для заготівлі деревини для виготовлення луків і стріл. Ліс ніс основний тягар війни, з дуже незначним впливом на якість повітря в навколишньому середовищі, хоча вогонь зрештою був доданий до арсеналу зброї, і це, мабуть, вплинуло на навколишнє середовище того часу. Безсумнівно, наслідки пожежі, спричинені природними явищами, такими як удари блискавки та виверження вулканів, були тоді більш вагомими [3].

Сьогодні війна зовсім інша. Зброя різноманітна та універсальна та може мати багаторазовий вплив, особливо на навколишнє середовище та якість повітря, яким дихають люди, до, під час і після кожної такої події, окрім знищення життя супротивників. Зараз можна спостерігати за військовими діями, слідкувати як вони відбуваються, хоча дуже мало, якщо взагалі, під час подій говорять про очікуваний вплив на тих людей, які перебувають на території військових операцій, а саме, цивільне населення, яке в майбутньому постраждає від спричиненого військовими подіями забруднення повітря [9].

Коли стріляє куля, людина відчуває шум і стає свідком можливого удару. Однак ця куля, швидше за все, викине в атмосферу крихітні частинки металу, включаючи, наприклад, свинець. Ці частинки дуже легкі і можуть в кінцевому підсумку осісти на будь-якій поверхні або можуть перенестись з повітрям, з яким вони змішалися, і стати постійним компонентом повітряної маси. У сучасній війні кулі вистрілюють мільйонами, отже їхній вплив на якість повітря є дуже серйозним. Далі за масштабом, вибухають ручні гранати, маленькі бомби, касетні бомби, великі бомби та ракети, які неодмінно додають небажані хімічні елементи у повітря [5, 8].

Забруднювачі повітря можна загалом розділити на дві категорії залежно від джерела: первинні забруднювачі повітря та вторинні забруднювачі повітря. Первинні забруднювачі повітря – це забруднювачі повітря, які безпосередньо потрапляють в атмосферу з таких джерел, як заводи, автомобілі тощо. Приклади включають чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), метан (CH<sub>4</sub>), леткі органічні сполуки (ЛОС), аміак (NH<sub>3</sub>), і діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), і оксид азоту (NO). Вторинні забруднювачі повітря – це забруднювачі повітря, які утворюються в атмосфері за допомогою серії хімічних реакцій. Приклади включають дисперсні частинки (ДЧ), озон (O<sub>3</sub>), азотну кислоту (HNO<sub>3</sub>), сульфат (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), сірчану кислоту (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Забруднювачі, такі як ДЧ і діоксид азоту (NO<sub>2</sub>), є як первинними, так і вторинними забруднювачами [4].

Оксид вуглецю – це збірна назва сполук вуглецю з киснем, найчастіше стосується смертельно небезпечного, безбарвного чадного газу (CO). CO повільно реагує з навколишнім повітрям з іншими хімічними сполуками, і залишається в атмосфері протягом тривалого часу, від 0,1 до 5 років [6].

$\text{NO}_x$  – це група сполук, яка є токсичною, подразнювальною та високореакційною з іншими молекулами, які існують в атмосфері. Оксид азоту (NO) і діоксид азоту ( $\text{NO}_2$ ) складають сімейство  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ). NO та  $\text{NO}_2$  обертаються між собою, коли озон присутній протягом хвилини через хімічну реакцію протягом дня. Наприклад, NO реагує на  $\text{O}_3$ , який створює  $\text{NO}_2$ .  $\text{NO}_2$  зазвичай використовується як індикатор  $\text{NO}_x$ , оскільки він викликає більше ускладнень для здоров'я, ніж NO. NO безбарвний, а діоксид азоту  $\text{NO}_2$  – це токсичний червоно-бурий газ із задушливим запахом, що утворюється при згорянні палива, подразнює дихальні шляхи та викликає набряк легень. У великих концентраціях стає сильною неорганічною отрутою [7, 15].

Утворення  $\text{O}_3$  тягне за собою розпад  $\text{NO}_2$  за допомогою ультрафіолетового світла, що дає NO та атом кисню (O).  $\text{O}_3$  утворюється після реакції атома кисню з атмосферним киснем ( $\text{O}_2$ ). Час життя  $\text{NO}_x$  коливається від годин до днів, і його час життя залежить від концентрації гідроксильного радикалу (OH) і швидкості фотолізу, оскільки утворення азотної кислоти ( $\text{HNO}_3$ ) через реакцію OH з  $\text{NO}_2$  є найпоширенішим механізмом видалення  $\text{NO}_x$  в атмосфері.

$\text{NO}_x$  переважно походять з антропогенних джерел і викидаються під час високотемпературного спалювання та, відповідно, мають вплив на екосистему.  $\text{NO}_x$  може перетворюватися на нітратні аерозолі в атмосфері за допомогою серії хімічних реакцій. Такий нітратний аерозоль збільшує поглинання аерозолем води та здатність аерозолу розсіювати світло, що створює туман, закриваючи чіткий вид на небо [12, с.16].  $\text{NO}_x$  є основним інгредієнтом фотохімічного смогу з ЛОС і сонячним світлом, що також знижує добробут людей. Як тільки  $\text{NO}_x$  викидається в атмосферу, він легко реагує з водою з утворенням азотної кислоти. Азотна кислота може змішуватися з водою та снігом у кислотний дощ для осадження. Трансформація  $\text{NO}_x$  у нітрат може викликати надмірне збагачення поживними речовинами у водному середовищі, яке відоме як «евтрофікація» [10, с.3850]. Коли надлишок поживних речовин доступний у водній системі, це викликає цвітіння рослин і водоростей і гіпоксію (тобто виснаження кисню), створюючи несприятливі умови життя для морських тварин.

Дисперсні частинки можуть утворювати такі атмосферні явища, як аерозолі, а саме, крихітні частинки, дисперговані/суспендовані в газопо-

дібному середовищі. Аерозольна частинка може складатися з однієї безперервної одиниці твердої або рідкої речовини, що містить багато молекул, що утримуються разом міжмолекулярними силами та є переважно більшими за молекулярні розміри ( $>0,001 \mu\text{m}$ ); частинка також може складатися з двох або більше таких одиничних структур, що утримуються разом міжчастинковими адгезивними силами, тож вона поводить себе як одна одиниця в суспензії або на осаді. Серпанок – це аерозоль, який зменшує видимість і може складатися з комбінації крапель води, забруднюючих речовин і пилу; діаметр частинок менше  $1 \mu\text{m}$  [11].

Термін «смог» походить від слів «дим» (англ. – smoke) та «туман» (англ. – fog) і застосовується до значного забруднення аерозолями; в сучасних умовах використовується вільно стосовно будь-якого забруднення повітря.

Оксиди сірки – це бінарні сполуки сірки з киснем, основними з яких є діоксид ( $\text{SO}_2$ , сірчистий газ) та триоксид ( $\text{SO}_3$ , сірчаний ангідрид).  $\text{SO}_2$  – токсичний, безбарвний газ із різким запахом, що використовується як консервант E220 у харчовій промисловості та при виробництві сульфатної кислоти, у високих концентраціях токсичний, викликає кашель, задуху та алергічні реакції. Є причиною утворення кислотних дощів [14].

$\text{SO}_3$  – це летка рідина, що утворюється при окисненні  $\text{SO}_2$  і реагує з водою з утворенням сульфатної кислоти. Оксиди сірки є небезпечними забруднювачами атмосфери, що утворюються переважно при згорянні мінерального палива та вулканічної діяльності [13].

В Україні під час війни можливо проводити такі дослідження лише поблизу районів активних бойових дій при відповідних напрямках вітру. Було проведено відбір проб повітря в місцевостях Харківської, Дніпропетровської та Київської областей, проведено їх дослідження в лабораторних умовах. Визначено незначне підвищення вмісту аерозолів, діоксиду азоту, оксиду вуглецю та оксиду сірки у деяких пробах областей, наближених до лінії бойових дій при напрямку вітру зі сходу та північного сходу, порівняно із пробами, відібраними у Київській області, в яких підвищення показників не спостерігалось. Результати досліджень представлені в таблицях.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень було виявлено, що повітря на територіях, розташованих неподалік активних бойових дій, зазнало суттєвих забруднень, зокрема аерозолями та діоксидом азоту при відповідних напрямках вітру. Населення цих територій потребує уваги щодо відновлення їхнього здоров'я. На інших досліджених ділянках суттєвого забруднення повітря, що перевищує рівень ГДК, не виявлено.

Таблиця 1

## Результати аналізу забруднень повітря у Харківській області

Місце відбору проби повітря	Харківська обл., Юліївське відділення з переробки газу		
Дата і час відбору	10.07.2025, 11.10-11.30		
Точка відбору проб	На висоті 1,5 м від поверхні землі		
Напрямок вітру	Північно-східний		
Швидкість вітру, м/сек	4,2		
Засоби вимірювання	Газоаналізатор "Аквілон", Електроаспіратор «АSА-2М»		
Назва досліджуваної речовини, інгредієнта	Результат дослідження концентрації в одиницях виміру		НТД на методи дослідження
	Виявлена	ГДК	
Недиферинційований за складом пил (Аерозоль)	0,86	<b>0,5</b>	РД 52.04.186-89
	0,78		
	0,66		
	0,77		
	0,69		
	Середнє значення		
Азоту діоксид	0,407	<b>0,5</b>	РД 52.04.186-89
	0,603		
	0,495		
	0,498		
	0,596		
	Середнє значення		
Вуглецю оксид	3,131	<b>5,0</b>	РД 52.04.186-89
	2,972		
	3,117		
	2,947		
	2,855		
	Середнє значення		
Оксид сірки	0,062	<b>0,085</b>	РД 52.04.186-89
	0,088		
	0,095		
	0,053		
	0,089		
	Середнє значення		

Таблиця 2

## Результати аналізу забруднень повітря у Дніпропетровській області

Місце відбору проби повітря	Дніпропетровська обл., м. Жовті Води, вул. Героїв України, 4		
Дата і час відбору	18.09.2025, 13.10-13.30		
Точка відбору проб	На висоті 1,5 м від поверхні землі		
Напрямок вітру	Південно-східний		
Швидкість вітру, м/сек	5,3		
Засоби вимірювання	Газоаналізатор "Аквілон", Електроаспіратор «АSА-2М», Аспіратор «Тайфун Р-20-2»		
Назва досліджуваної речовини, інгредієнта	Результат дослідження концентрації в одиницях виміру		НТД на методи дослідження
	Виявлена	ГДК	
Недиферинційований за складом пил (Аерозоль)	0,76	<b>0,5</b>	РД 52.04.186-89
	0,72		
	0,68		
	0,70		
	0,71		
	Середнє значення		

Продовження таблиці 2

Азоту діоксид	0,402	<b>0,5</b>	РД 52.04.186-89
	0,405		
	0,395		
	0,395		
	0,397		
Середнє значення	0,399		
Вуглецю оксид	3,211	<b>5,0</b>	РД 52.04.186-89
	3,187		
	3,190		
	3,222		
	3,210		
Середнє значення	3,204		
Оксид сірки	0,082	<b>0,085</b>	РД 52.04.186-89
	0,098		
	0,085		
	0,084		
	0,097		
Середнє значення	0,095		

Таблиця 3

**Результати аналізу забруднень повітря у Київській області**

Місце відбору проби повітря	<i>Київська обл., Бучанський р-н, с. Ворзель, вул. Лісова, 73</i>		
Дата і час відбору	18.11.2025, 13.10-13.30		
Точка відбору проб	На висоті 1,5 м від поверхні землі		
Напрямок вітру	Північно-Східний		
Швидкість вітру, м/сек	6,0		
Засоби вимірювання	<i>Газоаналізатор "Аквілон", Електроаспіратор «ASA-2М», Аспіратор «Тайфун Р-20-2»</i>		
Назва досліджуваної речовини, інгредієнта	Результат дослідження концентрації в одиницях виміру		НТД на методи дослідження
	Виявлена	ГДК	
<b>Недиферинційований за складом пил (Аерозоль)</b>	0,46	<b>0,5</b>	РД 52.04.186-89
	0,45		
	0,47		
	0,43		
	0,44		
Середнє значення	0,45		
Азоту діоксид	0,402	<b>0,5</b>	РД 52.04.186-89
	0,405		
	0,395		
	0,395		
	0,397		
Середнє значення	0,399		
Вуглецю оксид	3,210	<b>5,0</b>	РД 52.04.186-89
	3,185		
	3,190		
	3,220		
	3,211		
Середнє значення	3,203		
Оксид сірки	0,042	<b>0,085</b>	РД 52.04.186-89
	0,048		
	0,045		
	0,044		
	0,047		
Середнє значення	0,045		

## Список літератури:

1. EEA. Sources and emissions of air pollutants in Europe. 2022. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/sources-and-emissions-of-air>
2. Holman C. Sources of air pollution. *Air pollution and health* / Ed. by R. L. Maynard et. al. Academic Press, 1999. P.115-148.
3. Horn A. S., Dasgupta K. P. The Air Quality Index (AQI) in historical and analytical perspective. Tutorial review. University of Texas: Arlington, 2024. 53 p.
4. Hyslop N. P. Impaired Visibility: The Air Pollution People See. *Atmospheric Environment*. 2009. №43. Pp.182–195. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.067
5. IOM. Ukraine: IDP Estimates to 25 November 2022 [dataset]. Humanitarian Data Exchange, 2022. URL: <https://data.humdata.org/dataset/ukraine-idp-estimates>
6. Levy R. J. Carbon Monoxide Pollution and Neurodevelopment: A Public Health Concern. *Neurotoxicology and Teratology*. 2015. №49. Pp.31–40. DOI: 10.1016/j.ntt.2015.03.001
7. Murray L. T. Lightning NOx and Impacts on Air Quality. *Current Pollution Reports*. 2016. № 2(2). P.115–133. <https://doi.org/10.1007/s40726-016-0031-7>.
8. Pechevski D. The impacts of Ukraine's energy sector on air quality. CEE Bankwatch Network, 2020. URL: [https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2020/10/2020-10-19\\_Ukraine-air-quality-mapping\\_final2.pdf](https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2020/10/2020-10-19_Ukraine-air-quality-mapping_final2.pdf)
9. Protosaltis C. Air pollution caused by war activity. *WIT Transactions on Ecology and The Environment: Air Pollution XX*. 2012. №157. Pp. 93–98. WIT Press: Southampton, UK. <https://doi.org/10.2495/AIR120091>
10. Schumann U., Huntrieser H. The global lightning-induced nitrogen oxides source. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2007. №7. Pp.3823–3907, <https://doi.org/10.5194/acp-7-3823-2007>.
11. Seinfeld J. H., Pandis S. N. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, 2016. 1152 p.
12. *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere* / Ed. by R. Koppman. Germany: University of Wuppertal, 2008. 30 p.
13. WHO. *Air Quality Guidelines – Global Update 2005*. WHO: Geneva, Switzerland, 2005. 496 p.
14. WHO. *Ambient air pollution: Health impacts*. WHO: Geneva, Switzerland, 2018. URL: <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>
15. WHO. *Air Pollution*. World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2020. URL: [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)

### Solod M.I. THE RESEARCH ON AIR POLLUTION DUE TO MILITARY-ANTHROPOGENIC INFLUENCES

*This work examines the experience of the European Union regarding the study of air masses on the territory of the EU, the reasons for the penetration of pollutants into air resources in the territories of military conflicts, and also performs comparative studies of air samples from the territories of Ukraine located near the territory of military operations and those having been under occupation for a short time. Air pollution caused by military operations is catastrophic due to the emission of millions of tons of greenhouse gases and toxic substances. The main sources of it are explosions, fires at oil depots and industrial zones, as well as the mass use of generators. The air is polluted by heavy metals and soot, which has long-term consequences for public health. It is air pollution caused by military activities that, when testing hardware, modern weapons systems, as well as during military operations involving intensive bombing, needs serious consideration in order to avoid the gradual degradation of the environment, in particular, air quality, leading to threats to the health and life of the civilian population. In Ukraine during the war, it is possible to conduct such research only near areas of active hostilities at the appropriate wind directions. Air sampling was carried out in the areas of Kharkiv, Dnipropetrovsk and Kyiv regions, and their investigations were carried out under laboratory conditions. A slight increase in the content of aerosols, nitrogen dioxide, carbon monoxide and sulfur oxide was determined in some samples of areas close to the line of hostilities at the direction of the wind from the East and North-East, compared to samples taken in the Kyiv region, in which no increase in indicators was observed. Extrapolating from the obtained data, it can also be assumed that when approaching the territories of intensive hostilities, the concentration of dangerous substances in the air will increase.*

**Keywords:** military activities, air pollution, environmental degradation, public health hazards, comparative air research.

Дата першого надходження статті до видання: 12.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті 11.05.2026