

DOI 10.36074/logos-24.01.2025.041

ПОШУК ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ВОЄННИХ ДІЙ НА ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ

Навольнев Ігор Юрійович¹, Наталія Миколаївна Максимова²

1. аспірант гірничо-металургійного факультету
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», УКРАЇНА
ORCID ID: 0009-0002-0477-7522

2. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», УКРАЇНА
ORCID ID: 0000-0003-1684-7479

Починаючи з 2014 року воєнні дії, які відбувались в східній частині України, значно відображались на стані навколишнього середовища регіону. З початком повномасштабного вторгнення 2022 року – цей вплив став незмірно великим на території усієї України.

Шкода навколишньому середовищу під час воєнних дій – це й ненавмисний наслідок військової діяльності, так й результат втілення військової стратегії. Якщо в першому випадку, довкілля може зазнати побічної шкоди від військових дій, таких, наприклад, як обстріли, що призводять до лісових пожеж, то в іншому – це використання військовими тактики «випаленої землі», коли навмисно здійснюється вплив на навколишнє середовище, в тому числі на відповідні антропогенні об'єкти для досягнення максимально значущої руйнації й отриманні переваги на тій чи іншій ділянці фронту [1]. Але ж не зважаючи на те, чи є такий вплив ненавмисним або цілеспрямованим, результат єдиний – руйнація екосистеми, навіть до стану не відновлюваності.

Згідно з даними офіційного ресурсу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [2] збитки від дій країни-агресора на сьогоднішній день складають приблизно € 3,171 трлн грн.

В розрізі впливу на довкілля маємо наступне:

- атмосферне повітря, в т.ч. від лісових пожеж, горіння нафти та інших викидів забруднюючих речовин, зазнало шкоду на € 778,90 млрд;
- земельні ресурси зазнали забруднення на загальну суму € 1,19 трлн;
- водні ресурси – € 84,65 млрд.



섹션 17.

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

Станом на 2024 р. визначені наступні фактори значного впливу воєнних дій на атмосферне повітря [1]:

- бомбардування та обстріли: значне збільшення концентрацій дрібних твердих частинок [3]. Наприклад, 19.03.2022 року концентрація дрібних твердих частинок у Києві у 27,8 разів перевищувала норму ВООЗ;
- руйнування сховищ палива: на сьогоднішній день кількість згорівшого продукту складає 3,083 млн т, а викиди від цього – понад 10,8 млн т [2];
- атаки на промислові об'єкти: утворення та виток шкідливих сполук [4];
- руйнування будівель: токсичні залишки від вибухів, небезпечний пил та токсичні речовини, такі як лужний пил, частинки цементу, скло, азбест, свинець та інші важкі метали та органічні речовини, у тому числі ПАВ [5, 6];
- переміщення військової техніки: викиди продуктів згорання ДВЗ, пил;
- лісові пожежі: у 2022 році лісових пожеж сталося в 25 разів більше, ніж у 2021 році [7]. В лісових пожежах в Україні згоріло понад 86 770 га лісів і насаджень [2]. Дим від лісових пожеж містить дрібні та грубі тверді частинки, чадний газ, метан, оксиди азоту, ЛОС та багато інших токсичних речовин.

Зупинимось більш детально на погіршенні стану атмосферного повітря за рахунок використання та детонування різних видів боєприпасів, ракет тощо.

За даними [8] у сучасних твердопаливних двигунах частіше всього застосовують суміш перхлорату амонію з алюмінієм, каучуками та іншими присадками. Спалювання або утилізація підривом балістичного – твердого ракетного палива на основі нітрату целюлози та нітроефірних розчинників, що часто застосовується у ракетних двигунах військового призначення, супроводжується утворенням ряду токсичних компонентів: СО до 416,2 г/кг; С до 86,4 г/кг; Рb до 6,7 г/кг; РbО до 1,8 г/кг; NO до 161,6 г/кг; NO₂ до 2,9 г/кг; CH₄ до 55,0 мг/кг; NH₃ до 0,3 г/кг; HNO₂ до 0,4 г/кг; HCN до 5,2 г/кг. До цієї суміші додається суміш продуктів підриву ініціюючих вибухових речовин та самої вибухової речовини, яка може бути в тому числі ядерною, запальною, хімічного і бактеріологічного складу. Також токсичними є продукти горіння електроніки та інших компонентів, якими обладнані ракети.

У реальних умовах продукти вибуху ракети та її палива взаємодіють як між собою, так і з оточуючим середовищем, а тому кінцевий хімічний склад продуктів спрацювання ракети буде завжди різним, в залежності від умов, у яких відбувся вибух [8].

Повний перелік забруднюючих речовин представлений, наприклад, у розділі 15 «Підриг боєприпасів» Збірнику AP-42 «Компіляція коефіцієнтів викидів в атмосферу від стаціонарних джерел» Environmental Protection Agency. Цей Збірник публікується з 1972 року та містить коефіцієнти викидів й інформацію про процеси для понад 200 категорій джерел забруднення

повітря. Коефіцієнти викидів були розроблені та зібрані на основі даних вихідних випробувань, досліджень матеріального балансу та інженерних оцінок. Збірники AP-42 є національного рівня та не відображають позицій інших країн чи стандартів НАТО, а тому можуть бути і відмінними від них.

Загальне рівняння для оцінки викидів за Збірником [9]:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (1)$$

де:

E – викиди;

A – показник активності;

EF – коефіцієнт викидів;

ER – загальна ефективність скорочення викидів, %

Спираючись на вказаний Збірник в таблиці 1 наведемо відомості про викиди забруднюючих речовин від детонації деяких боєприпасів для яких відомі коефіцієнти викидів забруднювачів повітря [9] задля розуміння орієнтовного переліку полутантів атмосфери в Україні, оскільки склад забрудників варіює, в першу чергу, від виду зброї.

Таблиця 1

Вибірка зі зведення коефіцієнтів викидів CO₂, критеріальних забруднюючих речовин, тринатрійфосфату (TSP), токсичних хімічних речовин та небезпечних забруднюючих речовин (НЗР) в повітря (H557 – M72A3 66-мм осколково-фугасна протитанкова ракета (лише боєголовка)) (за даними EPA [9])

CAS #	Забруднювач (Офіційне [AP-42] позначення)	Забруднювач (Нотація тесту)	Коефіцієнт викидів		НЗР	Токсичність
			фунт/шт.	фунт/фунт		
Вуглекислий газ, критеріальні забруднюючі речовини та загальні завислі патикуляти						
124-38-9	Carbon dioxide	CO ₂	3.6E-01	5.3E-01	Hi	Hi
630-08-0	Carbon monoxide	CO	5.0E-02	7.3E-02	Hi	Hi
7439-92-1	Lead	Lead	1.2E-03	1.7E-03	Так	Так
74-82-8	Methane	Methane	6.0E-04	8.7E-04	Hi	Hi
--	Oxides of nitrogen	NO _x	5.0E-03	7.3E-03	Hi	Hi
--	PM-2.5	PM _{2.5}	3.0E-02	4.4E-02	Hi	Hi
--	PM-10	PM ₁₀	5.2E-02	7.7E-02	Hi	Hi
12789-66-1	Total suspended particulate	TSP	6.1E-02	9.0E-02	Hi	Hi
Токсичні хімічні речовини та небезпечні забруднювачі повітря						
83-32-9	Acenaphthene	Acenaphthene	2.8E-08	4.1E-08	Так	Hi



섹션 17.

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

Продовження табл. 1

CAS #	Забруднювач (Офіційне [AP-42] позначення)	Забруднювач (Нотація тесту)	Коефіцієнт викидів		НЗР	Ток- сич- ність
			фунт/ шт.	фунт/ фунт		
208-96-8	Acenaphthylene	Acenaphthylene	7.7E-07	1.1E-06	Так	Hi
7440-39-3	Barium	Barium	3.4E-04	5.0E-04	Hi	Так
71-43-2	Benzene	Benzene	1.5E-05	2.1E-05	Так	Так
56-55-3	Benzo[a]anthracene	Benzo(a)anthracene	1.7E-08	2.5E-08	Так	Так
192-97-2	Benzo[e]pyrene	Benzo(e)pyrene	2.6E-09	3.8E-09	Так	Hi
108-90-7	Chlorobenzene	Chlorobenzene	0.0E+00	0.0E+00	Так	Так
74-87-3	Chloromethane	Chloromethane	1.1E-06	1.6E-06	Так	Так
7440-47-3	Chromium	Chromium	1.4E-05	2.1E-05	Так	Так
84-74-2	Dibutyl phthalate	Di-n-butylphthalate	3.3E-06	4.8E-06	Так	Так
107-06-2	1,2-Dichloroethane	1,2-Dichloroethane	2.9E-07	4.2E-07	Так	Так
100-41-4	Ethylbenzene	Ethylbenzene	3.5E-07	5.1E-07	Так	Так
74-85-1	Ethylene	Ethylene	4.7E-05	6.9E-05	Hi	Так
86-73-7	Fluorene	Fluorene	3.9E-08	5.7E-08	Так	Hi
35822-46-9	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-p-dioxin	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	3.0E-11	4.3E-11	Так	Так
74-90-8	Hydrogen cyanide	Hydrogen Cyanide	8.8E-05	1.3E-04	Так	Так
7439-92-1	Lead	Lead	1.2E-03	1.7E-03	Так	Так
7439-96-5	Manganese	Manganese	9.5E-05	1.4E-04	Так	Так
75-09-2	Methylene chloride	Methylenechloride	6.5E-07	9.5E-07	Так	Так
91-20-3	Naphthalene	Naphthalene	1.4E-06	2.0E-06	Так	Так
7697-37-2	Nitric acid	Nitric Acid	3.2E-06	4.7E-06	Hi	Так
57117-31-4	2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofuran	23478-PCDF	2.2E-13	3.2E-13	Так	Так
85-01-8	Phenanthrene	Phenanthrene	2.7E-07	4.0E-07	Так	Так
108-95-2	PheHil	PheHil	1.5E-06	2.2E-06	Так	Так
115-07-1	Propylene	Propylene	9.4E-06	1.4E-05	Hi	Так
95-47-6	o-Xylene	o-Xylene	2.4E-07	3.5E-07	Так	Так
7440-66-6	Zinc	Zinc	7.4E-04	1.1E-03	Hi	Так
Інші забруднювачі						
74-84-0	Ethane	Ethane	9.1E-06	1.3E-05	Hi	Hi
622-96-8	4-Ethyltoluene	4-Ethyltoluene	2.3E-07	3.4E-07	Hi	Hi
115-11-7	1-Propene, 2-methyl-	Isobutylene	4.6E-06	6.7E-06	Hi	Hi
108-67-8	1,3,5-Trimethylbenzene	1,3,5-Trimethylbenzene	2.6E-07	3.8E-07	Hi	Hi

섹션 17.

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

В таблицях 2-3 наведені відомості про перелік забруднюючих речовин атмосферного повітря при пострілі реактивним зарядом M119A2, що використовується в 155-мм гаубицях [9]. Зазначаємо, що викиди, пов'язані з вибухом снаряду, в табл. 2-3 не розглядаються.

Таблица 2

Фактори викидів при використанні металевого заряду DODIC D533, M119A2 155-мм. Класифікація факторів викидів: А (за даними EPA [9])

CASRN ^b	Забруднювач	Забруднювач (Нотація тесту)	Коефіцієнт викидів	
			фунт/шт.	фунт/фунт ^c
124-38-9	Carbon dioxide	CO ₂	3.6E-01	5.3E-01
630-08-0	Carbon monoxide	CO	5.0E-02	7.3E-02
7439-92-1	Lead	Lead (Pb) ^f	1.2E-03	1.7E-03
74-82-8	Methane	Methane	6.0E-04	8.7E-04
--	Oxides of nitrogen	Hx	5.0E-03	7.3E-03
--	PM-2.5	PM _{2.5} ^{d, f}	3.0E-02	4.4E-02
--	PM-10	PM ₁₀ ^{e, f}	5.2E-02	7.7E-02
12789-66-1	Total suspended particulate	TSP ^f	6.1E-02	9.0E-02

Примітка. ^a Коефіцієнти представляють неконтрольовані викиди.

^b CASRN – Реєстраційний номер Служби хімічних рефератів.

^c чиста маса вибухової речовини. Нові дані для цього боєприпасу становить 22,47 фунтів на одиницю.

^d PM-2,5 – тверді частинки з аеродинамічним діаметром, що дорівнює або менше 2,5 мікрметрів (мкм).

^e PM-10 – тверді частинки з аеродинамічним діаметром, що дорівнює або менше 10 мкм.

^f Клас фактору викидів В.

Таблица 3

Фактори викидів при використанні заряду DODIC D533, M119A2 155-мм. Класифікація факторів викидів: В (за даними EPA [9])

CASRN ^b	Забруднювач	Коефіцієнт викидів	
		фунт/шт.	фунт/фунт ^c
83-32-9	Acenaphthene ^d	5.2 E-08	2.3 E-09
208-96-8	Acenaphthylene ^d	1.3 E-06	5.8 E-08
75-07-0	Acetaldehyde ^e	4.3 E-05	1.9 E-06
75-05-8	Acetonitrile ^e	1.3 E-04	5.9 E-06
7429-90-5	Aluminum ^f	1.7 E-03	7.7 E-05
7664-41-7	Ammonia ^d	2.0 E-01	8.7 E-03
120-12-7	Anthracene ^e	3.0 E-07	1.3 E-08
7440-39-3	Barium ^f	2.7 E-05	1.2 E-06
71-43-2	Benzene ^e	7.4 E-04	3.3 E-05
56-55-3	Benzo[a]anthracene ^{e, g}	6.7 E-08	3.0 E-09
205-99-2	Benzo[b]fluoranthene ^e	1.5 E-07	6.9 E-09



секція 17.

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

Продовження табл. 3

CASRN ^b	Забруднювач	Коефіцієнт викидів	
		фунт/шт.	фунт/фунт ^c
207-08-9	Benzo[k]fluoranthene ^e	5.2 E-08	2.3 E-09
191-24-2	Benzo[g,h,i]perylene ^e	1.1 E-06	5.0 E-08
50-32-8	Benzo[a]pyrene ^e	1.4 E-07	6.0 E-09
192-97-2	Benzo[e]pyrene ^d	1.9 E-07	8.6 E-09
18540-29-9	Hexavalent chromium ^e	8.9 E-06	3.9 E-07
218-01-9	Chrysene ^e	1.0 E-07	4.5 E-09
7440-50-8	Copper ^f	3.7 E-02	1.6 E-03
--	Total dioxin/furan compounds ^e	7.5 E-10	3.3 E-11
100-41-4	Ethylbenzene ^e	2.4 E-05	1.1 E-06
74-85-1	Ethylene ^f	3.1 E-04	1.4 E-05
206-44-0	Fluoranthene ^e	4.3 E-07	1.9 E-08
86-73-7	Fluorene ^d	7.5 E-07	3.4 E-08
50-00-0	Formaldehyde ^e	7.2 E-05	3.2 E-06
35822-46-9	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-p-dioxin ^e	5.9 E-11	2.6 E-12
67562-39-4	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofuran ^e	1.3 E-11	5.9 E-13
74-90-8	Hydrogen cyanide ^e	2.6 E-02	1.2 E-03
7439-92-1	Lead ^e	2.9 E-02	1.3 E-03
7439-96-5	Manganese ^e	3.7 E-05	1.6 E-06
91-20-3	Naphthalene ^e	1.5 E-05	6.9 E-07
7440-02-0	Nickel ^{e,i}	2.4 E-05	1.1 E-06
7697-37-2	Nitric acid ^f	1.6 E-03	7.3 E-05
3268-87-9	1,2,3,4,6,7,8,9-Octachlorodibenzo-p-dioxin ^e	6.5 E-10	2.9 E-11
39001-02-0	1,2,3,4,6,7,8,9-Octachlorodibenzofuran ^e	2.0 E-11	8.7 E-13
85-01-8	Phenanthrene ^e	1.3 E-06	5.9 E-08
108-95-2	PheHil ^e	7.6 E-06	3.4 E-07
129-00-0	Pyrene ^d	1.0 E-06	4.5 E-08
100-42-5	Styrene ^e	1.7 E-04	7.4 E-06
51207-31-9	2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofuran ^e	2.8 E-12	1.2 E-13
108-88-3	Toluene ^e	6.4 E-05	2.9 E-06
540-84-1	2,2,4-Trimethylpentane ^d	1.4 E-04	6.3 E-06
7440-62-2	Vanadium ^f	2.6 E-05	1.2 E-06
106-42-3, 108-38-3	m-Xylene, p-Xylene ^e	2.7 E-05	1.2 E-06
7440-66-6	Zinc ^f	5.3 E-03	2.3 E-04

Примітка. ^a Коефіцієнти представляють неконтрольовані викиди.

^b CASRN – Реєстраційний номер Служби хімічних рефератів.

^c чиста маса вибухової речовини. Нові дані для цього боєприпасу становить 22,47 фунтів на одиницю.

^d Небезпечний забруднювач повітря згідно з розділом 112(b) САА.

^e Хімічна речовина, що підлягає звітності згідно з розділом 313 EPCRA та небезпечний забруднювач повітря згідно з розділом 112(b) САА.

^f Хімічна речовина, що підлягає звітності згідно з розділом 313 EPCRA.

Таким чином, можна припустити, що під час дії факторів впливу бойових дій на атмосферне повітря виникає доволі різноманітний перелік отруйних речовин, які значно впливають на довкілля. Але наразі у Методиці розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди, затвердженої 13.04.2022 р. наказом Міністерства довкілля та природних ресурсів України № 175, яка являється діючою, не в повній мірі враховані забруднюючі речовини та їх вплив на довкілля. Більш того, постає питання, наприклад, чому в Методиці [10] відсутній Фосфор (P) та відповідні сполуки, адже ці боєприпаси час від часу активно використовуються проти українських військових [11]. Або ж примітка, що у випадку не визначення класу небезпеки забруднюючих речовин, допускається приймати значення 4-й клас небезпеки. Наскільки це виправдано і не знижає розмір шкоди? Також зазначається, що у разі наявності інформації на підставі лабораторних досліджень та/або висновків будь-яких експертиз, у розрахунках розміру шкоди значення приймається за наявними даними щодо про масу неорганізованого викиду забруднюючої речовини або суміші таких речовин в атмосферне повітря, та їх щільність. Для автоматизованого контролю за викидами таких забруднюючих речовин, як зазначено у табл. 1-3, наразі, наприклад, пости громадського моніторингу не обладнані. Таким чином, ця Методика [10] потребує кореляції не лише з Переліком забруднюючих речовин та пороговими значеннями потенційних викидів, за якими здійснюється державний облік [12], але й з сучасною ситуацією в Україні [11].

Тому бажано передбачити як удосконалення Методики, так і приведення у відповідність державної системи моніторингу якості повітря, як обов'язкового компоненту фіксації збитків, і відзначити, що ця пропозиція корелює з наявними даними [13].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Hryhorczuk, D., Levy, B.S., Prodanchuk, M. *et al.* (2024) The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine. *J Occup Med Toxicol*, 19, 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12995-023-00398-y>
- [2] ЕкоЗагроза : Офіційний ресурс Міндовкілля. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/> (дата звернення: 18.01.2025).
- [3] Turos, O, Petrosia, A, Maremukha, T, *et al.* (2023) Assessment of ambient air pollution by particulate matter (PM10, PM2.5) and risk of human health caused by war actions. *Wiadomości Lekarskie*, 76(4), 738–744. DOI: <https://doi.org/10.36740/WLek202304106>
- [4] Amid war, Ukraine is maintaining macroeconomic stability and embarking on reforms. *International Monetary Fund*. URL: <https://www.imf.org/en/News/Articles/2023/04/05/cf-amid-war-ukraine-is-maintaining-macroecoHimic-stability-and-embarking-on-reforms> (accessed 18.01.2025).



섹션 17.

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

- [5] The toxic legacy of the Ukraine war. United Nations Environment Programme. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/toxic-legacy-ukraine-war>. (accessed 18.01.2025).
- [6] Mears, M.J., Aslaner, D.M., Barson, C.T., *et al.* (2022) Health effects following exposure to dust from the World Trade Center disaster: an update. *Life Sciences*, 289, 120147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.120147>.
- [7] Brown, O. *et al.* (2023) The consequences of Russia's war on Ukraine for climate action, food supply and energy security. Research Paper. London: Royal Institute of International Affairs. DOI: <https://doi.org/10.55317/9781784135836>.
- [8] Ракети: вплив на забруднення довкілля. *Чисте повітря для України*. URL: <https://cleanair.org.ua/7669/raketa/> (дата звернення: 18.01.2025).
- [9] Basic Information of Air Emissions Factors and Quantification. *Environmental Protection Agency*. URL: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification> (accessed 18.01.2025).
- [10] Про затвердження Методики розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 13.04.2022 № 175. *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-22#Text> (дата звернення: 18.01.2025).
- [11] В Авдіївці росіяни застосували фосфорні снаряди на території коксохімічного заводу. *ZMINA*. URL: <https://zmina.info/news/v-avdiyivczii-rosiyany-zastosuvaly-fosforni-snaryady-proti-ukrayinskyh-vijskovykh/> (дата звернення: 18.01.2025).
- [12] Про затвердження Інструкції про порядок та критерії взяття на державний облік об'єктів, які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров'я людей і стан атмосферного повітря, видів та обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 10.05.2002 № 177. *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0445-02#top> (дата звернення: 18.01.2025).
- [13] Вплив воєнних дій на якість повітря в Україні: доповідь Ірини Черниш на Комітеті Верховної Ради України з питань екологічної політики та природокористування. *SaveDnipro*. URL: <https://www.savednipro.org/vpliv-voyennix-dij-na-yakist-povitrya-v-ukrayini/> (дата звернення: 18.01.2025).