

Вплив військових дій на атмосферне повітря

Атмосферне повітря – життєво важливий компонент навколишнього природного середовища, який являє собою природну суміш газів, що знаходиться за межами жилих, виробничих та інших приміщень.

Якість повітря відіграє важливу роль для живих організмів, тому необхідно постійно контролювати його параметри та не допускати перевищень граничнодопустимих концентрацій забруднюючих речовин в ньому.



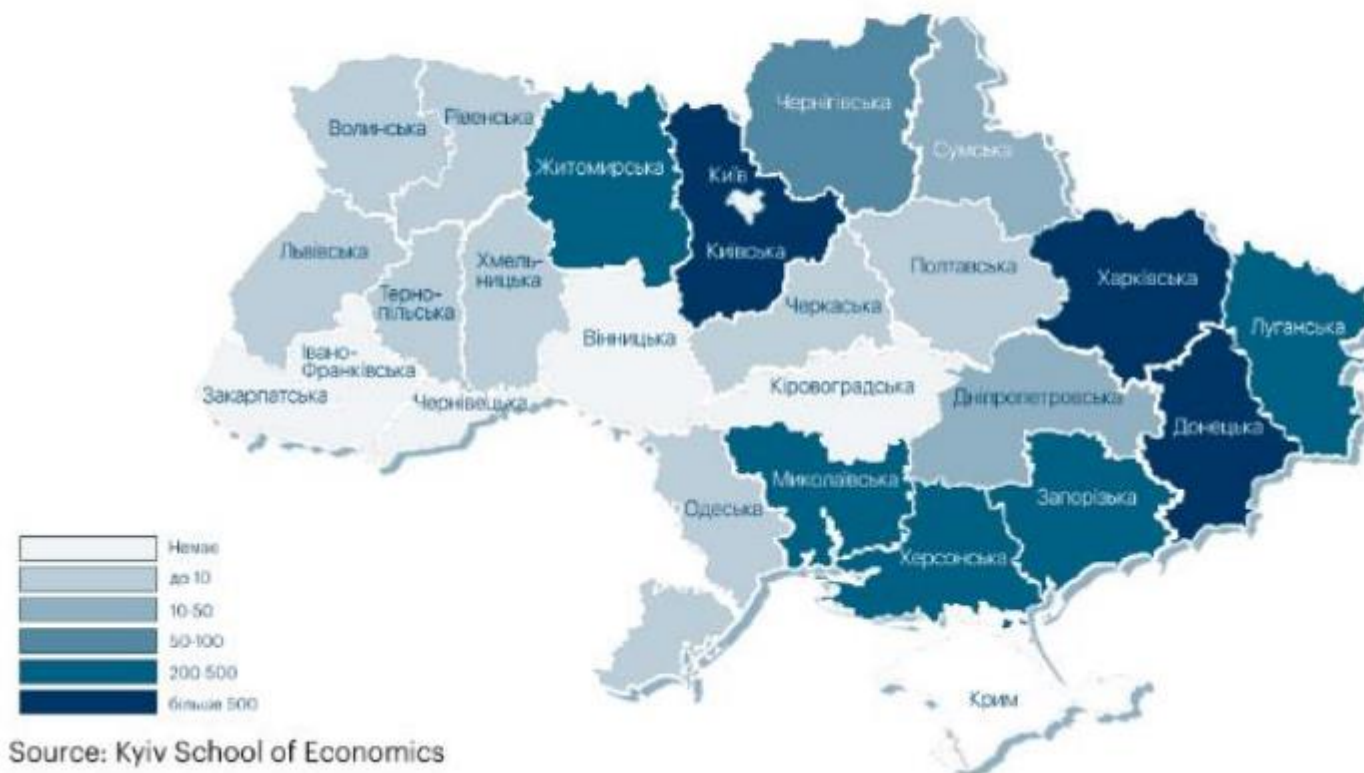
Вплив військових дій на атмосферне повітря є однією з актуальних екологічних проблем сучасності.

Війна призводить до значного забруднення атмосфери внаслідок застосування різноманітного озброєння, руйнування інфраструктури, лісових пожеж та горіння промислових об'єктів.



Наслідки викидів ЗР в атмосферне повітря є катастрофічними, загальні збитки вже сягнули практично \$4,2 млрд. Зокрема, \$1,8 млрд становить шкода від лісових пожеж, \$1,6 млрд - від трав'яних пожеж та \$752 млн – від горіння нафти та нафтопродуктів

ОБСЯГИ ЗБИТКІВ ВІД ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН
В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, МЛН. ДОЛ



Source: Kyiv School of Economics

Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Вибухи та обстріли як джерело забруднення атмосферного повітря

- ✓ **Викиди пилу та аерозолів.** Під час вибухів у повітря підіймається велика кількість дрібнодисперсного пилу. Це суміш цементу, бетону, металів, органіки та інших речовин, що утворюються внаслідок руйнування будівель, доріг та ґрунту.
- ✓ **Утворення токсичних газів.** У результаті горіння або детонації вибухових речовин в атмосферу потрапляють шкідливі гази: чадний газ (CO), діоксид вуглецю (CO₂), окиси азоту (NO, NO₂), сірчистий газ (SO₂), леткі органічні сполуки.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Вибухи та обстріли як джерело забруднення атмосферного повітря

- ✓ **Важкі метали.** Боєприпаси часто містять свинець, мідь, кадмій, ртуть. Після вибуху ці елементи можуть залишатися в повітрі у вигляді мікрочастинок, потрапляючи до дихальної системи людини.
- ✓ **Сажисті частинки (PM2.5 і PM10).** Ці частинки мають високу токсичність і здатні проникати глибоко в легені. Вони є наслідком горіння пального, детонацій і вторинних пожеж.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Вибухи та обстріли як джерело забруднення атмосферного повітря

- ✓ **Радіоактивне забруднення.** У разі обстрілів територій поблизу атомних електростанцій або при використанні боєприпасів з ураном (збідненим) можливе вивільнення радіоактивних частинок.
- ✓ **Вторинні ефекти.** Викиди забруднюючих речовин поширюються повітрям на великі відстані. У містах під час тривалих обстрілів знижується якість повітря до критичних рівнів, що шкодить здоров'ю цивільного населення та знижує екологічну стійкість регіону.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Пожежі як джерело забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Пожежі - один із найнебезпечніших чинників екологічного лиха під час війни. Вони виникають у результаті обстрілів, авіаударів, вибухів або свідомого підпалу.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Пожежі як джерело забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Спалення нафтопродуктів

Горіння нафтобаз, складів пального, автотранспорту спричиняє викиди:

- ✓ *вуглекислого газу (CO_2)*
- ✓ *чадного газу (CO)*
- ✓ *поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ)*
- ✓ *сажі*
- ✓ *важких металів*



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Пожежі як джерело забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Пожежі на промислових об'єктах

Під час згоряння складів з хімікатами, добривами, фарбами в атмосферу потрапляють токсичні речовини - *діоксини, формальдегід, бензол, аміак.*



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Пожежі як джерело забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Лісові та степові пожежі

Військові дії у природних зонах викликають масштабне горіння рослинності. Це спричиняє: *утворення великої кількості диму, підвищення концентрації дрібнодисперсного пилу (PM2.5), загибель біоти, що також погіршує екологічний баланс.*



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Пожежі як джерело забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Пожежі в житлових кварталах

Знищення будівель з пластиковими, дерев'яними та синтетичними матеріалами призводить до викиду фосгену, акрилонітрилу, синильної кислоти та інших отруйних речовин.



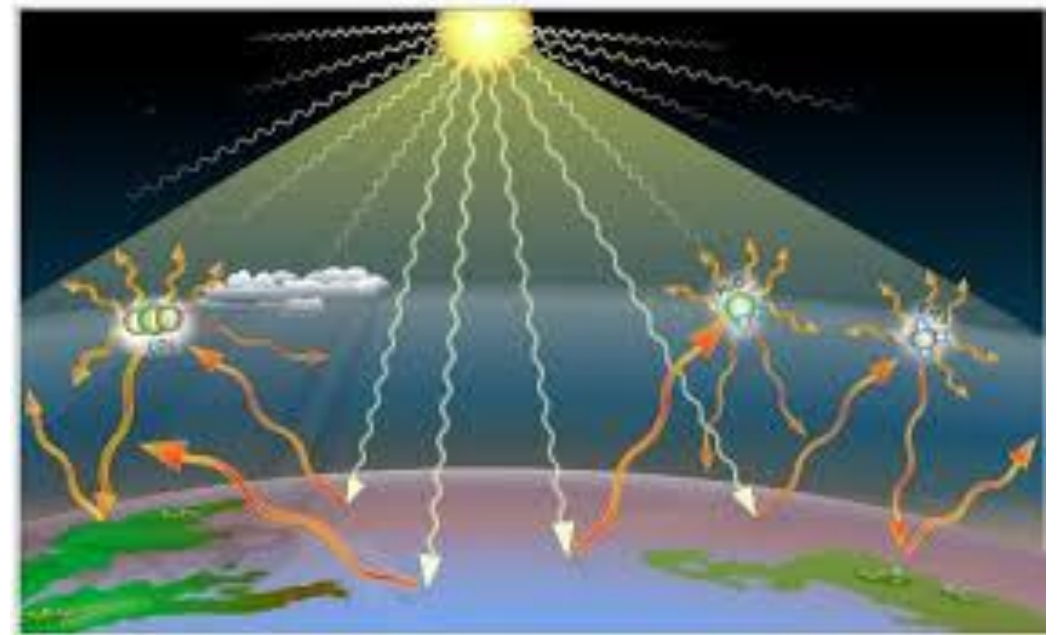
Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Пожежі як джерело забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Парниковий ефект

Масове горіння збільшує кількість парникових газів в атмосфері, що сприяє глобальному потеплінню.

Наслідки для здоров'я людей: *загострення хронічних хвороб дихальних шляхів, алергії, бронхіти, астма, онкологічні ризики при тривалому впливі токсинів.*



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Використання бойової техніки як джерело забруднення атмосферного повітря

Бойова техніка є одним із постійних джерел забруднення повітря в умовах війни. Йдеться не лише про бойові дії, але й про пересування, запуск двигунів, ремонт та зберігання техніки.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Використання бойової техніки як джерело забруднення атмосферного повітря

Вихлопні гази

Військові машини, особливо танки, БТРи, вантажівки, мають дизельні двигуни, що виділяють:

- ✓ вуглекислий газ (CO_2),
- ✓ чадний газ (CO),
- ✓ оксиди азоту (NO_x),
- ✓ сажу,
- ✓ леткі органічні сполуки (ЛОС),
- ✓ частинки сульфатів та нітратів.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Використання бойової техніки як джерело забруднення атмосферного повітря

Пил при пересуванні

Особливо на ґрунтових дорогах і в посушливих умовах техніка здійснює велику кількість пилу, який містить важкі метали, нафтопродукти та токсини.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Використання бойової техніки як джерело забруднення атмосферного повітря

Горіння пального та мастил

У ході бойових дій або при аваріях техніка може загорятися, що спричиняє викиди: *поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), канцерогенних сполук, діоксинів.*



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Використання бойової техніки як джерело забруднення атмосферного повітря

Забруднення від техобслуговування

Ремонт, злив мастил, витік пального також спричиняють випаровування шкідливих хімічних сполук у повітря.



Аерозольні викиди

Пускові установки, системи ППО, ракетна техніка під час запуску викидають високотоксичні продукти згоряння палива.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Застосування хімічної або фосфорної зброї як джерело забруднення атмосферного повітря

Хімічна та фосфорна зброя належить до особливо небезпечних типів озброєння, оскільки викликає не лише миттєвий уражаючий ефект, а й має довготривалий негативний вплив на довкілля та здоров'я людей.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Застосування хімічної або фосфорної зброї як джерело забруднення атмосферного повітря

Хімічна зброя - це речовини, що мають токсичну дію на організм, потрапляючи через дихальні шляхи, шкіру або слизові оболонки.

Основні види:

- ✓ Зарін, зарин, іприт, VX - нервово-паралітичні агенти.
- ✓ Хлор, фосген - задушливі гази.
- ✓ Цианістий водень - отрута клітинного дихання.

Наслідки для атмосфери:

- ✓ Швидке забруднення повітря в зоні застосування.
- ✓ Утворення токсичних аерозолів, що довго зберігаються в повітрі.
- ✓ Можливе осідання отруйних речовин на ґрунті та подальше повторне випаровування.

Наслідки для людей:

- ✓ Респіраторні ураження, сліпота, параліч, смерть.
- ✓ Хронічні наслідки: рак, пошкодження нервової системи, репродуктивні порушення.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Застосування хімічної або фосфорної зброї як джерело забруднення атмосферного повітря

Фосфорна зброя

Біла фосфорна зброя використовується як запальна або димова. Вона легко самозаймається при контакті з киснем і горить, виділяючи густий білий дим.

Екологічні наслідки

- ✓ Утворення фосфорного ангідриду та фосфорної кислоти у повітрі.
- ✓ Виділення канцерогенних речовин при горінні матеріалів, на які потрапляє фосфор.
- ✓ Забруднення води, ґрунту й атмосфери.

Загроза для людей:

- ✓ Глибокі опіки, ураження легень.
- ✓ При вдиханні диму - гостра інтоксикація, задуха, летальні випадки.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Руйнування промислових і хімічних підприємств як джерело забруднення атмосферного повітря

Промислові та хімічні підприємства під час військових дій стають стратегічними цілями, і їхнє руйнування несе колосальну екологічну загрозу, зокрема для атмосферного повітря.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Руйнування промислових і хімічних підприємств як джерело забруднення атмосферного повітря

✓ Викид токсичних речовин

При знищенні хімічних заводів, нафтопереробних комбінатів, складів добрив або фарб у повітря можуть потрапити:

- аміак
- хлор
- сірководень
- фосген
- ціаністий водень
- діоксини
- метанол
- формальдегід

Ці речовини є високотоксичними, а деякі - смертельно небезпечні навіть у малих концентраціях.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Руйнування промислових і хімічних підприємств як джерело забруднення атмосферного повітря

✓ Вторинне горіння матеріалів

Займання продукції чи реагентів спричиняє утворення диму з великою концентрацією сажі, важких металів і органічних отруйних сполук.

✓ Утворення кислотних газів

При згорянні речовин, що містять сірку, хлор, фтор або азот, утворюються кислотні аерозолі (сірчиста, азотна, хлоридна кислоти), що подразнюють дихальні шляхи та спричиняють кислотні дощі.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Руйнування промислових і хімічних підприємств як джерело забруднення атмосферного повітря

✓ Вибухи на підприємствах

У результаті вибухів змішуються хімічні речовини, відбуваються неконтрольовані реакції, що можуть спричинити отруйні викиди на великі площі.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Загибель та розкладання органіки як джерело забруднення атмосферного повітря

Під час війни масово гинуть люди, тварини, рослинність, а системи прибирання і санітарної утилізації часто не функціонують. Це створює серйозну загрозу не лише епідеміологічну, але й екологічну, зокрема - для атмосферного повітря.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Загибель та розкладання органіки як джерело забруднення атмосферного повітря

Біологічне розкладання трупів людей і тварин

Після загибелі органічні рештки під впливом бактерій починають розкладатися, виділяючи в атмосферу:

- ✓ метан (CH_4),
- ✓ сірководень (H_2S),
- ✓ аміак (NH_3),
- ✓ леткі жирні кислоти, меркаптани (запах гниття).

Ці речовини мають неприємний запах, токсичні та можуть викликати отруєння повітря.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Загибель та розкладання органіки як джерело забруднення атмосферного повітря

Гниття рослинних мас

На полях бойових дій чи в лісах гинуть дерева, кущі, трава, які не прибираються. У вологому середовищі це теж сприяє утворенню:

- органічних газів,
- пилку, що викликає алергії,
- вторинного біоаерозолю.



Джерела забруднення атмосферного повітря під час військових дій

Загибель та розкладання органіки як джерело забруднення атмосферного повітря

Утворення патогенних аерозолів

У розкладаючих рештках можуть розмножуватися хвороботворні мікроорганізми (бактерії, спори грибів), що потрапляють у повітря та розповсюджуються вітром.

Санітарна катастрофа

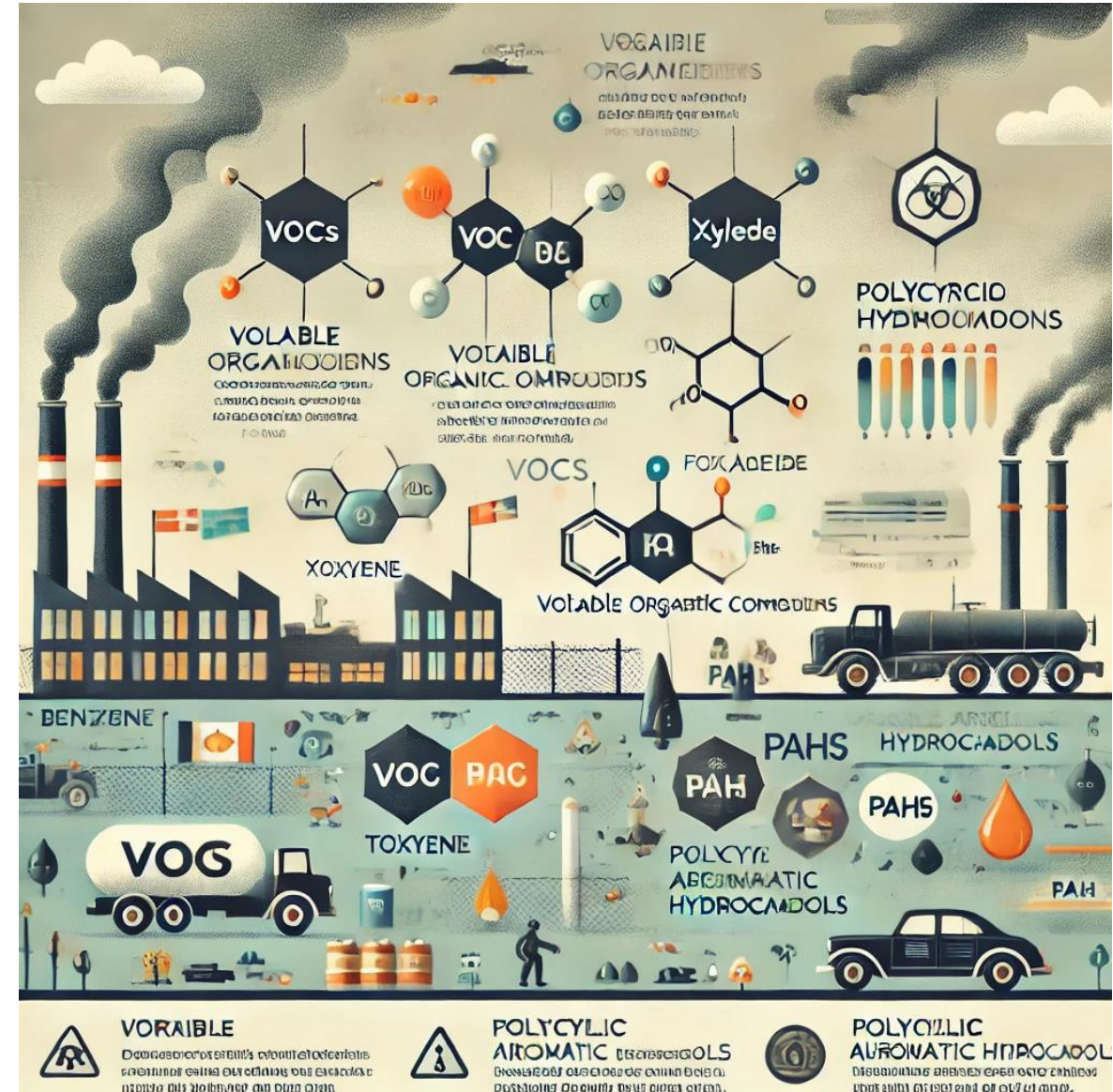
Без належної утилізації або поховання, трупи створюють умови для спалахів холери, дизентерії, сибірки тощо, а патогени можуть передаватися повітряно-крапельним шляхом.



Хімічний склад забруднень атмосферного повітря під час війни

Органічні сполуки:

- ✓ **Леткі органічні сполуки (ЛОС):** бензол, толуол, ксилол - викидаються з пального, пластиків, фарб.
- ✓ **Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ):** канцерогени, що утворюються при спалюванні нафти, деревини, гуми.
- ✓ **Акрилонітрил, стирол, фенол:** виділяються при горінні синтетичних матеріалів.



Наслідки забруднення атмосферного повітря під час війни для здоров'я населення та біосфери

Для здоров'я людини

Гострі захворювання:

- ✓ Отруєння токсичними газами (CO , H_2S , HCN , Cl_2) - викликає головний біль, втрату свідомості, смерть.
- ✓ Опіки дихальних шляхів - при вдиханні фосгену, формальдегіду, аміаку.
- ✓ Задуха та алергічні реакції через дрібнодисперсний пил ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}).

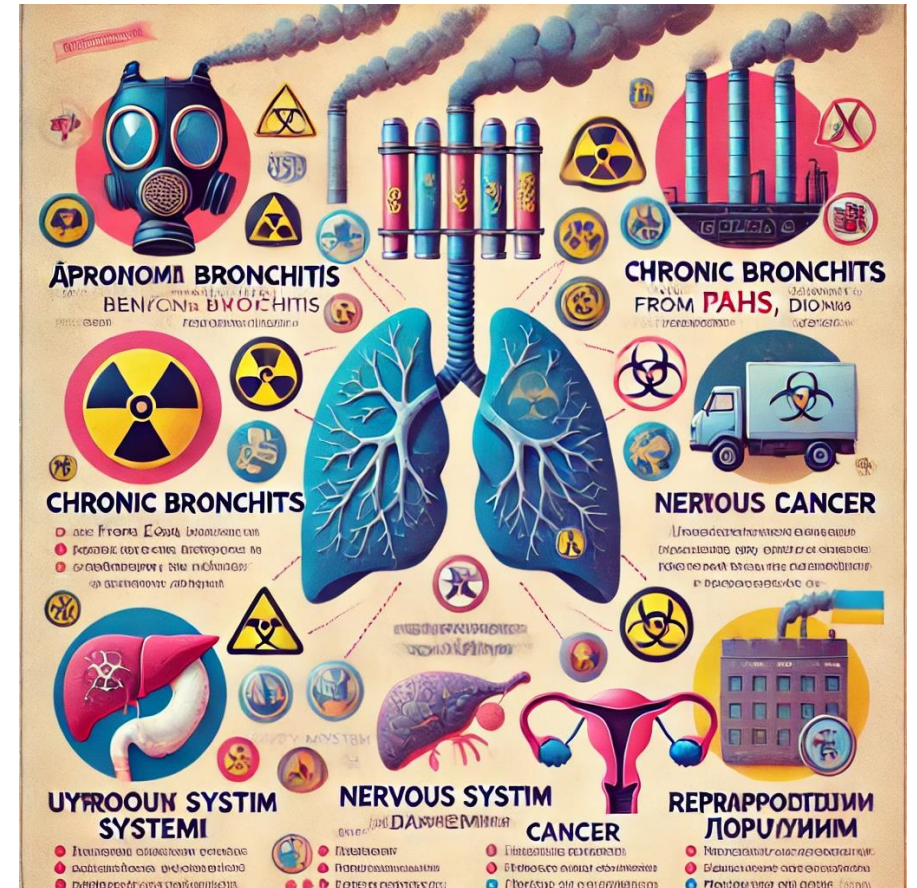


Наслідки забруднення атмосферного повітря під час війни для здоров'я населення та біосфери

Для здоров'я людини

Хронічні хвороби:

- ✓ Бронхіальна астма, хронічний бронхіт, ХОЗЛ.
- ✓ Онкологічні захворювання - через тривалий контакт з бензолом, ПАВ, діоксинами.
- ✓ Ураження нервової системи - свинець, ртуть, кадмій порушують роботу мозку та викликають затримки розвитку в дітей.
- ✓ Репродуктивні порушення - під дією важких металів і органічних токсинів



Наслідки забруднення атмосферного повітря під час війни для здоров'я населення та біосфери

Для здоров'я людини

Психологічні та психічні наслідки:

- ✓ Поширення ПТСР (посттравматичного синдрому), депресій, фобій, поглиблення тривожності.

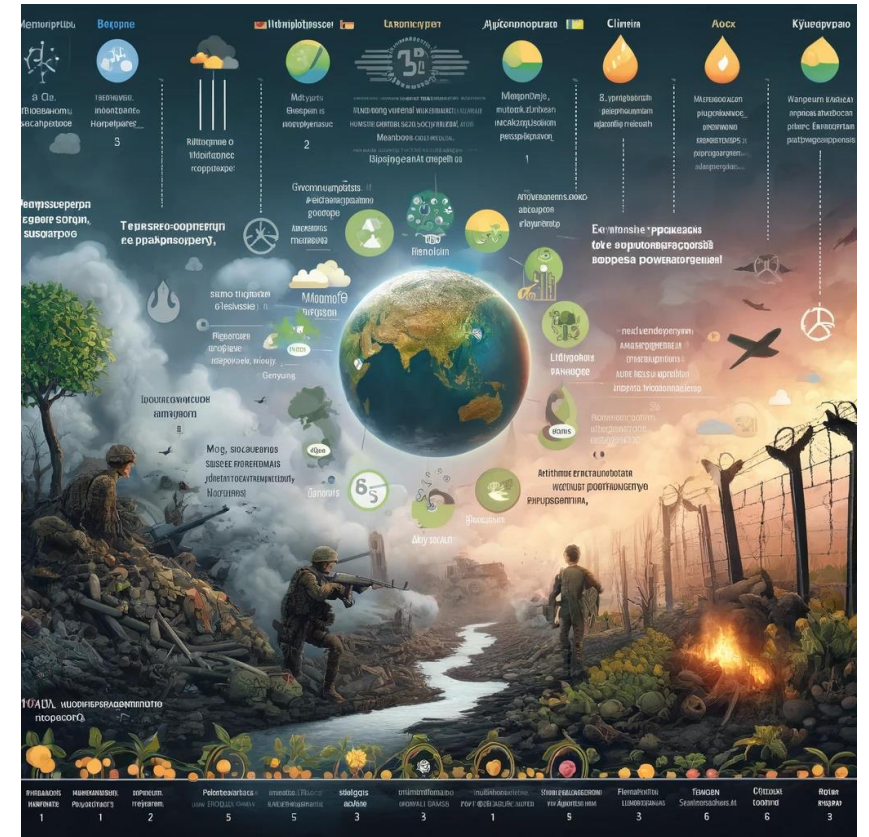


Наслідки забруднення атмосферного повітря під час війни для здоров'я населення та біосфери

Для біосфери

Атмосфера

- ✓ Зниження якості повітря.
- ✓ Підвищення концентрації парникових газів → зміна клімату.
- ✓ Утворення кислотних дощів (через NO_x і SO_2) - руйнування рослинності, ґрунтів, водних екосистем.



Наслідки забруднення атмосферного повітря під час війни для здоров'я населення та біосфери

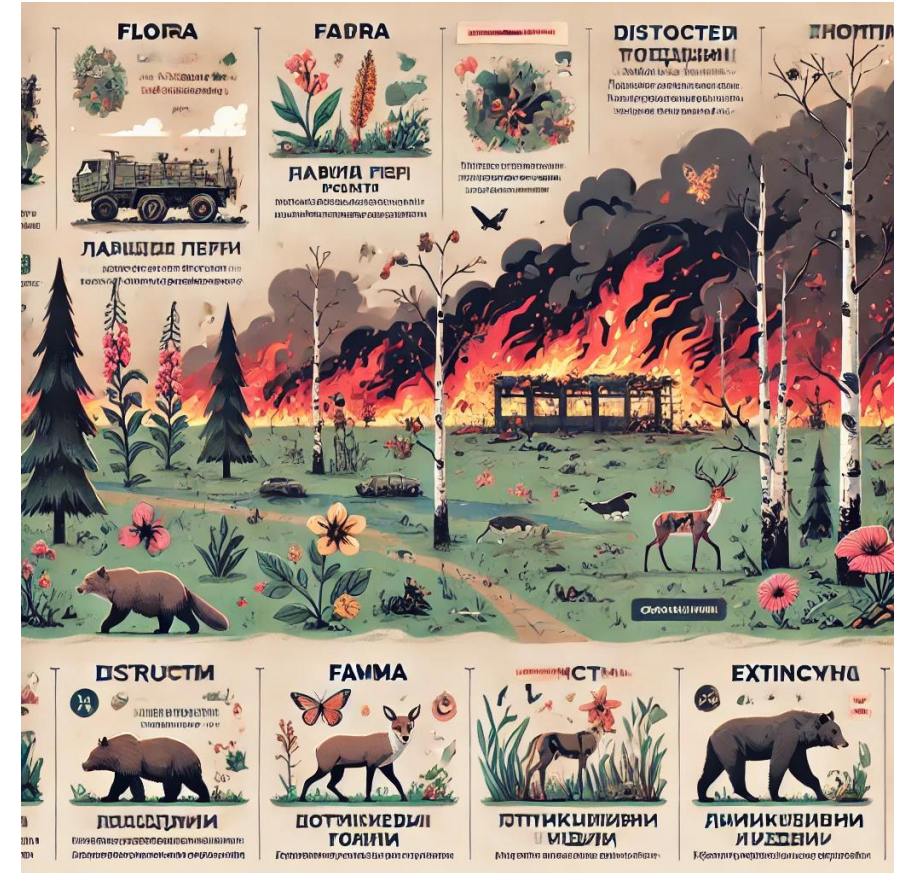
Для біосфери

Флора:

- ✓ Масова загибель рослин внаслідок пожеж, вибухів, хімічного зараження.
- ✓ Порушення фотосинтезу через пил і дим.

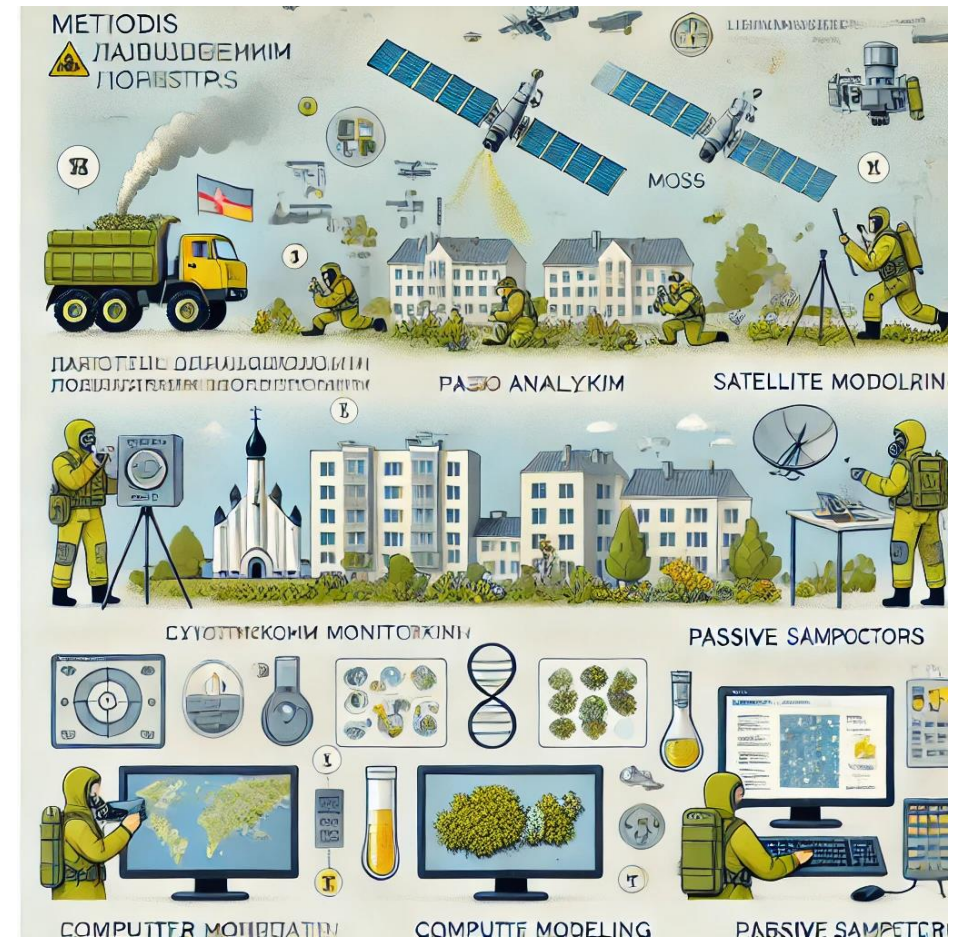
Фауна:

- ✓ Отруєння тварин токсичними речовинами.
- ✓ Зміна середовища проживання, загибель популяцій, зникнення рідкісних видів.
- ✓ Біоаккумуляція отрут у харчовому ланцюзі.



Методи оцінки забруднення повітря в зонах бойових дій

- ✓ Інструментальні вимірювання (польові лабораторії)
- ✓ Супутниковий моніторинг
- ✓ Моделювання розсіювання забруднень
- ✓ Біоіндикатори та пасивні методи
- ✓ Аналітична обробка даних



Інструментальні вимірювання (польові лабораторії)

- Газоаналізатори для вимірювання CO, NO_x, SO₂, O₃.
- Аналізатори PM10/PM2.5 - фіксують рівень твердих частинок.
- Портативні хімічні сенсори - для швидкого виявлення токсичних речовин, у т.ч. фосгену, HCN, Cl₂.
- ІЧ-спектроскопія та газова хроматографія - для виявлення органічних речовин.



Супутниковий моніторинг

- Дані з супутників **NASA** (**MODIS**, **TROPOMI**) - дають змогу відстежувати концентрацію аерозолів, чадного газу, NO_2 та інших забруднювачів.
- Використовується для великих регіонів і довготривалого моніторингу.



Моделювання розсіювання забруднень

- Комп'ютерні моделі типу **HYSPLIT**, **AERMOD** чи **CALPUFF** дозволяють:
 - прогнозувати, як поширюються шкідливі речовини в атмосфері,
 - моделювати вплив вибухів, пожеж або хімічних аварій на якість повітря.



Біоіндикатори та пасивні методи

- **Лишайники**, мохи або листя дерев як природні фільтри, що накопичують токсини.
- **Пасивні пробовідбірники** - сорбційні забруднювачі без активного насоса.



Аналітична обробка даних

- ✓ Порівняння з фоновими значеннями до війни.
- ✓ Побудова теплових карт, часових трендів, візуалізація GIS.



Вибух нафтобази під час війни: вплив на атмосферне повітря

Характер події

Вибух нафтобази - це катастрофа, яка супроводжується:

- ✓ сильним полум'ям і тривалим горінням,
- ✓ викидом великої кількості токсичних речовин,
- ✓ утворенням густого диму та сажі.

У таких ситуаціях горять:

- ✓ сирі нафтопродукти (бензин, дизель, мазут),
- ✓ мастила, хімічні реагенти,
- ✓ резервуари, будівлі з пластиком, металом, утеплювачами.



Вибух нафтобази під час війни: вплив на атмосферне повітря

Основні забруднювачі, що потрапляють у повітря

Газоподібні:

- ✓ **CO₂, CO** - продукти згоряння органіки.
- ✓ **NO_x, SO₂** - утворюються при високотемпературному згорянні.
- ✓ **Леткі органічні сполуки (ЛОС):** бензол, толуол, ксилол.
- ✓ **Формальдегід, акролеїн, синильна кислота.**

Аерозольні:

- ✓ **PM_{2.5}, PM₁₀** - сажа, частинки металів, попіл.
- ✓ **Сажисті частинки (black carbon)** - впливають на зміну клімату.
- ✓ **Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ)** - канцерогенні речовини.
- ✓ **Діоксини, фурани** - надтоксичні продукти неповного згоряння.



Вибух нафтобази під час війни: вплив на атмосферне повітря

Вплив на здоров'я:

- ✓ Ризик гострого отруєння.
- ✓ Погіршення стану людей із захворюваннями дихальних шляхів.
- ✓ Токсичне ураження печінки, нирок, нервової системи.
- ✓ Довготривалий вплив - підвищення ризику онкологічних захворювань.



Вибух нафтобази під час війни: вплив на атмосферне повітря

Екологічні наслідки:

- ✓ Дим осідає на ґрунті, воді, рослинах, отруюючи екосистему.
- ✓ Забруднення великої території навколо об'єкта вітром.
- ✓ Утворення вторинного забруднення при взаємодії викидів з атмосферою.
- ✓ Ризик кислотних дощів.



Вибух нафтобази під час війни: вплив на атмосферне повітря

Масштаби і наслідки

- ✓ У разі вибуху 1 великого резервуара може виділитися десятки тонн забруднювачів у повітря.
- ✓ Зона впливу - до 50 км і більше залежно від погоди.





Символічна карта з поділом на
 чотири зони:
 Зелена - чисте повітря
 Жовта - помірно забруднене
 Червона - токсичне повітря
 Чорна - критичне забруднення.

Стратегії зменшення впливу військових дій на атмосферне повітря

У сучасному світі, де війна має не лише гуманітарні, а й екологічні наслідки, надзвичайно важливо розробляти практичні й довгострокові стратегії захисту атмосфери.



Стратегії зменшення впливу військових дій на атмосферне повітря

Мінімізація руйнування цивільної інфраструктури

- ✓ Заборона на обстріли промислових та хімічних об'єктів.
- ✓ Захист нафтобаз, хімі заводів та електростанцій.
- ✓ Дотримання норм міжнародного гуманітарного права.



Стратегії зменшення впливу військових дій на атмосферне повітря

Моніторинг і оперативне реагування

- ✓ Встановлення мобільних станцій моніторингу якості повітря.
- ✓ Збір та обробка супутникових даних (наприклад, Sentinel-5P, MODIS).
- ✓ Раннє виявлення викидів і локалізація осередків горіння.



Стратегії зменшення впливу військових дій на атмосферне повітря

Екологічна протидія пожежам

- ✓ Створення протипожежних бар'єрів.
- ✓ Швидке гасіння загорянь на територіях із легкозаймистими матеріалами.
- ✓ Використання дронів для виявлення і контролю осередків диму.



Стратегії зменшення впливу військових дій на атмосферне повітря

Обеззараження територій після бойових дій

- ✓ Проведення очищення від залишків боєприпасів, уламків, токсичних матеріалів.
- ✓ Дегазація територій після застосування хімічної або фосфорної зброї.
- ✓ Утилізація забруднених ґрунтів або їх ізоляція.



Стратегії зменшення впливу військових дій на атмосферне повітря



Освіта, наука та міжнародна співпраця

- ✓ Підготовка фахівців з військової екології.
- ✓ Співпраця з міжнародними екологічними організаціями.
- ✓ Введення екологічної оцінки при плануванні військових операцій.



Стратегії зменшення впливу військових дій на атмосферне повітря

Екоспрямоване відновлення

- ✓ Рекультивація пошкоджених ландшафтів.
- ✓ Висадка рослин, здатних поглинати забруднення (фіторемедіація).
- ✓ Відновлення водно-болотних угідь як природних фільтрів повітря.

