

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФІЗИЧНОЇ ГЕОГРАФІЇ ТА ГЕОЕКОЛОГІЇ**

На правах рукопису
УДК 330.15(477)

**ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА
ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ І БІОТУ**

Галузь знань: **10 – Природничі науки**
Спеціальність: **106 – Географія**
Освітня програма: **«Природнича географія»**

Кваліфікаційна робота магістра
студентки 2 курсу
освітнього рівня магістр
Гавриленко Ольги Олегівни

Науковий керівник:
Гавриленко Олена Петрівна
Кандидат географічних наук, доцент

КИЇВ – 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ...5	
1.1 Джерела забруднення атмосферного повітря.....5	
<i>1.1.1 Пересувні джерела забруднення.....6</i>	
<i>1.1.2 Стаціонарні джерела забруднення.....9</i>	
1.2 Показники забруднення атмосферного повітря над Україною.....11	
РОЗДІЛ 2 ВИДИ ЗАБРУДНЕННЯ ТА ОЦІНКА ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....22	
2.1 Основні джерела надходження у повітря дрібнодисперсного пилу.....22	
2.2 Індекс якості повітря (Air Quality Index)28	
РОЗДІЛ 3 НАСЛІДКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ЛЮДИНИ І БІОТИ ТА ШЛЯХИ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ.....34	
3.1 Вплив забрудненого повітря на здоров'я населення.....34	
3.2 Наслідки атмосферного забруднення для біоти.....41	
3.3 Моніторинг якості атмосферного повітря у м. Київ.....44	
ВИСНОВКИ..... 60	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 63	

ВСТУП

Актуальність теми. XXI століття є періодом глибокого переосмислення проблем, пов'язаних зі станом навколишнього середовища та пошуком нових ефективних і раціональних способів їх розв'язання. Проблема забруднення атмосферного повітря – одна з найсерйозніших глобальних проблем, з якими нині зіткнулося людство.

Стан атмосферного повітря безпосередньо впливає на тривалість і якість життя суспільства. Зі зростанням рівня урбанізації підвищується і техногенне навантаження на довкілля, і як результат – руйнується екологічний баланс планети. Швидкий розвиток міст, збільшення типів і кількості транспортних засобів та стаціонарних джерел забруднення – всі ці фактори викликають дисбаланс природного складу атмосферного повітря. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), вплив побутових та зовнішніх забруднень атмосферного повітря дрібнодисперсними твердими частинками спричиняє приблизно 7 мільйонів передчасних смертей щорічно, а значна кількість людей отримують інвалідність.

Забруднення атмосферного повітря є однією з найважливіших проблем сучасної України. Рівень забрудненості повітря дрібнодисперсним пилом та іншими шкідливими речовинами у більшості міст України багатократно перевищує рівень світових гранично допустимих концентрацій. Що безумовно позначається на здоров'ї населення і стані довкілля. Тому детальне дослідження якості атмосферного повітря в Україні, а також розроблення рекомендації щодо покращення його стану нині є дуже актуальним.

Метою дослідження є відобразити сучасний стан атмосферного повітря в Україні загалом і м. Київ зокрема та з'ясувати вплив забрудненого повітря на здоров'я населення і біоту.

Відповідно до мети дослідження поставлено наступні **завдання**:

- визначити сутність і механізми забруднення атмосферного повітря;

- проаналізувати сучасний стан атмосферного повітря в Україні;
- розглянути джерела та види забруднення атмосферного повітря;
- оцінити наслідки забруднення повітря для людини і біоти;
- дослідити стан забруднення та індекс якості повітря у м. Київ;
- окреслити шляхи мінімізації забруднення атмосферного повітря в Україні.

Об’єктом дослідження є сучасний стан атмосферного повітря в Україні та небезпечні наслідки його впливу на людину і біоту.

Предметом дослідження є види забруднення атмосферного повітря в Україні та оцінка його якості.

Методи дослідження. У даній роботі використано низку як загальнонаукових, так і специфічних методів, зокрема: абстрактно-логічний – у визначенні мети і завдань дослідження; аналітико-монографічний – у вивченні літературних джерел, законодавчих актів у сфері охорони атмосферного повітря; метод групування – у систематизації й класифікації джерел забруднення атмосферного повітря; статистико-економічний – у процесі збору даних; метод математичної обробки результатів дослідження – у здійсненні обробки даних за допомогою електронних таблиць MS Excel 2018.

Джерела дослідження. При написанні роботи було використано нормативні акти, підручники, навчальні посібники, статті провідних фахівців із досліджуваної проблематики.

Наукова новизна отриманих результатів. Проведений аналіз дозволив оцінити стан атмосферного повітря над Україною, наслідки його впливу на людину і біоту та шляхи їх мінімізації.

Обсяг та структура роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Обсяг роботи – 69 сторінок, перелік використаних джерел містить 58 пунктів. У роботі наявні 33 рисунки і 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ

1.1 Джерела забруднення атмосферного повітря

Статтею 1 Закону України від 16 жовтня 1992 року №2707-ХІІ «Про охорону атмосферного повітря» зі змінами та доповненнями визначено, що 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 [11].

Забрудники повітря можуть бути віднесені до категорії первинних або вторинних. Первинні забрудники безпосередньо викидаються в атмосферу, тоді як вторинні забрудники утворюються в атмосфері із забрудників-попередників в результаті хімічних реакцій та мікрофізичних процесів. Забрудники повітря можуть мати природне, антропогенне або змішане походження, в залежності від їх джерел або джерел їх попередників.

Основні первинні забрудники повітря включають тверді частинки (PM), чорний вуглець, оксиди сірки, оксиди азоту (що включає як оксид азоту, так і діоксид азоту), аміак, вуглець монооксид, метан, неметанові леткі органічні сполуки, включаючи бензол, а також деякі метали та поліциклічні ароматичні вуглеводні, включаючи бензопірен.

Основними вторинними забрудниками повітря є тверді частинки, озон, оксид азоту та кілька окислених летких органічних сполук. Основними газами-попередниками для вторинних твердих частинок є діоксид сірки, інші форми оксидів азоту, аміак та леткі органічні речовини. Гази діоксида сірки, оксидів азоту та аміак реагують в атмосфері з утворенням твердих частинок сульфату, нітратів та амонію. Ці сполуки утворюють нові частинки в повітрі або конденсуються на вже існуючі, утворюючи вторинні неорганічні тверді частинки. Деякі леткі органічні речовини окислюються, утворюючи менш леткі сполуки,

які утворюють вторинні органічні аерозолі. Приземний (тропосферний) озон утворюється внаслідок хімічних реакцій у присутності сонячного світла після викидів газів-попередників, головним чином оксидів азоту, летких органічних речовин, монооксиду вуглецю і метану. Ці попередники можуть мати як природне (біогенне), так і антропогенне походження [18].

1.1.1 Пересувні джерела забруднення

Основним джерелом забруднення атмосферного повітря є автомобільний транспорт. Швидке зростання чисельності автомобільного парку підсилює супутні автомобілізації негативні процеси, особливо гостро вони проявляються у великих містах. Транспортування передбачає спалювання викопного палива для отримання енергії, перетвореної в рух. Автомобільний транспорт забруднює атмосферу трьома шляхами: викидом шкідливих речовин, разом із відпрацьованими газами, проникненням газу в картер двигуна та викидом шкідливих речовин, спричинених випаровуванням палива в паливному баку та карбюраторі та витоком палива. Перший шлях є головним, він забезпечує близько 2/3 шкідливих викидів автомобілів в атмосферу [4].

Забруднення створюється внаслідок неповних реакцій вуглецю, незгорілих вуглеводнів або інших елементів, присутніх в паливі або повітрі при згорянні. Ці процеси утворюють забруднювальні речовини різних видів, включаючи чадний газ, сажу, різні газоподібні і рідкі пари вуглеводнів, оксиди сірки і азоту, сульфатні і нітратні частки, золу і свинець. При згорянні також утворюється діоксид вуглецю, основний парниковий газ. Автомобільний транспорт виділяє важкі метали, такі як: хром, ртуть, нікель, цинк, миш'як, кадмій, залізо, берилій, марганець. Деякі з них (миш'як, ртуть, кадмій, свинець) можуть бути дуже токсичними при навіть дуже низьких концентраціях [1].

Серед інших видів транспорту, наприклад, в авіації є ряд відмінностей: двигуни в основному використовуються газотурбінні і це визначає відмінну

структуру викидів вихлопних газів; до зміни компонентів забруднювальних речовин призводить використання такого палива як гас. Характеристика впливу авіаційного транспорту на навколишнє середовище пов'язана насамперед із тим, що сучасні авіаційні та вертолітні парки мають двигуни з газовими турбінами. В газовій турбіні використовується авіаційне паливо, яке має інший хімічний склад та якість, і відрізняється від бензину та дизельного палива для локомотивів (має меншу кількість механічних домішок та сірки). Літак безпосередньо виділяє велику кількість вихлопних газів у повітря на відносно великій висоті, високій швидкості поблизу аеропортів та житлових районів. Викид токсичних речовин із літаків можна приблизно оцінити за кількістю палива, яке вони споживають, що становить близько 4% від загального споживання пального за всіма видами транспорту. Тому частка забруднення атмосферного повітря за межами району аеропорту порівняно невелика. Основними речовинами, що забруднюють навколишнє середовище є: чадний газ, незгорілі вуглеводні, оксиди азоту та сажа. Під час руху на холостому ході та руху на рульовій дорозі вміст оксиду вуглецю та вуглеводнів у вихлопних газах значно збільшується при посадці, але зменшується вміст оксиду азоту; в стабільному режимі, коли двигун працює без перевантаження, і його потужність становить від 35 до 50 % за оптимальних параметрів, вміст оксиду вуглецю та вуглеводнів зменшується, але виділення оксидів азоту збільшується. Максимальний викид диму та сажі відбувається під час зльоту та зміни висоти, коли перевантаження двигуна в 1,1-1,2 рази перевищує номінальну потужність. Крім того, за даними джерела [30] під час посадки та зльоту літака (при нагріванні двигуна літака) найбільше забруднення відбувається в районі аеропорту. За оцінками, 300 трансконтинентальних пасажирських літаків виконують вильоти щодня, в атмосферу потрапляє 3,7 т окису вуглецю, 2 види вуглеводнів і 1,7 т оксидів азоту. У цьому випадку забруднювальні речовини будуть надходити в атмосферу відповідно до розкладу аеропорту. Під час роботи двигуна при посадці та зльоту літака у довкілля

потрапляє найбільша кількість чадного газу і з'єднань вуглеводнів, а під час польоту - максимальна кількість оксидів азоту.

Серед залізничного транспорту вихлопні гази дизельних локомотивних двигунів мають найбільш відчутний негативний вплив на навколишнє середовище. Шкідливі речовини, які потрапляють в атмосферу від транспортних підприємств, енергостанцій та транспортних засобів, розчиняються у повітрі та транспортуються повітряними потоками на великі відстані. Дифузія забруднювальних речовин зменшує концентрацію шкідливих речовин у зоні скидів, але одночасно і збільшує площу забрудненого повітря.

Вони містять оксид вуглецю, оксиди та діоксид азоту, різні вуглеводні, діоксид сірки та сажу. Вміст діоксиду сірки залежить від її вмісту в дизельному паливі та вмісту інших домішок - залежно від способу згоряння та способу наддуву та завантаження двигуна.

Серед водного транспорту у даний час переважна більшість кораблів оснащені дизельними двигунами. Невелика кількість кораблів обладнана паровими турбінами, і за останні роки їх кількість зменшилась (через нижчий коефіцієнт корисної дії, ніж у дизельного палива). Наразі газові турбіни на водному транспорті зустрічаються дуже рідко. Зазвичай, як паливо для водного транспорту використовуються залишки важкого мазуту, через його переваги в економії палива. Однак, це паливо містить високий рівень асфальту, залишки вуглецю, сірки та металевих сполук, а також має високу в'язкість, низьке цетанове число та низьку летючість. Під час процесу горіння в морських дизельних двигунах, котлах та сміттєспалювальних установках ці види палива можуть утворювати значну кількість чорного диму, твердих частинок, оксидів азоту, незгорілих вуглеводнів, оксидів сірки, окиси вуглецю, вуглекислий газ, тощо [23].

1.1.2 Стационарні джерела забруднення

Стационарним джерелом забруднення є підприємство, цех, агрегат, установка або інший нерухомий об'єкт, що зберігає свої просторові координати протягом певного часу і здійснює викиди забруднювальних речовин в атмосферу та/або скиди забруднювальних речовин у водні об'єкти - це визначено п.п. 14.1.230 п. 14.1 ст. 14. Податкового кодексу України [10].

Від промислових підприємств і об'єктів енергетики в повітряне середовище викидається понад 150 найменувань шкідливих речовин, основними з яких є оксиди сірки, азоту, вуглецю, вуглеводні, аміак, сірководень, фтористий водень, важкі метали, бензапірен та ін.

Аналіз видів виробництв і якісного складу викидів [12] показав, що найбільшими забруднювачами атмосфери діоксидом сірки і необробленими вуглеводнями в регіоні є підприємства паливно-енергетичного та нафтогазового комплексів. Паливно-енергетичний комплекс є, також, основним джерелом емісії в атмосферу двоокису вуглецю і метану, які створюють парниковий ефект, що викликає глобальну зміну клімату. Значними джерелами забруднення повітря газоподібними домішками і важкими металами є гірничодобувні і металургійні підприємства. Підприємства хімічної промисловості викидають в атмосферу специфічні забруднювальні речовини: пил аміачної селітри, оксиди азоту, аміак, фенол, органічні розчинники. Будівельна промисловість і виробництво цементу є головними джерелами виділення пилу. Серйозну загрозу представляє група хімічних речовин, відомих як стійкі органічні забруднювачі, до яких відносяться пестициди, промислові хімічні речовини - гексахлорбензолу, ПХБ, а також нецільові побічні продукти - діоксини та фурани.

В процесі спалювання твердого або рідкого палива в атмосферу від теплових та атомних електростанцій та котельних установок виділяється дим, що містить продукти повного (діоксид вуглецю і пари води) і неповного (оксиди вуглецю, сірки, азотом, вуглеводні та інші) згоряння. Обсяг енергетичних викидів

дуже великий. Так, сучасна теплоелектростанція потужністю 2, 4 млн кВт витрачає до 20 тис т вугілля на добу і викидає в атмосферу 680 т оксиду сірки, твердих частинок, золи, пилу, сажі, і 200 т оксидів азоту [2].

Перехід установок на рідке паливо – мазут – знижує викиди золи, але практично не знижує викиди оксидів азоту та сірки. Найбільш екологічним є газове паливо, яке набагато менше забруднює атмосферне повітря, ніж мазут і вугілля (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1. Основні види газових і аерозольних викидів енергетичних об'єктів [2]

Паливо	Аерозолі		Гази					
	Зола	Сажа	CO ₂	H ₂ O	NO ₂	SO ₂	NO	CO
Природний газ	-	-	+	+	+	-	+	+
Мазут	+	+	+	+	+	+	+	+
Вугілля	++	+	+	+	+	+	+	+

У таблиці вище використані символи вказують на ймовірність появи певних викидів під час згорання різних видів палива: ++ – дуже висока; + – висока; - – низька або взагалі відсутня.

Забрудниками на атомних електростанціях є радіоактивний йод, радіоактивні інертні газів й аерозолі. Значний вплив, також, має опалювальна система житла (котельні установки), яка виділяє мало оксидів азоту, але багато продуктів неповного згорання. Через незначну висоту димових труб токсичні речовини у високих концентраціях розсіюються поблизу котельних установок.

У чорній та кольоровій металургії при виплавці сталі в атмосферу викидаються тверді частинки, оксиди сірки й оксид вуглецю, а також у невеликих кількостях інші небезпечні забрудники, як марганець, свинець, фосфор, миш'як,

пари ртуті. У процесі сталеплавильного виробництва в атмосферу викидаються парогазові суміші, які складаються із фенолу, формальдегіду, бензолу, аміаку та інших токсичних речовин. Значні викиди газів та пилу, який вміщають в себе токсичні речовини, відмічаються на заводах кольорової металургії при переробці свинцево-цинкових, мідних, сульфідних руд, а також при виробництві алюмінію.

Викиди від підприємств хімічної промисловості хоча й невеликі за об'ємом, але тим не менш, через свою високу токсичність, значну різноманітність та високу концентрацію передбачають значну загрозу. На різних хімічних виробництвах в атмосферне повітря викидаються такі забруднювальні речовини як: оксиди сірки, з'єднання фтору, аміак, та ін. гази (суміш оксидів азоту, хлористі сполучення, сірководень, неорганічний пил).

Сільське господарство є джерелом емісії в атмосферу органічних кислот, вуглекислого газу, метану, закису азоту, оксидів азоту, аміаку та відновлених сполук сірки, такі як сірководень. Наприклад, у всьому світі сектор тваринництва, за оцінками, відповідає за приблизно 18% усіх викидів парникових газів, 65% антропогенного закису азоту, 37% антропогенного метану та 64% антропогенного аміаку. Аміак відіграє значну роль у формуванні твердих частинок $PM_{2,5}$, а збільшення аміаку може посилити їх концентрації. Такі сполуки, як аміак, сірководень та леткі органічні сполуки відіграють важливу роль у формуванні таких критеріїв забруднювальних речовин, як тропосферний озон, оксид сірки та тверді частинки $PM_{2,5}$, а також у підкисленні та евтрофікації екосистем [30].

1.2 Показники забруднення атмосферного повітря над Україною

За даними Державної служби статистики України [6] за 2019 рік в атмосферу України було викинуто 4119,0 тис т забруднювальних речовин, що на 0,000005 % менше ніж у попередньому 2018 році (на 2,2 тис т). У 2018 році було

викинуто 41121,2 тис т забруднювальних речовин – 2508,3 тис т стаціонарними джерелами забруднення повітря і 1612,9 тис т пересувними.

Якщо аналізувати дані за джерелами викидів, то в 2019 році було викинуто майже 2459,5 тис т стаціонарними джерелами забруднення повітря (це 59,7% від загального обсягу забруднення повітря в Україні), і 1659,5 тис т, пересувними – що становить 40,3 % від загального обсягу. Кількість викидів забруднювальних речовин від стаціонарних джерел на одну особу становила 39,2 кг (29,9 кг оксиду вуглецю, 4,3 кг оксиду азоту, 3,9 кг органічних сполук, 0,6 кг сажі та 0,5 кг діоксиду сірки) (рис. 1.1).

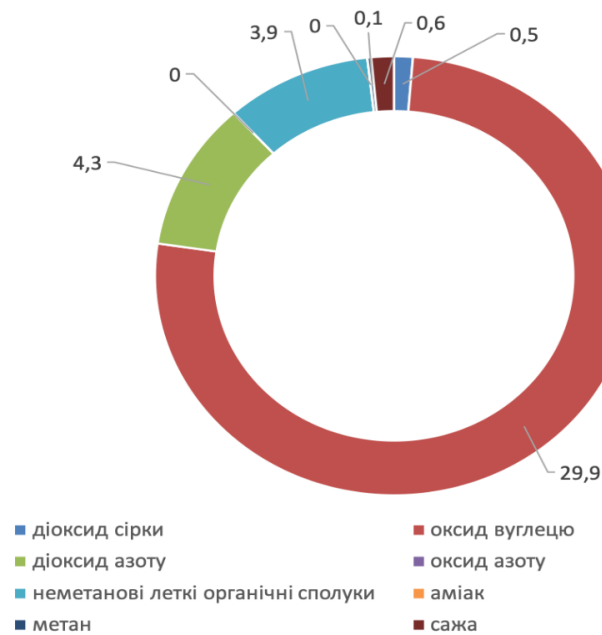


Рис. 1.1. Обсяги викидів забруднювальних речовин на одну особу в 2019 році, кг [6]

Дані показують, що у 2020 році даний показник сягнув до 42,6 кг - 32,5 кг оксиду вуглецю, 4,5 кг оксиду азоту, 4,2 кг органічних сполук, 0,7 кг сажі та 0,5 кг діоксиду сірки. За попередніми даними, в 2020 році від пересувних джерел забруднення було викинуто 1778,6 тис забруднювальних речовин, на жаль, дані щодо загальної кількості викидів та викидів від стаціонарних джерел відсутні.

Також, стаціонарні джерела забруднення в 2019 році зменшили обсяг викидів забруднювальних речовин у порівнянні з попереднім 2018 роком (2508,3 тис т) на 2% (або 48,8 тис т).

Серед викидів окремих забруднювальних речовин від стаціонарних джерел забруднення у 2019 році викиди діоксиду сірки становили 676 тис т, діоксиду азоту – 205,1 тис т, оксиду вуглецю – 748,3 тис т, неметанових органічних сполук – 42,5 тис т, аміаку – 17,9 тис т, твердих частинок – 310,3, із них: більше 2,5 мкм та менше 10 мкм -65,7 тис т, 2,5 мкм та менше – 24,6 тис т (рис. 1.2). Для порівняння, дані за 2018 рік відображені у вигляді діаграми (рис. 1.3).



Рис. 1.2. Викиди окремих забруднювальних речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2019 році, тис т [6]

Також, серед інших забруднювальних речовин у 2019 році були викинуті: арсен – 33,8 т, мідь – 67,7 т, нікель – 41 т, ртуть – 4,9 т, свинець – 69,5 т, оксид алюмінію – 577,6 т, фреони – 42,6 т, озон – 12,2 т. Регіональний аналіз викидів від стаціонарних джерел забруднення свідчить про те, що найвищі їх обсяги спостерігаються у Донецькій області – 773,5 тис т, Дніпропетровській – 576.9 тис

т, Івано-Франківській – 205,0 тис т, Запорізькій – 173,4 тис т, Харківській області – 106.5 тис т (табл. 1.2) [6].

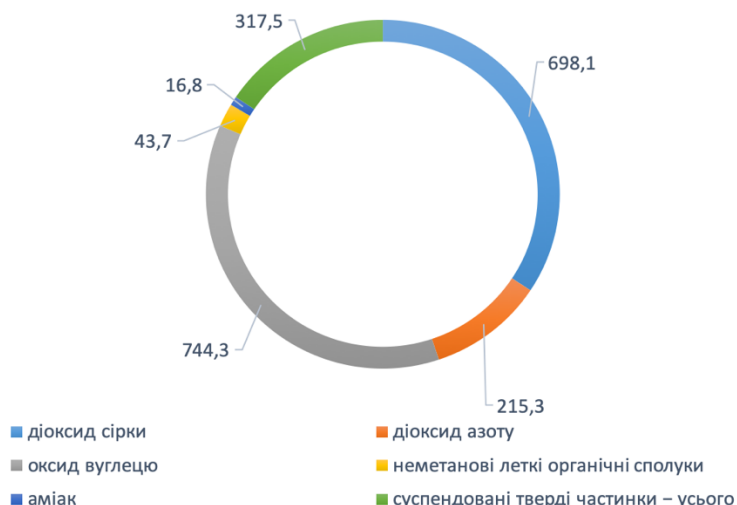


Рис. 1.3. Викиди окремих забруднювальних речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2018 році, тис т [6]

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України топ-10 найбільших підприємств-забруднювачів за викидами в атмосферне повітря складають такий список:

1. ПрАТ «ММК ім. Ілліча»
2. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
3. ВП «Бурштинська ТЕЦ» ПАТ «ДТЕК Західенерго»
4. ВП «Курахівська ТЕС» ТОВ «ДТЕК Східенерго»
5. ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»
6. ВП Запорізька ТЕС ПАТ ДТЕК «Дніпроенерго»
7. ПрАТ «МК «Азовсталь»
8. ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат
9. Вуглегірська ТЕС ПАТ «Центренерго»
10. ВП «Ладизинська ТЕС» ПАТ «ДТЕК Західенерго» [8].

Таблиця 1.2. Викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря
стаціонарними джерелами у 2019 році [8]

	Область	тис т	у % до загальної кількості
1	Донецька	773,5	31,45
2	Дніпропетровська	576,9	23,46
3	Івано-Франківська	205,0	8,34
4	Запорізька	173,4	7,05
5	Харківська	106,5	4,33
6	Вінницька	99,7	4,05
7	Львівська	88,9	3,61
8	Київська	84,4	3,43
9	Черкаська	51,8	2,11
10	Полтавська	51,0	2,07
11	Луганська	37,4	1,52
12	Одеська	31,1	1,35
13	Чернігівська	27,5	1,12
14	м. Київ	22,3	0,91
15	Сумська	21,7	0,88
16	Хмельницька	20,3	0,83
17	Херсонська	17,8	0,72
18	Кіровоградська	12,8	0,52
19	Житомирська	12,7	0,52
20	Миколаївська	12,1	0,49
21	Рівненська	9,9	0,40
22	Тернопільська	9,4	0,38
23	Волинська	5,3	0,22
24	Закарпатська	3,7	0,15
25	Чернівецька	2,4	0,10
Всього		2 459,5	100

Серед викидів окремих забруднювальних речовин від пересувних джерел забруднення у 2019 році викиди діоксиду сірки становили 18,7 тис т, діоксиду азоту – 172,1 тис т, оксиду вуглецю – 2021,1 тис т, неметанових органічних сполук – 165,6 тис т, аміаку – 0.007 тис т [8].

Незважаючи на кризу та скорочення населення, кількість автомобільних перевезень в Україні стабільно зростає. Це призводить до заторів у міській дорожній мережі та посилює соціально-економічні, санітарні та технічні проблеми, пов'язані зі здоров'ям людей та управління дорожнім рухом. У структурі викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря від

стаціонарних джерел забруднення за видами економічної діяльності переважають електроенергетика, переробна та добувна промисловості (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3. Викиди забруднювальних речовин від стаціонарних джерел забруднення за видами економічної діяльності у 2019 році [6]

Види економічної діяльності	Кількість викидів, тис т
Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	418,9
Переробна промисловість	890,3
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	960,7
Водопостачання, каналізація, поводження з відходами	18,9
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	53,9

Від стаціонарних джерел забруднення за видами економічної діяльності по регіонах найбільше викидів здійснили підприємства: добувної промисловості та розроблення кар'єрів у Дніпропетровській, Донецькій, Львівській, Харківській, Полтавській та Луганській областях; переробної промисловості у Дніпропетровській, Донецькій, Запорізькій, Полтавській, Хмельницькій та Черкаській областях; постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря у Донецькій, Івано-Франківській, Вінницькій, Харківській та Київській областях; водопостачання, каналізації, поводження з відходами у Дніпропетровській, Черкаській, Київській та Сумській областях; транспорту, складського господарства, поштової та кур'єрської діяльності у Полтавській, Львівській, Івано-Франківській, Вінницькій областях [6].

У 2020 році було опубліковано дослідження «Забруднення повітря в Україні – погляд з космосу» [17], у якому використовувались дані дистанційного

моніторингу європейської супутникової місії Sentinel-5P, і дані основних європейських моделей, які надав Європейський центр прогнозування погоди.

Воно показало, що діоксид азоту розподіляється на території України майже однорідно (рис. 1.4), але в декількох регіонах значення вищі за середні показники по країні. Це такі області як Київська, Донецька, Запорізька, Харківська і Дніпропетровська. Висока концентрація діоксиду азоту добре корелює з розподілом найбільших міст країни і розташуванням деяких галузей - металургійної, коксохімічної, нафтохімічної.

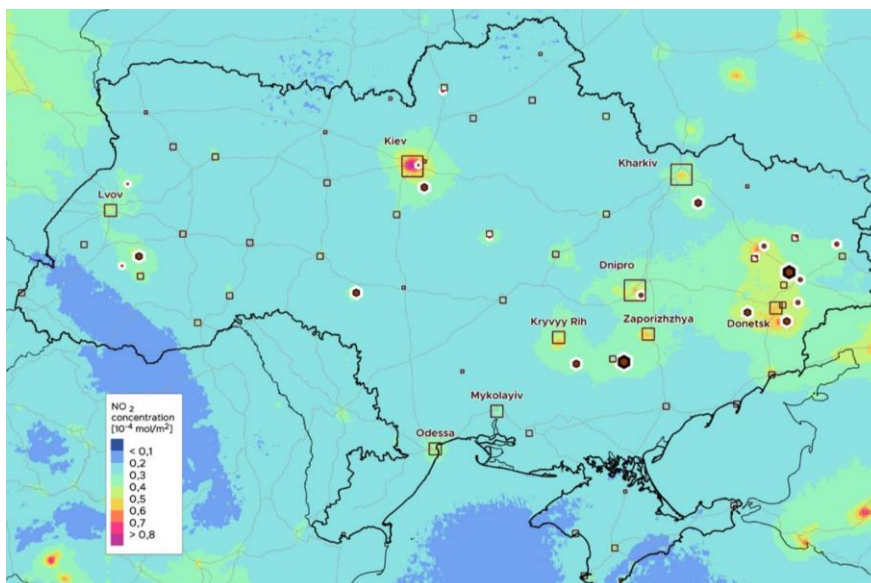


Рис. 1.4. Середні концентрації діоксиду азоту на території України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року [17]

Висока щільність населення призводить до збільшення викидів автомобільних транспортних засобів, а також виробництва електроенергії на вугільних заводах. Крім того, всі десять районів Києва є частиною 15 найбільш забруднених територій країни діоксидом азоту (Шевченківський та Печерський райони показали найвищі концентрації).

У показниках оксиду вуглецю встановлюється природна висока негативна кореляція між його концентраціями та відносними висотами. Найнижчі

концентрації оксиду вуглецю спостерігалися над Карпатськими та Кримськими горами, а найвищі у Дніпровській та Чорноморсько-Азовській низовинах (рис. 1.5). Ці дані характеризуються природним колообігом оксиду вуглецю в атмосферному повітрі.

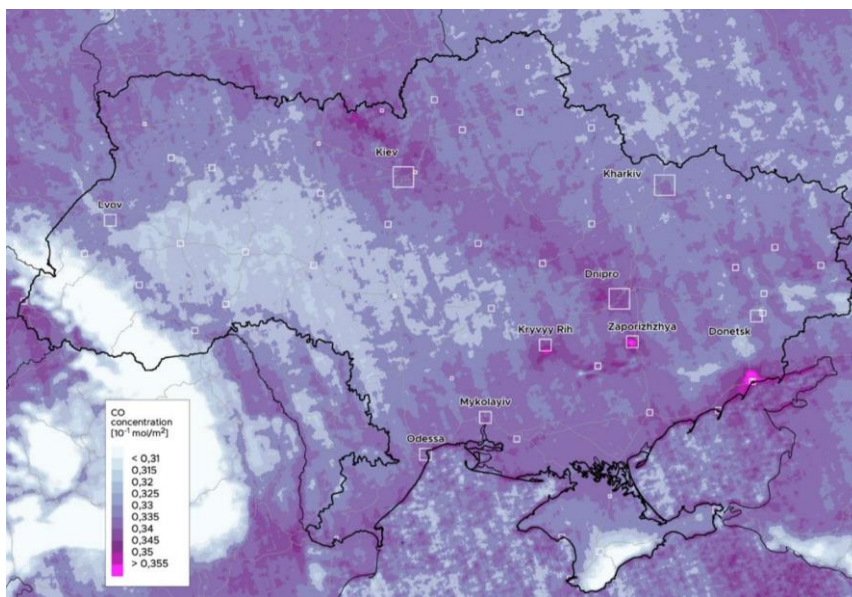


Рис. 1.5. Середні концентрації оксиду вуглецю на території України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року [17]

Але значну концентрацію також помітно у Маріуполі, Запоріжжі, Кривому Розі (основні центри виробництва сталі розташовані у низинних місцевостях) та на південному заході Карпатських гір. Найвищі показники спостерігалися у м. Київ, Херсонській, Запорізькій та Дніпропетровській областях, а найнижчі були у Івано-Франківській, Закарпатській та Чернівецькій областях.

Концентрація діоксиду сірки показує, що забруднення є незначним, якщо порівнювати дані зі світовими територіями з максимальними показниками. Пік значень середньої концентрації діоксиду сірки зафіксований на територіях з діючими вугільними шахтами та важкою промисловістю (рис. 1.6). Це такі

регіони як Донецька область, м. Київ, Дніпропетровська, а також, Запорізька області.

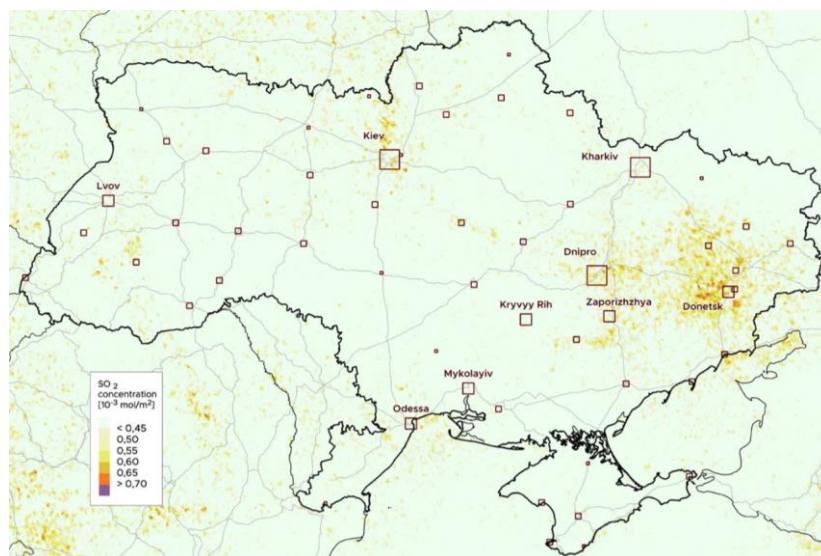


Рис. 1.6. Середні концентрації SO_2 на території України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року [17]

Середні значення концентрації формальдегіду розподілені майже рівномірно по всій території (рис. 1.7). Але у м. Київ та на сході України все ж спостерігається підвищення концентрацій (на це впливає видобуток вугілля у Донбасі, інші галузі промисловості та високе навантаження транспортом).

Розподіл середніх концентрацій $\text{PM}_{2.5}$ на території України збільшується з півночі на південь та південний схід країни, де спостерігалися найвищі концентрації (рис. 1.8). Загалом до найбільш забруднених територій твердими частинками належать Донецька, Дніпропетровська, Запорізька області та м. Київ. Крім того, налічується 137 районів, у яких викиди перевищували норми, встановлені ВООЗ. Найнижчі показники концентрацій було виявлено у Сумській, Чернівецькій та Житомирській областях.

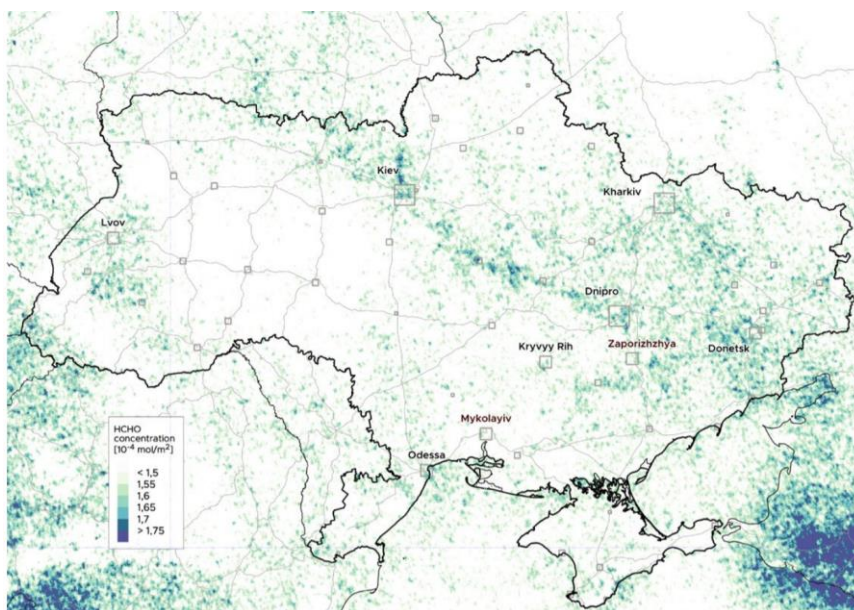


Рис. 1.7. Середні концентрації формальдегіду на території України у період з травня 2018 року по квітень 2020 року [17]

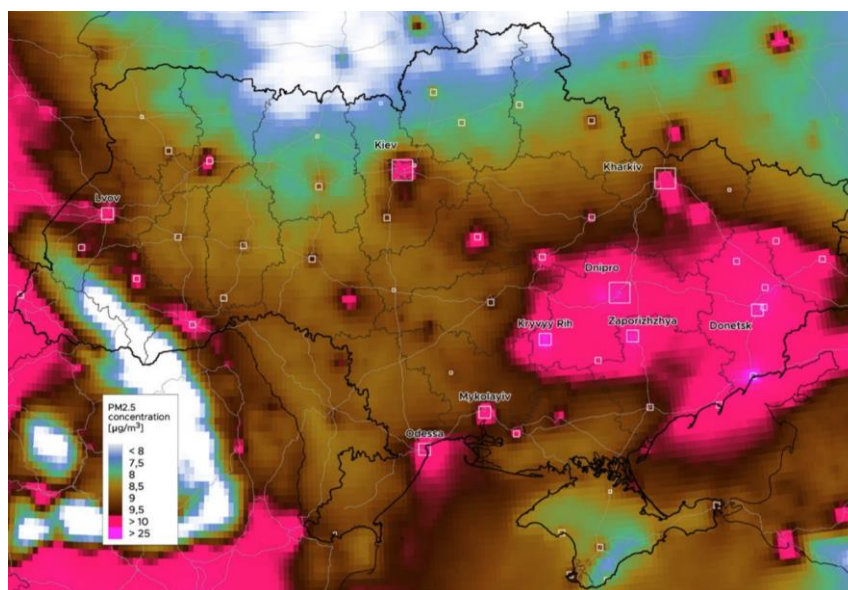


Рис. 1.8. Середні концентрації $PM_{2.5}$ на території України у період з липня 2017 по липень 2020 року [17]

Розподіл середніх концентрацій PM_{10} , також, має тенденцію збільшення з півночі на південь та південний схід країни, де спостерігалися найвищі концентрації (рис. 1.9). В окремих частинах Кривого Рогу, Дніпра, Запоріжжя та

Донецька було зафіксовано перевищення граничної середньорічної концентрації PM_{10} . Найбільш забрудненими територіями твердими частинками даного розміру є Донецька, Дніпропетровська та Запорізька області.

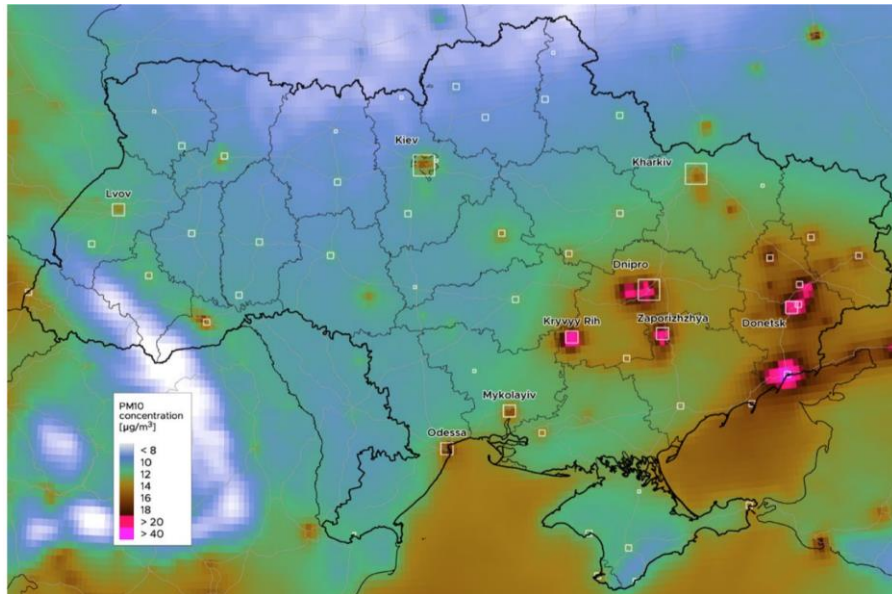


Рис. 1.9. Середні концентрації PM_{10} на території України у період з липня 2017 року по липень 2020 року [17]

Отже, джерела забруднення поділяються на 2 види: пересувні та стаціонарні. Найбільш поширеними забруднювальними речовинами в атмосферному повітрі є дрібнодисперсні тверді частки ($PM_{2,5}$ та PM_{10}), озон, діоксид азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю та вуглекислий газ. Загалом областями з найбільш забрудненим атмосферним повітрям в Україні є Донецька, Дніпропетровська, Київська, Запорізька та Луганська області. Містами з найвищими показниками забруднення є Дніпро, Донецьк, Кривий Ріг, Маріуполь, Київ, Запоріжжя.

РОЗДІЛ 2 ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗВАЖЕНИМИ ТВЕРДИМИ ДРІБНОДИСПЕРСНИМИ ЧАСТИНКАМИ

2.1 Основні джерела надходження у повітря дрібнодисперсного пилу

Тверді частинки (PM) - це термін, що використовується для опису конденсованих фазових (твердих або рідких) частинок, які знаходяться в атмосфері. У верхніх шарах атмосфери тверді частинки виступають в ролі реакційного центру на забруднювачі повітря. В нижніх шарах атмосфери тверда речовина змінює атмосферну видимість і змінює біогеохімічні цикли. Найбільш критичні наслідки спостерігаються у приземному шарі повітря, де тверді частинки погіршують стан здоров'я людини.

Більші частинки - ті, що перевищують 10 мкм в діаметрі - швидко осідають в атмосфері, тому рідше вдихаються, вони ефективно фільтруються носовою системою та верхніми дихальними шляхами, якщо їх вдихати. Як наслідок - такі частинки як завислий дорожній пил, не вважаються значним ризиком для здоров'я. Велика кількість досліджень вказує на більш дрібні частинки (менше, ніж 2,5 мкм в діаметрі) як на ті, що є набагато шкідливішими для здоров'я людини, ніж PM₁₀ (частинки з діаметром менше 10 мкм).

Однак багато частинок, пов'язаних зі згорянням викопного палива та зносом шин та гальм, є досить малого розміру, щоб вони могли потрапляти глибоко в легені, і їм потрібно більше часу для осідання в атмосфері. Ці частинки, що вдихаються, утворюються в результаті згоряння палива - не тільки в самій камері згоряння, але й потенційно хвилинами, годинами або навіть днями пізніше, оскільки газоподібні забруднювачі вступають в реакції один з одним в атмосфері незліченну кількість разів. Викликають занепокоєння аерозолі, що утворюються при згорянні, які включають вуглецеві частинки (сажу та розчинні сполуки вуглецю, що утворюються із вуглецю, що присутній у паливі та мастильних оліях), сульфати (із сірки, що міститься у паливі та мастилі),

частинки на основі нітратів (від азоту, який присутній у повітряно-паливній суміші), та золи (від незначних кількостей металевих добавок у мастилі).

Вуглець, який присутній у паливі, може сприяти утворенню вуглецевих твердих частинок шляхом утворення сажі - особливо у двигунах із запаленням від стиску, та через викиди частинок нелетких та напівлетючих вуглеводнів (розчинні органічні фракції або SOF). Нерідко SOF абсорбуються частинками сажі, додаючи як масу, так і об'єм до викидів твердих частинок. Хоча ці процеси зазвичай відбуваються під час горіння, напівлетючі вуглеводні можуть перетворюватися в атмосфері з газоподібної у тверду фазу, сприяючи вторинному утворенню твердих частинок. Оскільки вуглеводні в бензині переважно летючі, тверді частинки є частішою проблемою для дизельного палива (хоча фальсифікація або неправильне змішування мастильних олій у бензині може спричинити значні викиди твердих частинок). На сажу та SOF зазвичай припадає понад 60% твердих частинок навколишнього середовища [33].

Тверді частинки можуть бути як первинними, так і вторинними та бути різних розмірів. Первинними називають атмосферні частинки, які викидаються безпосередньо в атмосферу. Це багато видів атмосферних первинних аерозолів, таких як дим, пил та морські аерозолі. За даними, вказаними в дослідженні Н. П. Гіллета [31] аерозолі піщаного пилу мають не тільки природні джерела, але й штучні, включаючи міський фугітивний пил з мінеральних аерозолів, що утворюються в результаті промислової діяльності, таких як: повністю спалений вугільний пил, фізичне вивітрювання матеріалу доріг, відкриті ділянки будівництва, цемент та штучний пил, що утворюється внаслідок діяльності людини, наприклад, сільськогосподарської. Серед неантропогенних джерел твердих частинок можна назвати пожежі та вітровий пил. Загалом, первинними є тверді частинки більшого діаметру.

Вторинні частинки утворюються в атмосфері внаслідок хімічних реакцій, що включають первинні викиди. Таким чином, ці частинки можуть утворюватися

в місцях, віддалених від джерел, що виділяють первинні забруднювальні речовини. Прикладами є сульфати, що утворюються внаслідок викидів діоксиду сірки з електростанцій та промислових об'єктів, та нітрати, що утворюються з оксидів азоту, що виділяються з електростанцій, пересувних джерел та інших джерел згоряння. Відновлені сполуки сірки та азоту окислюються до твердих частинок сульфату та нітрату відповідно. Амоній є загальним катіоном (позитивно зарядженим іоном), включеним із газової фази у фазу частинок для нейтралізації цих кислотних вторинних речовин, хоча, також, у даних реакціях часто присутні натрій, кальцій та інші катіони [32]. На відміну від PM_{10} , набагато більша частина дрібних $PM_{2.5}$ містить вторинні частинки.

Новоутворені вторинні частинки можуть мати розмір 1–2 нм у діаметрі ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), тоді як частинки грубого пилу та морської солі можуть становити 100 мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$) або 0,1 мм в діаметрі. Однак дуже великі частинки мають коротке атмосферне існування – вони, як правило, швидко випадають в осад.

Таким чином, в атмосфері існує мало частинок, що перевищують 20 мкм в діаметрі, за винятком районів, дуже близьких до джерел викидів. Тверді частинки можна відокремити від атмосферних газів, витягуючи повітря через фільтр, достатньо дрібний, щоб утримувати частинки, або прискорюючи повітря через струмінь, який випаляє їх у нерухомій пластині, на яку частки збираються. Тверді забруднювачі повітря мають дуже різноманітний хімічний склад, який сильно залежить від їх джерела. Вони також різноманітні за своїм розміром (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Співвідношення розміру твердих частинок до розміру людського волосся [57]

Тверді частинки поділяються на чотири основні категорії (рис 2.2) відповідно до типу та розміру. Забрудники у вигляді газів включають тверді частинки у повітряних масах [42].

Type		PM diameter [μm]
Particulate contaminants	Smog	0.01–1
	Soot	0.01–0.8
	Tobacco smoke	0.01–1
	Fly ash	1–100
	Cement Dust	8–100
Biological Contaminants	Bacteria and bacterial spores	0.7–10
	Viruses	0.01–1
	Fungi and molds	2–12
	Allergens (dogs, cats, pollen, household dust)	0.1–100
Types of Dust	Atmospheric dust	0.01–1
	Heavy dust	100–1000
	Settling dust	1–100
Gases	Different gaseous contaminants	0.0001–0.01

Рис. 2.2. Основні категорії твердих частинок, їх типи та розміри [42]

До твердих забрудників належать: смог, сажа, тютюновий дим, масляний дим, зола та цементний пил. Біологічні забруднювальні речовини - це мікроорганізми (бактерії, віруси, грибки, цвіль та спори бактерій), алергени,

домашній пил та пилок. Пилові забрудники включають завислий атмосферний пил, осідаючий пил та важкий пил [42].

За даними Американського агентства з охорони навколишнього середовища (EPA), тверді частинки є одними із шести загальних забрудників повітря [29]. Загальна кількість зважених частинок (TSP) - це назва частинок розміром приблизно до 50 мкм. Більші частинки цього виду занадто великі, щоб потрапити до наших легень. Вони часто утворюються з вітрового пилу і можуть спричинити забруднення будівель та одягу. Однак зразки TSP можуть також містити дрібні частинки PM_{10} та $PM_{2.5}$ [2].

Основними показниками твердих частинок є PM_{10} , $PM_{2.5}$ та надтонкі частинки (UFP) [45]. PM_{10} і $PM_{2.5}$ – тверді частинки діаметром 10 мікрметрів (мкм), і, відповідно, 2,5 мкм. UFP – це частинки, діаметр яких менше або дорівнює номінальному 0,1 мкм. На сьогоднішній день найбільша кількість частинок потрапляє саме в цей діапазон. UFP домінують над площею забруднення твердими частинками, але не вносять значної частки до їх маси. Частинки цього розміру виникають насамперед від викидів при згорянні та від частинок, що утворюються в процесі перетворення газу в частинки. Вони є нестійкими і переростають у більші частинки завдяки коагуляції та конденсації. У цих частинках переважають сульфати, нітрати, органічний вуглець та елементний вуглець. UFP представляють особливу загрозу для здоров'я, оскільки їх невеликі розміри сприяють більшому проникненню в легені та подальшому проходженню через повітряно-кров'яний бар'єр [38]. Існує безліч доведених зв'язків між цими частинками та гострими або хронічними наслідками для здоров'я [46].

Основними компонентами твердих частинок є метали, органічні сполуки (вимірювані як органічний вуглець), включаючи матеріали біологічного походження, неорганічний вуглецевий матеріал (включаючи вуглець чорний та елементарний), а також сульфат, нітрат, амоній, та інші іони. Більші тверді

частинки (діаметром близько 10 мкм) складаються з великої частини нерозчинних матеріалів. Навпаки, $PM_{2.5}$, включно із надтонкими фракціями, виникають переважно із джерел, пов'язаних із горінням. $PM_{2.5}$ включає частинки з вуглецевим ядром (з приєднаними вуглеводнями та металами), вуглеводні та вторинні частинки, утворені з оксидів сірки та азоту. Повітря, також, містить ряд газоподібних забруднювальних речовин (наприклад, озон, оксид вуглецю, діоксид сірки та оксиди азоту), які викидаються з тих самих джерел і можуть впливати на токсичність складових частин PM .

Типові міські концентрації коливаються від десятків до сотень $мкг/м^3$ для PM_{10} . Для такого міста, як Лондон, може спостерігатися середня концентрація для PM_{10} близько $30 мкг/м^3$; враховуючи площу Лондона (близько $400 км^2$) і припускаючи висоту прикордонного шару в 1 км, це дорівнює приблизно 12 т матеріалу, підвішеного над містом [21]. При аналізі джерела [38] чітка відмінність простежується в тому, що частинки розміром менше 2,5 мкм проникають в альвеоли та кінцеві бронхіоли; більші частинки розміром до 10 мкм осідають переважно в первинних бронхах, а значно більші частинки (до 100 мкм) осідають в носоглотці.

Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) встановлені такі гранично допустимі концентрації для твердих частинок:

- Середньорічні:

Для $PM_{2.5}$: $10 мкг/м^3$

Для PM_{10} : $20 мкг/м^3$

- Середньодобові:

Для $PM_{2.5}$: $25 мкг/м^3$

Для PM_{10} : $50 мкг/м^3$ [56].

Також, стандарти якості повітря для охорони здоров'я були встановлені і для країн ЄС Директивою 2008/50/CE [25]:

- Середньорічні:

Для $PM_{2.5}$: 20 мкг/м^3 (даний показник був актуалізований у 2015 році, до цього діяли норми 25 мкг/м^3)

Для PM_{10} : 40 мкг/м^3

- Середньодобові:

Для PM_{10} : 50 мкг/м^3 ; < 35 перевищень на рік

Наприклад, згідно стандартів якості атмосферного повітря у Канаді норма середньодобової концентрації для $PM_{2.5}$ становить 30 мкг/м^3 , у Мексиці – 65 мкг/м^3 , в Австралії – 25 мкг/м^3 [41].

В Україні на даний момент встановлених нормативів для $PM_{2.5}$ та PM_{10} немає. За даними впорядкованими за середньою концентрацією $PM_{2.5}$ (мкг/м^3), у 2019 році Україна перебувала на 60 місці у рейтингу країн за забрудненням $PM_{2.5}$ із показником 16.6 мкг/м^3 . Найвищими показниками відзначились: Бангладеш – 83.3 мкг/м^3 , Пакистан – $65,8 \text{ мкг/м}^3$, Монголія – 62 мкг/м^3 , Афганістан – 58.8 мкг/м^3 та Індія – 58.1 мкг/м^3 . Найнижчі показники були зафіксовані у Ісландії – 5.6 мкг/м^3 , Віргінських островах США – 3.5 мкг/м^3 та Багамах – 3.3 мкг/м^3 [57].

У вказівках щодо якості повітря ВООЗ підраховано, що зменшення середньорічних концентрацій дрібних твердих частинок ($PM_{2.5}$) з рівнів 35 мкг/м^3 до рівня 10 мкг/м^3 , може зменшити кількість смертей, пов'язаних із забрудненням повітря, приблизно на 15%. За даними ВООЗ у більшості міст світу рівень PM_{10} перевищує рівень гранично допустимих концентрацій [56].

2.2 Індекс якості повітря (Air Quality Index)

Вплив забруднення атмосферного повітря на здоров'я людини є предметом багатьох епідеміологічних досліджень, проведених у всьому світі, спрямованих на захворюваність та смертність, як загальну, так і конкретну (здебільшого через захворювання органів дихання та серцево-судинні порушення). Накопичені епідеміологічні докази, які забезпечили наукову основу для регулярної оцінки ризику для здоров'я, пов'язаного із забрудненням повітря, були узагальнені у

звітах, опублікованих під егідою ВООЗ. Потреба повідомляти результати та інформувати громадськість про потенційні наслідки для здоров'я вимірюваних та/або прогнозованих рівнів забруднення атмосферного повітря спонукала до спроб розробити легко доступну інформацію для щоденного використання громадськістю, включаючи адміністративні органи. Ця концепція була розглянута ще в 1970 р. на європейському рівні.

У Сполучених Штатах Америки покращення якості повітря здійснювалось відповідно до Закону про контроль за забрудненням повітря. Перше законодавство про забруднення атмосферного повітря було опубліковане в 1955 році і розпочало фінансування досліджень щодо обсягу та джерел забруднення повітря. У 1963 році «Закон про контроль за забрудненням повітря» був замінений на «Закон про чисте повітря» з розробкою національної програми вирішення екологічних проблем, пов'язаних із забрудненням повітря, та розробкою методів мінімізації забруднення повітря. У 1970 році були запроваджені перші національні стандарти якості навколишнього повітря із збільшенням повноважень органів виконавчої влади.

Показник твердих частинок, зокрема $PM_{2.5}$, був вперше введений в систему індексу якості повітря (AQI) в 1997 році. У 2006 році була впроваджена перша комплексна і фундаментальна система AQI, яку багато країн світу скопіювали та створили свою першу систему AQI на її основі. Останні поправки до системи AQI вносились у 2012 році. Порівняно з версією 2006 року змінилися лише декілька способів вимірювання показників [29]. В результаті підсумковий індекс, відомий як індекс якості повітря, був введений з метою щоденного вираження зростаючого ризику для здоров'я у відповідь на зростаюче забруднення атмосферного повітря.

Індекс якості повітря, розроблений у США, базується на сукупному впливі п'яти критеріїв забруднювальних речовин: зважені тверді частинки – аеродинамічний діаметр менше 10 та 2,5 мкм (PM_{10} , $PM_{2.5}$), діоксид сірки, оксид

вуглецю, озон та діоксид азоту [39]. Концентрації забруднювальних речовин реєструються автоматичними станціями моніторингу повітря, що дозволяє оперативно аналізувати дані та трансформувати показники в шкалу AQI. Діапазон значень індексу включає шість категорій, згрупованих у «добрі», «помірні» та «небезпечні» зони якості повітря [16]. Зона «доброї» якості повітря визначається, якщо індекс знаходиться в діапазоні від 0 до 50. «Помірна» зона якості повітря визначається, якщо індекс знаходиться в діапазоні від 51 до 100. «Зона небезпечної» якості повітря визначається, якщо значення становить понад 100. Подібний трирівневий підхід був застосований у європейських країнах [39]. У таблиці 2.1 наведено граничні значення для конкретних зон якості повітря, що використовуються у Франції, Великобританії та Німеччині, порівняно зі стандартами США.

Таблиця 2.1. Граничні значення якості повітря для конкретних зон [39]

Категорія якості повітря	Значення для денної концентрації PM_{10} , $\mu\text{кг}/\text{м}^3$			
	США	Франція	Великобританія	Німеччина
Good	0-54	0-39	0-49	0-34
Moderate	55-154	40-79	50-74	35-99
Dangerous	155 і більше	80 і більше	75 і більше	100 і більше

Індекс якості повітря складається з шести категорій (рис. 2.3). Кожна категорія відповідає різному рівню проблем із здоров'ям. Виділяються шість рівнів:

- «Добрий» показник AQI становить від 0 до 50. Якість повітря вважається задовільною, а ризики для здоров'я від забруднення повітря відсутні або мінімальні.

- «Помірний» показник AQI становить від 51 до 100. Якість повітря є прийнятною, однак рівень забруднювальних речовин може загрожувати здоров'ю дуже незначної кількості людей. Наприклад, люди, які надзвичайно чутливі до озону, можуть відчувати проблеми із диханням.

- «Нездоровий для чутливих груп» показник становить від 101 до 150. Хоча в цьому діапазоні AQI, ймовірно, не має значного впливу на основну кількість людей, люди з захворюваннями легенів, літні люди та діти мають більший ризик від впливу озону, тоді як люди з хворим серцем, захворюваннями дихальних шляхів, похилого віку та діти піддаються більшому ризику від присутності твердих частинок у повітрі.







US AQI Level			PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Good	0-50	0-12.0
	Moderate	51-100	12.1-35.4
	Unhealthy for Sensitive Groups	101-150	35.5-55.4
	Unhealthy	151-200	55.5-150.4
	Very Unhealthy	201-300	150.5- 250.4
	Hazardous	301+	250.5+

Рис. 2.3. Показники індексу якості повітря у США [57]

- Показник «Нездорового» рівня становить від 151 до 200. Кожен може почати відчувати деякі несприятливі наслідки для здоров'я, а люди які відносяться до чутливих груп населення можуть відчувати більш серйозні наслідки.

- «Дуже нездоровий» - показник становить 201-300. Кожен може відчувати серйозні наслідки для здоров'я.

- «Небезпечний» рівень має показник понад 300. Цей рівень може спричинити надзвичайні ситуації. Все населення постраждає від наслідків впливу забрудненого повітря на здоров'я [56].

Для визначення індексу якості повітря за даними одного із шести основних забрудників повітря необхідно [54]:

1. Визначити найвищу концентрацію серед усіх показників (або окремого показника) та округлити наступним чином:
 - Озон (ppm) - до 3 знаків після коми;
 - PM_{2,5} (мкг/м³) - до 1 знака після коми;
 - PM₁₀ (мкг/м³) - до цілого числа;
 - CO (ppm) - до 1 знака після коми;
 - SO₂ (ppb) - до цілого числа;
 - NO₂ (ppb) - до цілого числа.
2. За допомогою даних, відображених у спеціальній таблиці, знайти граничні показники, що відображають концентрацію речовини.
3. Обчислити індекс за допомогою рівняння:

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{VR_{Hi} - VR_{Lo}} (C_p - VR_{Lo}) + I_{Lo}$$

де: I_p - індекс забруднювача p , C_p - округлена концентрація забруднювача p , VR_{Hi} - границя концентрації, яка більша або дорівнює C_p , VR_{Lo} - точка границі концентрації, менша або рівна C_p , I_{Hi} - значення AQI, що відповідає VR_{Hi} , I_{Lo} - значення AQI, що відповідає VR_{Lo} .

4. Округлити індекс до цілого числа.

Отже, тверді частинки можуть бути як первинними, так і вторинними. Основними фракціями є PM_{10} , $PM_{2.5}$ та надтонкі частинки. Останні є найбільш небезпечними, через їх здатність глибоко проникати у дихальні шляхи. Більшість частинок утворюються в атмосфері в результаті складних реакцій хімічних речовин, таких як діоксид сірки та оксиди азоту, які є з забруднювальними речовинами, що викидаються з електростанцій, промислових підприємств та автомобілів. Рекомендовані гранично допустимі концентрації для твердих частинок було розроблено ВООЗ, але кожна країна може встановлювати окремі допустимі концентрації

Індекс якості повітря був розроблений у США та створений для звітування про стан атмосферного повітря враховуючи концентрації таких забруднювальних речовин, як: тверді частинки, озон, діоксид сірки, оксид вуглецю та діоксид азоту. Індекс складається з шести категорій та фокусується на наслідках для здоров'я, які людина може відчувати протягом декількох годин або днів після вдихання забрудненого повітря.

РОЗДІЛ 3 НАСЛІДКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ЛЮДИНИ І БІОТИ ТА ШЛЯХИ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ

Забруднювальні речовини в атмосферному повітрі можуть впливати на здоров'я людей різними способами, починаючи від незначних біохімічних та фізіологічних змін до важких захворювань та смерті. Дослідження, що повідомляють про такі наслідки, проводились з початку минулого століття, коли помітне збільшення смертності та захворюваності відбулося після короточасних епізодів надзвичайно високого рівня забруднення повітря [24].

Здоров'я сприйнятливих та чутливих груп населення може постраждати навіть у дні низького рівня забруднення повітря. Короточасний вплив забруднювачів повітря тісно пов'язаний з хронічною обструктивною хворобою легень, кашлем, задишкою, хрипами, астмою, респіраторними захворюваннями та високими показниками госпіталізації (показник захворюваності).

Наслідками від довготривалого впливу, спричиненого забрудненням повітря, є хронічна астма, легенева недостатність, серцево-судинні захворювання та смертність від серцево-судинних захворювань. Більше того, забруднення повітря має різні шкідливі наслідки для здоров'я на ранньому етапі життя людини, такі як: порушення дихання, серцево-судинної, психічної та перинатальної діяльності, що призводить до дитячої смертності або хронічних захворювань у дорослому віці [28].

3.1 Вплив забрудненого повітря на здоров'я населення

Вплив забруднювальних речовин на людину можна визначити як подію, коли людина стикається із забруднювачем певної концентрації протягом певного періоду часу [48]. Це відбувається за «екологічним шляхом» між концентрацією та дозою, у вигляді такої ланки: Джерело → Викиди → Концентрації → Вплив → Доза → Вплив на здоров'я. «Вплив» слід відрізнити від «концентрації», яка є

кількісним вираженням забруднювальних речовин у даному середовищі. Високі концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі не обов'язково призводять до значного впливу. Наприклад, хоча концентрація забруднення повітря може бути дуже високою поблизу промислового об'єкта, значний вплив відбуватиметься лише в тому випадку, якщо люди проводять час біля даного об'єкта.

«Вплив» слід також диференціювати від «доз», яка стосується кількості забруднення, яке насправді перетинає одну з меж тіла. Доза визначатиметься характеристиками впливу, а також широким спектром факторів, специфічних для забрудника (наприклад, його розчинність або характер осадження в легенях), а також фізіологічними факторами, такими як рівень активності, стан шкіри. Більшість досліджень щодо наслідків забруднення атмосфери для здоров'я зосереджено на впливі на дихальну та серцево-судинну системи. Слід зазначити, що цей вплив стосується контакту з будь-якою частиною людського тіла і стосується не лише вдихання [48].

Потенціал забруднювача впливати на здоров'я людини визначається як ефективністю впливу забруднювача, так і його відносною токсичністю. На експозицію сильно впливає розташування джерел щодо об'єкту який піддається впливу. Ефективність впливу можна визначити як частку забрудника, яка фактично потрапляє в зону дихання людини. Іншими словами, це така кількість матеріалу, яку реально може вдихнути, проковтнути або поглинути людина. Слід враховувати не лише кількість або відносну токсичність джерела, а й загальну кількість забрудника, яка, можливо, досягне людей. Залежно від близькості джерела забруднення до людей, різні джерела одного і того ж забрудника можуть спричинити різну кількість опромінення. Як відмічалось раніше, ефективність експозиції найбільша поблизу джерела [48].

Дослідження забруднення повітря та пов'язаний із цим серцевий ризик, опубліковані Американською асоціацією серця, підкреслюють необхідність

дослідження шкідливих серцево-судинних наслідків. Багато досліджень показали, що частинки діаметром 2,5 мкм або менше асоціюються з підвищеним ризиком серцево-судинних захворювань – змінюється в'язкість плазми та артеріальний тиск. Крім того, збільшення концентрацій твердих частинок було пов'язано зі збільшенням шансів на інфаркт міокарда [34].

Епідеміологічні дослідження були розпочаті після збільшення рівня смертності, що сталась у результаті туману в долині Маас у грудні 1930 р., та після Лондонського інциденту смогу в 1952 р. Посилення альвеолярного запалення відбулося в результаті вдихання частинок, які ще більше посилюють будь-яке вже існуюче захворювання легенів, викликаючи тим самим посилене згортання крові, зрештою призводячи до збільшення факторів серцевого ризику [22].

Дослідження залежності респіраторної та серцево-судинної захворюваності від короткочасного впливу забруднення повітря та пилових бур проводилося у двох лікарнях Нікосії на Кіпрі. Було виявлено збільшення кількості госпіталізацій пацієнтів із серцево-судинними захворюваннями на 1,2% при кожному підвищенні концентрації частинок PM_{10} на 10 мкг/м^3 . Ризик серцево-судинної хвороби зростав під час буревих днів [43].

Тривалий вплив збільшує ймовірність ішемії, серцевої недостатності та зупинки серця. Ризик смертності в діапазоні від 8% до 18% пов'язаний зі збільшенням концентрації PM_{10} [34]. За даними іншого дослідження, наслідки у вигляді серцево-судинних захворювань корелювали між вмістом вуглецю та зміною артеріального тиску. У піддослідних після 2-годинного впливу твердих частинок спостерігались зміни артеріального тиску. Ризик виникнення інфаркту міокарда може зростати у людей із підвищеною чутливістю в умовах тимчасового впливу міського середовища [34]. Кореляція між серцево-судинними захворюваннями та наслідками впливу твердих частинок була виявлена в базі даних в Уельсі та Англії [44].

Захворювання, обумовлені впливом твердих частинок, включають інфаркт міокарда, інсульт, венозний тромбоз, ініціювання атеросклерозу, дисфункцію вегетативної нервової системи, ішемічну репозицію та зміну функції іонних каналів у клітинах міокарда. Вплив забруднення повітря твердими частинками також корелює з субклінічними патологіями, що лежать в основі серцево-судинних захворювань. Сюди входять такі захворювання:

- ✦ *Запалення, окислювальний стрес та атеросклероз*, спричинені вдиханням твердих частинок. Кальцифікація коронарних артерій корелює з проживанням у центрі міста або поблизу великої проїжджої частини [55].
- ✦ *Гіперкоагуляція та тромбоз*. Забруднення повітря пилом спричиняє протромботичний стан, може викликати артеріальний тромбоз (інфаркт міокарда, ішемічні випадки) та венозні тромботичні випадки (наприклад, тромбоз глибоких вен). Наявність у повітрі твердих частинок сприяє збільшенню в'язкості плазми та активації тромбоцитів [34].
- ✦ *Ендотеліальна дисфункція, підвищення артеріального тиску та серцеве ремоделювання*. Як короткочасний, так і тривалий вплив забруднення повітря твердими частинками корелює зі змінами функції судин. Контрольований вплив дизельних вихлопних газів призводить до дисфункції судин, що характеризується гострим звуженням артеріальних судин та пригніченням реакції на судинорозширювальні засоби. Вплив твердих частинок, джерелом забруднення якими є транспорт, призводить до гіпертрофії лівого і правого шлуночків, що може посилити застійну серцеву недостатність [34].
- ✦ *Серцеві електричні зміни та нерегулярний серцевий ритм*. Забруднене повітря обумовлює збільшення частоти серцевих скорочень та зміни варіабельності серцевого ритму [20].
- ✦ *Метаболічний синдром та резистентність до інсуліну*. Дослідження, проведені у США, доводять, що поширеність діабету зростає на 1% з кожним

підвищенням показників $PM_{2.5}$ на 10 мкг/м^3 та кореляція рівня твердих частинок у повітрі із цукровим діабетом є сильнішою у жінок [19].

Нещодавні дослідження [34] щодо впливу контрольованої концентрації твердих частинок як на людей, так і на тварин, пролили світло на біологічні механізми серцево-судинних захворювань (рис. 3.1). Дані біологічні механізми включають 4 рівні:

- *Рівень експозиції*: тверді частинки впливають на серцево-судинну систему трьома шляхами. Перший – викликають запальну реакцію в легенях на клітинному рівні. Другий – після вдихання тверді частинки діють на сенсорні рецептори в легенях. Третій – пил може потрапляти у кровоносну систему, що може сприяти запаленню в кишечнику.

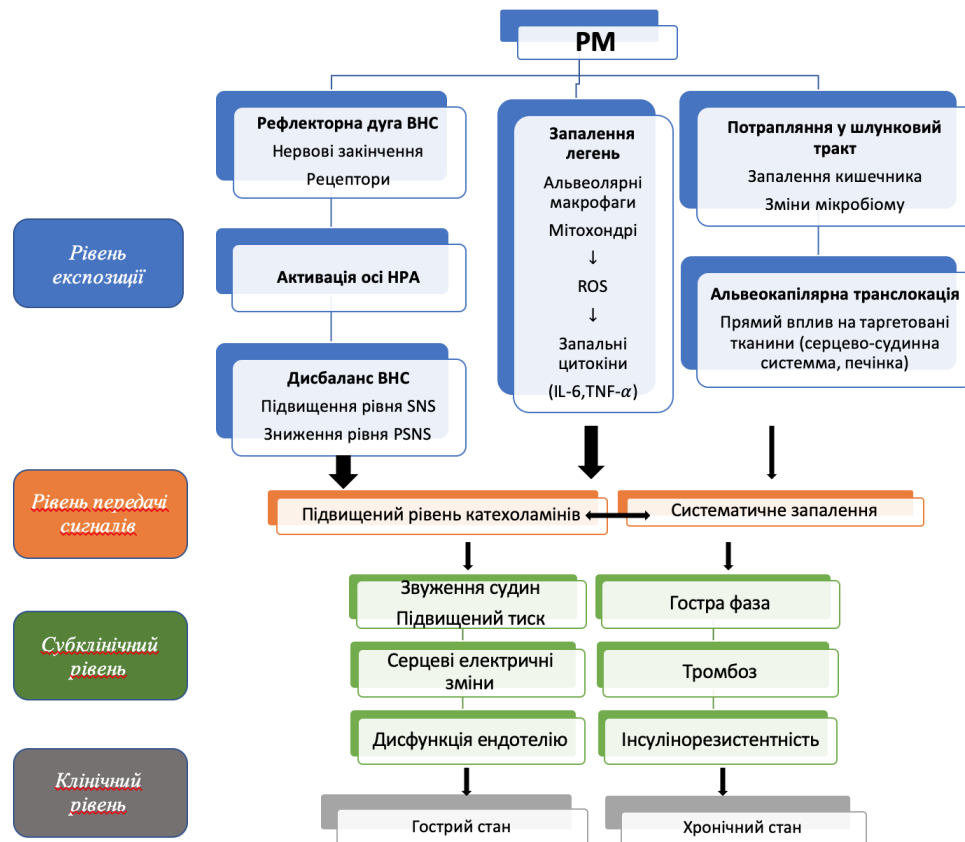


Рис. 3.1. Механізми впливу забруднення атмосферного повітря твердими частинками на серцево-судинну систему [34]

- *Рівень передачі сигналів:* цитокіни, що виробляються в легенях, поширюються на кровообіг, що призводить до стану запалення.
- *Субклінічний рівень:* системне запалення призводить до гострої фази, звуження судин, підвищення артеріального тиску, серцевих змін, дисфункції ендотелію та підвищеної інсулінової резистентності.
- *Клінічний рівень:* сукупний вплив системного запалення та симпатичної активації на клітинні мішені призводить до клінічних ефектів від впливу забруднення на серцево-судинну систему. Цей вплив спостерігається як на гострому рівні (гострі ішемічні, тромботичні події, серцеві аритмії або гостра серцева недостатність), так і на хронічному рівні (атеросклероз, гіпертонія та хронічна серцева недостатність) [34].

Існує три гіпотези щодо механізмів впливу твердих частинок на здоров'я людини. Перша передбачає, що вдихання пилу активує запальні реакції в легенях, і це призводить до ефекту системного запалення, що сприяє тромбозу, дисфункції ендотелію та атеросклерозу. Друга гіпотеза передбачає активацію сенсорних рецепторів у легенях, що призводить до дисбалансу вегетативної нервової системи, сприяючи зміні частоти серцевих скорочень, звуженню судин, дисфункції ендотелію та гіпертонії. За третьою гіпотезою, деякі частинки, особливо надтонкі $PM_{0.1}$, можуть потрапляти в циркуляцію з легень і взаємодіяти безпосередньо з тканинами; однак цей механізм залишається суперечливим [34].

Дані [34] свідчать про те, що від більшості ультратонких частинок легені очищаються подібно до більших частинок (опосередкованим кліренсом гортані). Але розчинний матеріал, адсорбований на поверхні твердих частинок, може переходити в циркуляцію крові. Потрібні подальші дослідження, щоб визначити, чи не переноситься якась частина частинок, які вдихаються, у кров. І якщо так, чи сприяють ці переміщені частинки патологіям, асоційованим з патологіями.

Вплив твердих частинок на мозок. Про вплив твердих частинок різних розмірів на мозок вперше було повідомлено в 1998 р. Було проведено

дослідження, в якому взяли участь 957 пацієнтів, які зазнали впливу випарів вугілля в приміщенні в Шанхаї. У осіб, які зазнали впливу вугільних випарів, була збільшена частота розвитку ішемічного інсульту, який є основною причиною смерті в Шанхаї [34].

Забруднене повітря може спричиняти не тільки нервово-запальні захворювання, але й хвороби Альцгеймера і Паркінсона. Оскільки більшість світового населення проживає в міських районах і схильна до високих концентрацій твердих частинок, проблема збільшення поширеності захворювань ЦНС потребує дослідження [34].

Нещодавно були виділені основні механізми і наслідки ураження клітин, спричинені впливом твердих частинок у повітрі (рис. 3.2) [35].



Рис. 3.2. Наслідки ураження клітин твердими частинками [35]

За даними дослідження, проведеного в Кореї [52], тверді частинки повітря також впливають на стан шкіри. Почервоніння шкіри (ознака подразнення) оцінювали за допомогою індексу еритеми шляхом вимірювання вмісту

гемоглобіну. У період з високим рівнем концентрації твердих частинок у повітрі індекс еритеми був значно вищим, ніж у період з низьким рівнем концентрації. Більше того, мета-аналіз [53] показав, що повітря, забруднене твердими частинками, корелює з atopічним дерматитом та загостренням специфічних симптомів запальних захворювань шкіри як у дітей, так і у дорослих. Це дослідження показало, що забруднення повітря може посилити симптоми хронічного характеру при запальних захворюваннях шкіри.

Тверді частинки також корелюють із такими запальними захворюваннями шкіри, як atopічний дерматит, акне, псоріаз тощо. Шкіра в організмі людини виступає важливим захисним бар'єром від шкідливих зовнішніх факторів, таких як ультрафіолетове випромінювання та різні забрудники. Бар'єрна функція шкіри залежить від рогового шару, самого зовнішнього шару епідермісу та білків щільного з'єднання. Тверді частинки можуть проникати у шкіру через фолікули волосся, спричиняти потовщення епідермісу та запалення в порушених ділянках шкіри [27].

За даними експериментальних досліджень [50], вплив $PM_{2.5}$ спричиняє дисфункцію шкірного бар'єру. Існує припущення, що $PM_{2.5}$ пов'язані із розвитком запальних захворювань шкіри. Дисфункція шкірного бар'єру вважається початковим етапом розвитку atopічного дерматиту.

3.2 Наслідки атмосферного забруднення для біоти

Забруднення повітря твердими частинками менших розмірів найбільш негативно впливає на здоров'я людини, а забруднення частинками більшого розміру значно впливає на біоту, зокрема рослинний світ.

Зростання та розвиток рослин залежить від чинників навколишнього середовища, включаючи сонячну радіацію, якість води і повітря, ґрунтові умови. Зміни вмісту пігменту (хлорофілу та каротиноїдів) у рослинах також обумовлюються екологічними умовами. Фаза розвитку рослин впливає на тип і

ступінь їх реакції на фактори зовнішнього середовища. Відкладення пилу на листових поверхнях може зменшити синтез хлорофілу А завдяки ефекту затінення та фотосинтезу. Фотосинтез забезпечує «паливо» для росту рослин; зменшення інтенсивності фотосинтезу супроводжується приблизно відповідними втратами росту рослин та врожайності. Частинки пилу розміром менше 5 мкм у діаметрі можуть впливати на механізм роботи продихів – невеликих отворів, що відповідають за основні функції дихання і транспірації рослин. Відносний вплив частинок на рослинність залежить від їх розміру, сукупної кількості та хімічного складу [37].

Перші згадки про вплив дрібнодисперсного пилу на рослинність датуються 1910 роком. Ботанік Семюел Періш [49] досліджував чагарникову та лугову рослинність у Каліфорнії поблизу цементних заводів. Він виявив зміну у рослинних спільнотах поблизу деяких з них. У дослідженні [40] вказано про надзвичайні наслідки відкладення твердих частинок на рослинах поблизу магnezитової фабрики. Швидкість осадження була настільки високою, що утворилися поверхневі кірки, і рН ґрунту піднявся до 9,5.

Тверді частинки у повітрі можуть впливати на рослини різними способами, і ті впливи, які супроводжуються задушенням листя або зміною хімічного складу ґрунту, не залежать від розміру частинок. Коли частинки блокують продихи листя або потрапляють у клітини, важливий розмір продихів. Продихи різняться залежно від виду, але діаметр зазвичай становить від 8 до 10 мкм. Отже, відносно великі частинки можуть відігравати важливу фізіологічну роль у реакції рослин.

Нещодавно в Індії було проведено дослідження, яке мало на меті дослідити відкладення пилу на листовій поверхні п'яти видів дерев: *Azadirachta indica*, *Pongamia pinnata*, *Ficus religiosa*, *Ficus benghalensis*, *Polyalthia longifolia*. Осадження твердих частинок спричиняє серйозне руйнування рослинної тканини, накопичення атмосферного пилу змінюється залежно від структури, геометрії, висоти, розміру черешка, наявності або відсутності волосків на

поверхні листя вибраних рослин. Рослини з восковим покриттям, шорсткою поверхнею зі складеним краєм накопичують більше пилу, ніж рослини з гладкою, плоскою поверхнею без складеного поля. Пилові відкладення індукують зміни біохімічних показників, збільшуючи та зменшуючи їх рівень у листі рослини. Виявлено, що тверді частинки у повітрі можуть вплинути на ріст рослини та її життєдіяльність, навіть незважаючи на те, чи має рослина помітні фізичні пошкодження. Концентрація хлорофілу може зменшуватися через те, що велика кількість твердих частинок блокують пори продихів, знижуючи обмін киснем і вуглекислим газом [58].

Як правило, частинки більших розмірів фільтруються рослинами з набагато вищою швидкістю, ніж дрібні частинки. Кількість твердих частинок, що осідають на рослинних поверхнях, суттєво коливається в просторі та часі. Більша шорсткість поверхні збільшує швидкість осадження. Дослідження впливу твердих частинок на рослини проводили ще у далекому 1914 році [26] на товарних культурах. Порівнювали вплив пилу, джерелами виникнення якого були вугілля, карбонат кальцію та гідроксид алюмінію, на *Lycopersicon esculentum*. Усі три види твердих частинок збільшували транспірацію, але вугільний пил знижував параметри росту, тоді як інші види частинок збільшували його.

Дослідження на півдні Індії щодо розподілу видів рослин навколо цементної фабрики, виявили, що з 54 видів, лише 9 змогли вирости поблизу фабрики. Усі вони мали дрібне листя, що сприяло зменшенню пилового навантаження. Тверді частинки впливають на фізіологію рослин як на фізичному, так і на хімічному і біохімічному рівнях. Тонкі частинки пилу можуть закупорювати отвори продихів, зменшувати фотосинтез, підвищувати температуру листя і збільшувати транспірацію. Дослідження підтверджує зменшення фотосинтетичного продукту унаслідок впливу твердих частинок на

поверхню листя рослин. Пил може діяти безпосередньо на охоронні клітини, хоча механізми цього ефекту досі залишаються недостатньо визначеними [51].

Осадження твердих частинок менших розмірів призводить до сильнішого порушення процесу фотосинтезу, порівняно із частинками більших розмірів. Імовірно, цей ефект обумовлений більш щільним вистиланням частинок пилу на поверхні листя. Це підтверджується дослідженням оливкових дерев, що зазнали впливу цементного пилу [47]. Цементний пил знижував загальний вміст хлорофілу в листі та співвідношення хлорофілу А до хлорофілу В. В результаті дослідження швидкість фотосинтезу та квантовий вихід в листі зменшилися. Довгострокові наслідки передбачають зміну біохімічних процесів та збільшення захворюваності рослин на патогени і членистоногих фітофагів. Також, дослідженням встановлено, що 1 мг/см^2 кремнеземного пилу достатньо, щоб викликати зниження дифузійної стійкості продихів у *Populus tremula*, а лише $0,5 \text{ мг/см}^2$ – щоб викликати підвищення температури листя. Метаболічні функції в рослинах діють лише в певному діапазоні температур. Якщо листя нагрівається вище 34°C , фотосинтетичні ферменти починають змінювати свої властивості, й листя не може нормально функціонувати.

3.3 Моніторинг якості атмосферного повітря у м. Київ

В Україні ще не встановлені стандарти для $\text{PM}_{2.5}$ та PM_{10} , хоча статистика викидів ведеться за цими показниками з 2004 року [5]. Україна має адаптувати національне законодавство відповідно до норм Європейського Союзу, включаючи екологічну складову. Реалізація Директиви 2008/50/ЄС передбачає формулювання норм щодо встановлення стандартів концентрації $\text{PM}_{2.5}$ та PM_{10} у повітрі та забезпечує моніторинг $\text{PM}_{2.5}$ та PM_{10} у повітрі, але ці стандарти поки що не були прийняті.

За даними, впорядкованими за середньою концентрацією $\text{PM}_{2.5}$ (мкг/м^3), у 2020 році м. Київ перебувало на 39 місці у рейтингу столиць за забрудненням

$PM_{2.5}$ із показником 19.2 мкг/м^3 [57]. За даними Державної служби статистики у м. Київ, викиди забруднювальних речовин від стаціонарних джерел забруднення становили 22.3 тис т, з яких викиди у вигляді твердих частинок склали 3.3 тис т [6]. Нині від 30% до 50% жителів великих міст у світі мешкають у радіусі від 50 до 100 м від автодоріг та у радіусі 500 м від магістралей, на які припадає основна концентрація транспортних засобів [36].

Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського (ЦГО) стежить за якістю повітря в Києві. У місті є 16 фіксованих стаціонарних постів, а також спеціальні пробовідбірники. Працівники обсерваторії приносять зразки до лабораторії для розрахунків шість разів на тиждень. Рівень забруднення повітря визначається за 20 показниками [13].

Управління екології та природних ресурсів КМДА наразі розгортає сучасну систему автоматичного моніторингу якості повітря (CAQI) міста Київ. Перевага сучасного датчика контролю повітря полягає в тому, що лабораторія ЦГО виділяє добу для обробки даних, а за допомогою екологічної станції дані можуть передаватися на карту в режимі реального часу. Зараз дві станції вже встановлені на вул. Архітектора Вербицького, 26 та на Харківському шосе, 7/1. До кінця 2021 року планується встановлення ще 3 постів [3].

Методи вимірювання рівня забруднення атмосферного повітря центральною геофізичною лабораторією є застарілими та відібрані дані відображаються лише на 4 стаціонарних постах з 16. Тому останнім часом виникають інші комерційні проєкти, такі як IQair, ЛУН Місто. Нині AQI відображається навіть на цифрових білбордах (рис. 3.3)

У дослідженні автора вимірювання концентрації PM_{10} , $PM_{2.5}$ і PM_1 та AQI проводилися за допомогою станцій ЛУН Місто Air, розроблених соціальним проєктом ЛУН Місто від компанії ЛУН, який досліджує якість міського середовища.



Рис. 3.3. Білборд із показником AQI

Станції ЛУН Місто Air вимірюють такі показники: PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , вологість, температура повітря. Станції, корпуси яких розроблено з максимальною відповідністю Директиві 2008/50/ЄС) [15], складаються з:

- Plantower PMS 3003/5003/7003/A003 – сенсори, що використовуються для вимірювання PM_{10} , $PM_{2.5}$ і PM_1 , як і професійно відкалібровані датчики, працюють на основі лазерного випромінювання) [15].
- Bosch Sensortec BME-280 – сенсор, розроблений спеціально для мобільних додатків, де розмір та низьке споживання енергії є ключовими обмеженнями в дизайні. Пристрій поєднує індивідуальні датчики високої лінійності та високої точності для вимірювання тиску, вологості та температури.
- Mediatek MT7688A (основне обчислювальне ядро робочої станції, яке відповідає за стабільну роботу WiFi, зв'язок із датчиками та обробку даних).

Високочутливий сенсор розташований від куту 90° до лазерного променя. Якщо у периметр даного променя потрапляють дрібні частинки пилу, невелика частина лазеру відбивається на датчику. Він виводить сигнал, який обробляється мікрочіпом і перетворюється на цифрові дані. Потім дані надходять у мікрокомп'ютер, встановлений на робочій станції, після чого потрапляють у

базу даних, а звідти – на карту [9]. У Київській агломерації вже розміщено понад 80 станцій від проєкту ЛУН Місто.

У даній роботі використано результати вимірювань концентрацій твердих частинок за допомогою станцій, розташованих поблизу завантажених автошляхів міста і на територіях із високим рівнем озеленення (частка озеленення більше 70% [7]). Одна зі станцій безпосередньо розташована у помешканні автора, що дало змогу внести персональний вклад у розширення мережі моніторингу якості атмосферного повітря у м. Київ. 8 станцій, за допомогою яких були отримані дані, розташовані на таких локаціях:

1. Вул. Райдужна, 2а (біля проспекту Романа Шухевича, Дніпровський район);
2. Просп. Героїв Сталінграда, 11 (біля проспекту Героїв Сталінграда, Оболонський район);
3. Просп. Оболонський, 13 (біля проспекту, Оболонський район);
4. Вул. Львівська, 22 (біля проспекту Перемоги, Святошинський район);
5. Просп. Любомира Гузара, 20а (біля проспекту Любомира Гузара, Солом'янський район);
6. Просп. Валерія Лобановського, 152а (біля проспекту Валерія Лобановського, Голосіївський район);
7. Вул. Орхідейна (приватний сектор житлового масиву Осокорки, Дарницький район);
8. Русанівський бульвар, 10 (житловий масив Русанівка, Дніпровський район).

За результатами отриманих даних побудовано графіки, які відображають величини концентрацій PM_{10} , $PM_{2.5}$ та PM_1 у різних районах міста. Заміри концентрацій твердих частинок зі станцій виконувались з 13.04.2021 по 02.05.2021 о 18:00.

За даними, отриманими зі станції № 1 (рис. 3.4), найвища концентрація твердих частинок спостерігалась з 13.04 по 15.04. Максимальна концентрація твердих частинок за період дослідження була зафіксована 13.04 та становила 59,6 мкг/м³ для PM_{2,5}, 78,1 мкг/м³ для PM₁₀ та 35,4 мкг/м³ для PM₁. Найнижчі показники було зафіксовано 24.04-27.04. Індекс якості повітря (рис. 3.5) перевищував «добрий» рівень (50 одиниць) 9 днів із 18. Максимальний AQI спостерігався 13.04. і становив 153 одиниці, мінімальний – 26.04 із показником 2 одиниці.

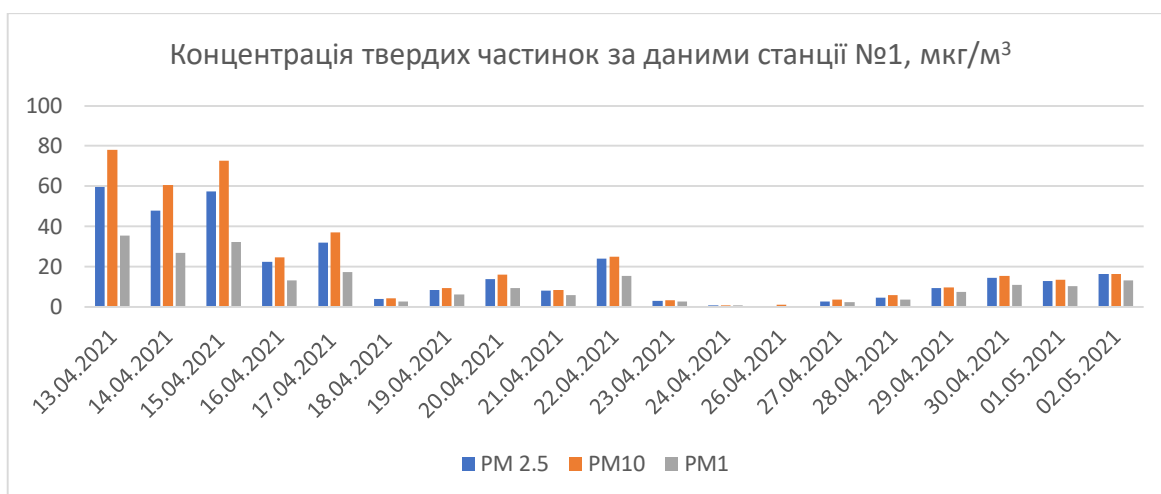


Рис. 3.4. Концентрації твердих частинок PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, мкг/м³



Рис. 3.5. Індекс якості повітря

За даними, отриманими зі станції № 2 (рис. 3.6), найвища концентрація твердих частинок спостерігалась з 13.04 по 17.04, а також 22.04. Максимальна концентрація твердих частинок за період дослідження була зафіксована 13.04 та становила: 76,7 мкг/м³ для PM_{2,5}, 87,7 мкг/м³ для PM₁₀ та 48,1 мкг/м³ для PM₁. 18.04 та 23.04 – 27.04 були зафіксовані найнижчі показники. Індекс якості повітря (рис. 3.7) перевищував «добрий» рівень 11 днів із 18. Максимальний AQI спостерігався 13.04. і становив 162 одиниці, мінімальний – 24.04 із показником 8 одиниць.

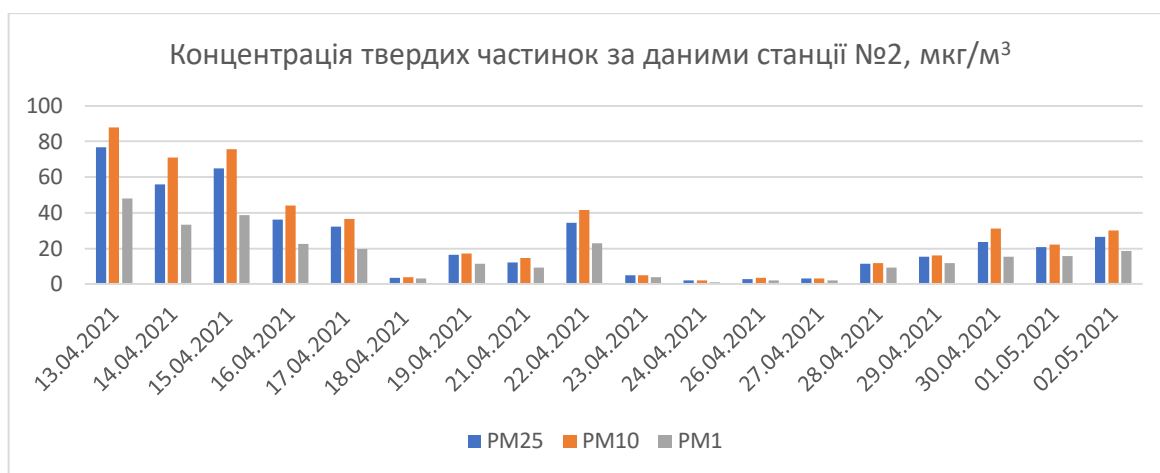


Рис. 3.6. Концентрації твердих частинок PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, мкг/м³



Рис. 3.7. Індекс якості повітря

Дані, отримані зі станції № 3 (рис. 3.8), майже повністю корелюють із даними, отриманими на станції № 2 за динамікою змін концентрацій через те, що обидва датчики розташовані неподалік один від одного (рис. 3.4). Максимальна концентрація твердих частинок на станції № 3 була зафіксована 13.04 та становила: 64,6 мкг/м³ для PM_{2.5}, 80,7 мкг/м³ для PM₁₀ та 39,7 мкг/м³ для PM₁. 18.04 та 23.04 – 28.04 були зафіксовані найнижчі показники. Індекс якості повітря (рис. 3.9) перевищував «добрий» рівень 11 днів із 18. Максимальний AQI спостерігався 13.04. і становив 156 одиниць, мінімальний – 24.04 із показником 4 одиниці.

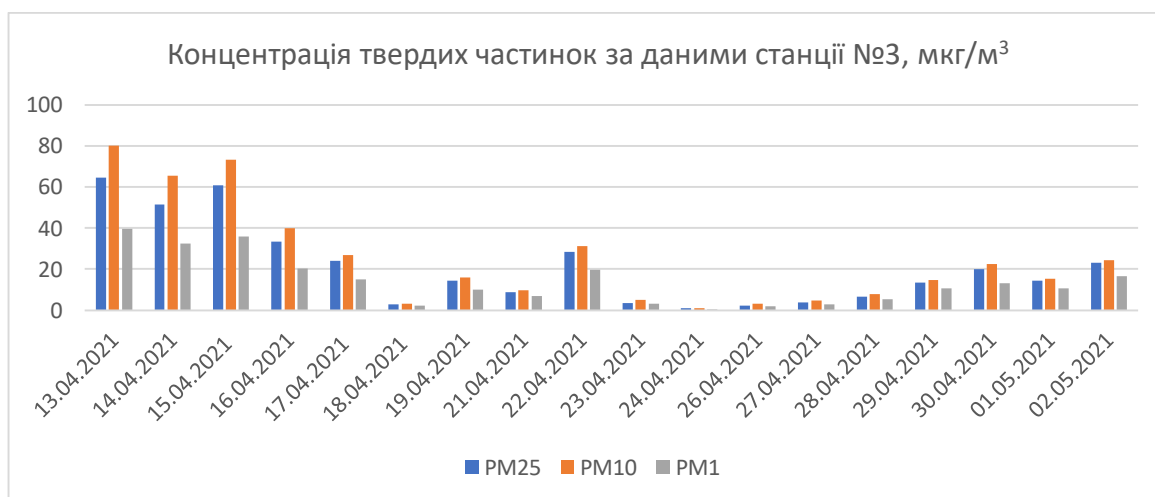


Рис. 3.8. Концентрації твердих частинок PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, мкг/м³



Рис. 3.9. Індекс якості повітря

За даними отриманими, зі станції № 4 (рис. 3.10), найвища концентрація твердих частинок спостерігалась з 13.04 по 15.04, а також 17.04. Максимальна концентрація твердих частинок за період дослідження була зафіксована 13.04 та становила: 59,6 мкг/м³ для РМ_{2,5}, 78,1 мкг/м³ для РМ₁₀ та 25,4 мкг/м³ для РМ₁. 18.04 та 23.04 – 28.04 були зафіксовані найнижчі показники. Індекс якості повітря (рис. 3.11) перевищував «добрий» рівень 9 днів із 18. Максимальний рівень AQI спостерігався 13.04. і становив 153 одиниці, мінімальний – 26.04 із показником 2 одиниці.

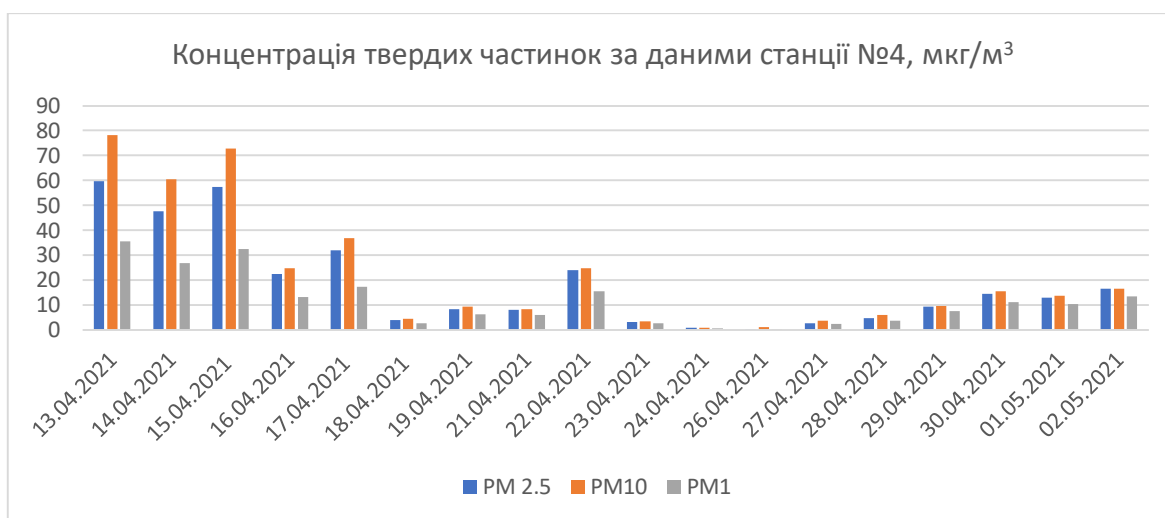


Рис. 3.10. Концентрації твердих частинок РМ₁₀, РМ_{2,5}, РМ₁, мкг/м³



Рис. 3.11. Індекс якості повітря

За даними, отриманими зі станції № 5 (рис. 3.12), найвища концентрація твердих частинок спостерігалась з 13.04 по 17.04, а також 22.04. Максимальна концентрація твердих частинок за період дослідження була зафіксована 15.04 та становила: 70 мкг/м³ для РМ_{2,5}, 84,1 мкг/м³ для РМ₁₀ та 43,1 мкг/м³ для РМ₁. 18.04, 23.04 - 24.04 та 27.04-29.04 були зафіксовані найнижчі показники. Індекс якості повітря (рис. 3.13) перевищував «добрий» рівень 11 днів із 18. Максимальний AQI спостерігався 15.04. і становив 158 одиниць, 13.04 та 14.04 також були зафіксовані значні перевищення із показниками більше 150 одиниць. Мінімальний AQI був зафіксований 24.04 із показником 3 одиниці.

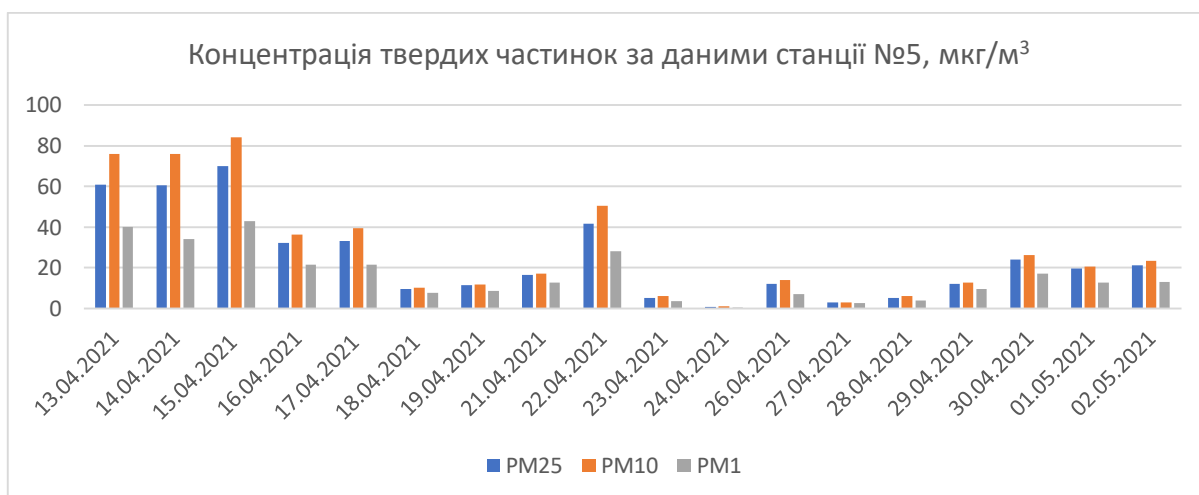


Рис. 3.12. Концентрації твердих частинок РМ₁₀, РМ_{2,5}, РМ₁, мкг/м³



Рис. 3.13. Індекс якості повітря

Найвища концентрація твердих частинок за даними зі станції № 6 (рис. 3.14) спостерігалась 13.04-15.04, 17.04 а також 22.04. Максимальна концентрація твердих частинок за період дослідження була зафіксована 14.04 та становила: 66,4 мкг/м³ для PM_{2,5}, 86,4 мкг/м³ для PM₁₀ та 39,9 мкг/м³ для PM₁. 18.04, 23.04-27.04 були зафіксовані найнижчі показники. Індекс якості повітря (рис. 3.15) перевищував «добрий» рівень 12 днів із 18. Максимальний AQI спостерігався 14.04. і становив 157 одиниць, мінімальний – 24.04 із показником 11 одиниць.

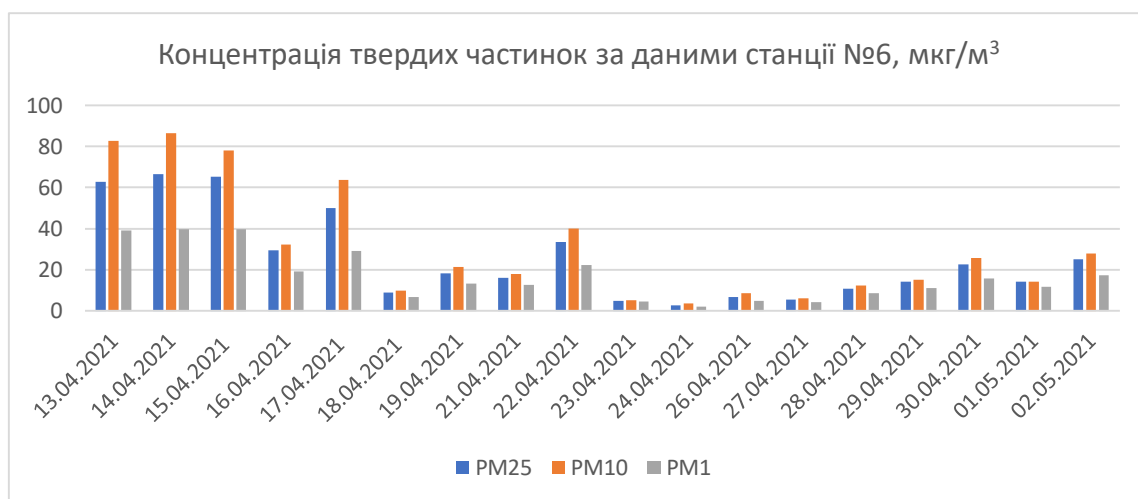


Рис. 3.14. Концентрації твердих частинок PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, мкг/м³



Рис. 3.15. Індекс якості повітря

За даними, отриманими зі станції № 7 (рис. 3.16), найвища концентрація твердих частинок спостерігалась 13.04-15.04, а також 17.04 та 22.04. Максимальна концентрація твердих частинок за період дослідження була зафіксована 13.04 та становила: 174 мкг/м³ для PM_{2.5}, 204 мкг/м³ для PM₁₀ та 109 мкг/м³ для PM₁. 24.04-27.04 були зафіксовані найнижчі показники. Індекс якості повітря (рис. 3.17) перевищував «добрий» рівень 10 днів із 18. Максимальний AQI спостерігався 13.04. і становив 225 одиниць. Мінімальний AQI був зафіксований 24.04 та 26.04 із показником 13 одиниць.

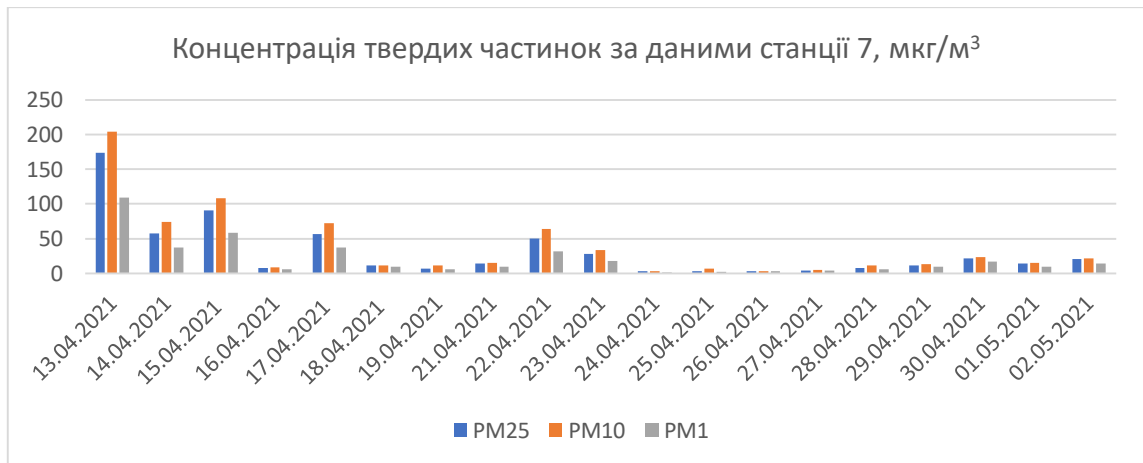


Рис. 3.16. Концентрації твердих частинок PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, мкг/м³



Рис. 3.17. Індекс якості повітря

Найвища концентрація твердих частинок за даними зі станції № 8 (рис. 3.18) спостерігалась 13.04-17.04, а також 22.04. Максимальна концентрація твердих частинок за період дослідження була зафіксована 15.04 та становила: 71,5 мкг/м³ для PM_{2,5}, 83,3 мкг/м³ для PM₁₀ та 40,2 мкг/м³ для PM₁. 18.04, 23.04-28.04 були зафіксовані найнижчі показники. Індекс якості повітря (рис. 3.19) перевищував «добрий» рівень 8 днів із 18. Максимальний AQI спостерігався 15.04. і становив 159 одиниць, мінімальний – 24.04 із показником 4 одиниці.

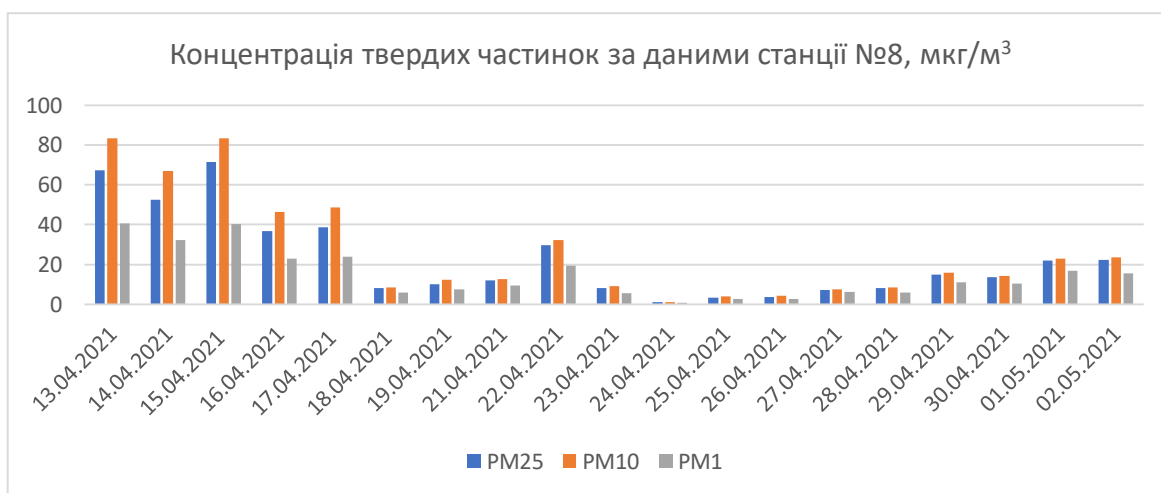


Рис. 3.18. Концентрації твердих частинок PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, мкг/м³



Рис. 3.19. Індекс якості повітря

Також 26.04.2021 року були виконані щогодинні заміри концентрацій твердих частинок PM_{10} , $PM_{2.5}$ і PM_1 та індексу якості повітря на станціях № 4 та № 8. Підвищення рівня концентрацій твердих частинок спостерігалось на обох станціях (Рис. 3.20 та 3.21) у ранковий та вечірній періоди, хоча рівень концентрації твердих частинок на проспекті Перемоги (станція № 4) був набагато вищим за рівень, який відображала станція № 8, розташована на території з високим рівнем озеленення. Можна побачити взаємозв'язок між концентрацією твердих частинок та інтенсивністю руху автотранспортних потоків.

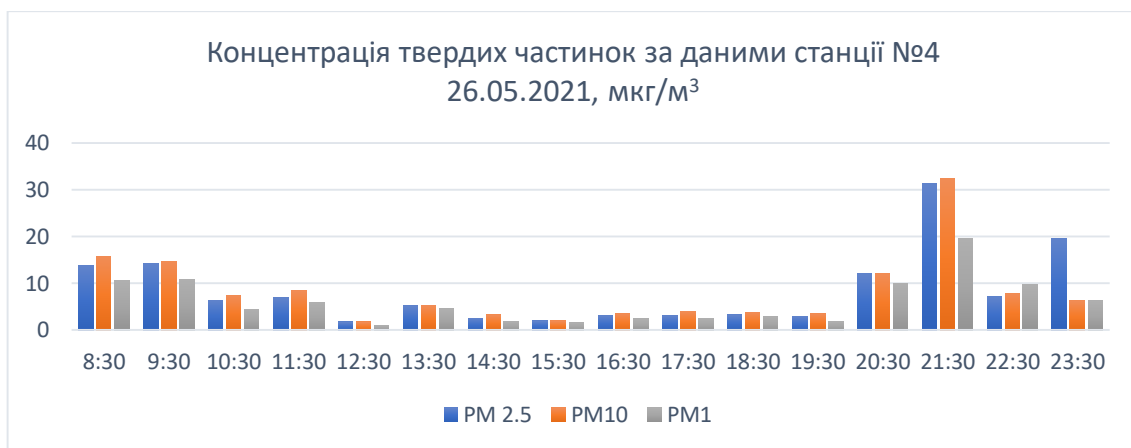


Рис. 3.20. Погодинні заміри концентрацій PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 26.04.2021, мкг/м³

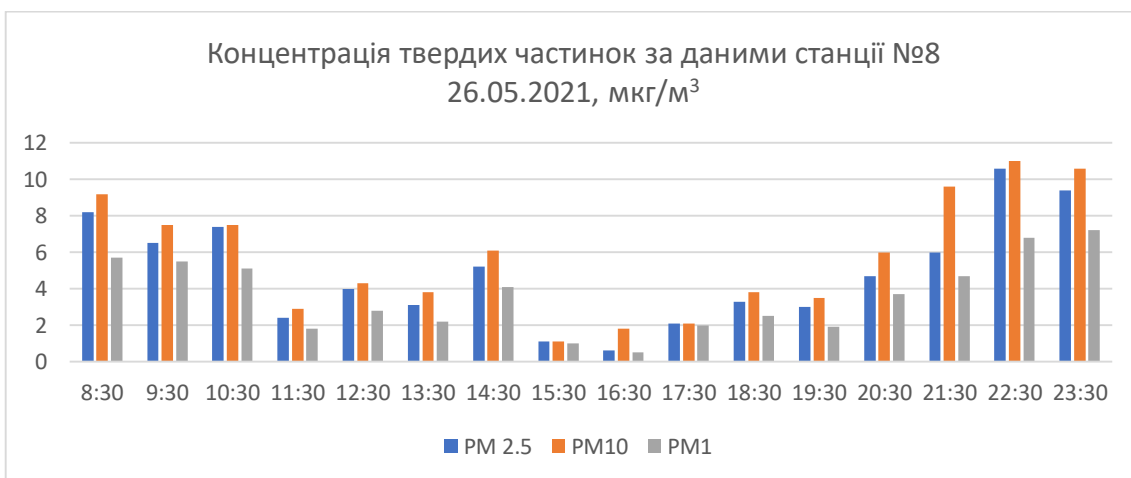


Рис. 3.21. Погодинні заміри індексу якості повітря 26.04.2021

На базі отриманих даних можна зробити висновок, що найвищі концентрації твердих частинок у м. Київ спостерігались у період з 13.04 до 15.04, також було зафіксоване підвищення рівня концентрацій 22.04. Найвищий рівень концентрації твердих частинок був зафіксований 13.04 станцією № 7, яка розташована на території приватного сектору. Підвищення рівнів концентрацій у дані дні може бути пов'язано з тим, що щороку весною на території приватних секторів та у сільській місцевості починаються несанкціоновані підпали сухої трави, що позначається на якості повітря. Також до 85% усіх викидів спричиняє автомобільний транспорт, який є основним джерелом забруднення повітря твердими частинками [6].

Загалом, найвищі концентрації відмічалися поблизу автомагістралей, найнижчі – на територіях із високою часткою озеленення, але рівні забруднення атмосферного повітря твердими частинками PM_{10} , $PM_{2.5}$ та PM_1 у м. Києві, в цілому, перевищують гранично допустимі значення, рекомендовані Директивою 2008/50/ЄС та Всесвітньою організацією охорони здоров'я. Отримані результати вказують на те, що в Україні необхідне встановлення нормативів для твердих частинок та їх включення до списку речовин, які підлягають обов'язковому моніторингу для визначення якості атмосферного повітря.

Викиди твердих частинок у повітря можуть бути мінімізовані за допомогою заходів запобігання забрудненню та контролю викидів. Основна увага повинна приділятися превентивним заходам, які часто є економічно вигіднішими.

Основними підходами до мінімізації викидів твердих частинок в атмосферне повітря мають бути такі:

- впровадження безвідходних та ресурсозберігаючих технологій;
- виведення з експлуатації підприємств із обладнанням, яке застаріло;
- модернізація та розвиток екологічно безпечних видів транспорту, транспортних комунікацій і палива; перехід до екологічно безпечного громадського транспорту;

- вдосконалення системи державного екологічного моніторингу та сприяння розвитку інших систем моніторингу якості атмосферного повітря;
- підвищення ефективності механізмів регулювання викидів забруднювальних речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення [14].

Отже, існують вагомі наукові дані, що вказують на вплив забруднювальних речовин у повітрі на здоров'я людей, починаючи від незначних біохімічних і фізіологічних змін до важких захворювань та смерті. Такі дослідження проводилися з початку минулого століття, коли після короткочасних епізодів надзвичайно високого рівня забруднення повітря сталося помітне збільшення смертності й захворюваності. При вдиханні частинки PM_{10} потрапляють у верхню частину дихальних шляхів і легень людини. Дрібнодисперсні частинки $PM_{2.5}$ при вдиханні потрапляють у нижні відділи легень, досягаючи альвеол. Крім того, ультрадрібнодисперсні частинки, діаметром до 0,1 мкм, здатні проникати через стінки альвеол у кровоносні судини і далі потрапляти в різні органи. Наслідками впливу твердих частинок на організм людини є захворювання дихальних шляхів (хронічна астма, легенева недостатність), серцево-судинні захворювання та смертність від серцево-судинних захворювань, порушення функцій мозку і таких захворювань шкіри, як атопічний дерматит, акне, псоріаз та алергічні реакції.

Тверді частинки також впливають і на біоту, зокрема рослинність. Унаслідок цього впливу значно знижується фотосинтетична активність рослин. Закупорювання продихів призводить до зміни рослинних клітин і тканин, некрозу листя, хлорозу, відсталості росту стебла і масштабних скорочень асиміляційного балансу.

Аналізуючи дані, отримані у ході дослідження автора можна зробити висновок, що найвищі концентрації відмічалися поблизу автомагістралей, найнижчі – на територіях із високою часткою озеленення, але рівні забруднення атмосферного повітря твердими частинками м. Києві перевищують гранично

допустимі значення, встановлені Всесвітньою організацією охорони здоров'я та Директивою 2008/50/ЄС.

ВИСНОВКИ

На сучасному етапі розвитку України однією з основних проблем є забруднення атмосферного повітря, тому дуже важливим є детальне дослідження стану атмосферного повітря, а також розробка способів покращення його стану.

Речовини, які забруднюють атмосферне повітря поділяються на дві категорії: первинні й вторинні. Первинні безпосередньо викидаються в атмосферу, тоді як вторинні утворюються в атмосфері із забрудників-попередників у результаті хімічних реакцій. Забрудники повітря можуть мати природне, антропогенне або змішане походження. Найбільш поширеними забруднювальними речовинами в атмосферному повітрі є дрібнодисперсні тверді частки ($PM_{2,5}$ та PM_{10}), озон, діоксид азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю та вуглекислий газ. Джерела забруднення поділяються на 2 види: пересувні та стаціонарні.

За даними Державної служби статистики України, за 2019 рік в атмосферу України було викинуто 4119,0 тис т забруднювальних речовин, що лише на 0,000005% менше ніж у попередньому 2018 році. Стаціонарними джерелами в 2019 році було викинуто майже 59,7% від загального обсягу забруднення повітря в Україні, а пересувними – 40,3%. У структурі викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення за видами економічної діяльності в Україні переважають електроенергетика, переробна та добувна промисловості. Областями з найбільш забрудненим атмосферним повітрям в Україні є Донецька, Дніпропетровська, Київська, Запорізька та Луганська області. Містами з найвищими показниками забруднення є Дніпро, Донецьк, Кривий Ріг, Маріуполь, Київ, Запоріжжя.

Тверді частинки є конденсованими фазовими твердими або рідкими частинками, які знаходяться в атмосфері. У верхніх шарах атмосфери вони виступають в ролі реакційного центру на забруднювачі повітря. В нижніх шарах атмосфери вони змінюють атмосферну видимість, біогеохімічні цикли та

погіршують стан здоров'я людини. Основними фракціями твердих частинок є PM_{10} , $PM_{2.5}$ та надтонкі частинки. Останні є найбільш небезпечними, через їх здатність глибоко проникати у дихальні шляхи.

Тверді частинки можуть бути як первинними, так і вторинними та бути різних розмірів. Первинними називають атмосферні частинки, які викидаються безпосередньо в атмосферу. Вторинні частинки утворюються в атмосфері внаслідок хімічних реакцій, що включають первинні викиди. Таким чином, ці частинки можуть утворюватися в місцях, віддалених від джерел, що виділяють первинні забруднювальні речовини.

Більшість твердих частинок утворюються в атмосфері в результаті складних реакцій хімічних речовин, таких як діоксид сірки та оксиди азоту, які є з забруднювальними речовинами, що викидаються з електростанцій, промислових підприємств та автомобілів. Рекомендовані гранично допустимі концентрації для твердих частинок було розроблено ВООЗ, але кожна країна може встановлювати окремі допустимі концентрації.

Для звітування про стан атмосферного повітря, враховуючи концентрації таких забруднювальних речовин, як тверді частинки, озон, діоксид сірки, оксид вуглецю та діоксид азоту, був створений індекс якості повітря. Він складається з шести категорій та фокусується на наслідках для здоров'я, які людина може відчути після вдихання забрудненого повітря.

Дослідження впливу твердих частинок на здоров'я людини почали проводити на початку минулого століття, коли після надзвичайно високого рівня забруднення повітря сталося помітне збільшення смертності й захворюваності. При вдиханні частинки PM_{10} потрапляють у верхню частину дихальних шляхів і легень людини, $PM_{2.5}$ - у нижні відділи легень, досягаючи альвеол, а UFP здатні проникати через стінки альвеол у кровоносні судини і далі потрапляти в різні органи. Наслідки впливу твердих частинок на здоров'я людини включають інфаркт міокарда, інсульт, венозний тромбоз, атеросклероз, дисфункцію

вегетативної нервової системи, порушення функцій мозку (хвороби Альцгеймера і Паркінсона) і такі захворювання шкіри, як дисфункція шкірного бар'єру, atopічний дерматит, акне, псоріаз та алергічні реакції.

Забруднення повітря твердими частинками більшого розміру також значно впливає на біоту, зокрема рослинний світ. Тверді частинки впливають на фізіологію рослин як на фізичному, так і на хімічному і біохімічному рівнях. Частинки пилу можуть закупорюють отвори продихів, зменшують фотосинтез, підвищують температуру листя і збільшують транспірацію, викликають некроз та хлороз листя, відсталість росту стебла, провокують збільшення захворюваності рослин на патогени.

Аналізуючи дані автора, отримані у ході дослідження концентрацій твердих частинок у м. Київ, можна зробити висновок, що найвищі концентрації відмічалися у часи-пік поблизу проспектів, найнижчі – на територіях високою часткою озеленення більше 70%, але рівні забруднення атмосферного повітря твердими частинками м. Києві перевищують гранично допустимі значення, встановлені Всесвітньою організацією охорони здоров'я, а також Директивою 2008/50/ЄС. Викиди твердих частинок у повітря можуть бути мінімізовані за допомогою заходів, розроблених для запобігання забрудненню та контролю викидів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Архіпова Г. І., Ткачук І. С., Глушков Є. І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах. *Вісник НАУ*. 2009. № 1. С. 78-83.
2. Варламов Г. Б., Любчик Г. М., Маляренко В. А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: підручник. Київ : ІВЦ «Видавництво Політехніка», 2003. 232 с.
3. Віталій Кличко: У столиці вже встановили два пости моніторингу повітря : веб-сайт. URL: https://kyivcity.gov.ua/news/vitaliy_klichko_u_stolitsi_vzhe_vstanovili_dva_posti_monitoringu_povitrya/ (дата звернення 04.05.2021)
4. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г. Екологія автомобільного транспорту: навчальний посібник. Київ : Основа, 2002. 312 с.
5. Державна служба статистики України. Київ, 2021. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення 03.05.2021)
6. Довкілля України / Державна служба статистики України. Статистичний збірник за 2019 рік. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/11/Dovk_19.pdf (дата звернення: 10.04.2021)
7. Карта комфорту Києва. : Веб-сайт. URL: <https://misto.lun.ua/air> (дата звернення 04.05.2021)
8. Міндовкілля підготувало рейтинг ТОП-100 найбільших підприємств-забруднювачів/ Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Рейтинг за 2019 р : веб-сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/news/37063.html> (дата звернення: 15.03.2021)
9. Повітря прийнятне. Радіофізик пояснює, як вимірюють якість повітря в Києві : Веб-сайт URL: <https://www.the-village.com.ua/village/city/asking->

- question/302479-povitrya-priynyatne-radiofizik-poyasnyue-yak-vimiryuyut-yakist-povitrya-v-kiivi (дата звернення 04.05.2021)
10. Податковий кодекс України: від 02.12.2010 р. № 2755-VI. п.п. 14.1.230 п. 14.1 ст. 14. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2755-17#Text> (дата звернення: 20.03.2021)
 11. Про охорону атмосферного повітря: Закон України від 16.10.1992 р. №2707-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text> (дата звернення: 25.03.2021)
 12. Региональный план действий по охране окружающей среды Азии. URL: <http://www.mkurca.org/wp-content/uploads/2013/06/%D0%A0%D0%9F%D0%94%D0%9E%D0%9E%D0%A1.pdf> (дата звернення: 10.04.2021)
 13. Спостереження за забрудненням атмосферного повітря в м. Києві : Веб-сайт. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=lsza&f=lsza> (дата звернення 03.05.2021)
 14. Степаненко А.В., Обиход Г.О., Омельченко А.А. Екологічна модернізація в системі охорони атмосферного повітря в регіонах України. ДУ ІЕПСР НАН України. Київ, 2016. 265 с.
 15. Чим зараз дихає місто? : Веб-сайт. URL: <https://misto.lun.ua/air-about> (дата звернення 04.05.2021)
 16. Air Quality Index. A Guide to Air Quality and Your Health. URL: <https://www.airnow.gov/publications/air-quality-index/air-quality-index-a-guide-to-air-quality-and-your-health/> (дата звернення: 05.04.2021).
 17. Air Pollution in Ukraine from space. URL: https://www.researchgate.net/publication/346626359_Air_Pollution_in_Ukraine_from_space?channel=doi&linkId=5fca0c74a6fdcc697bdb9cfa&showFulltext=true (дата звернення: 12.04.2021).

18. Air quality in Europe – 2020 report. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report> (дата звернення: 08.04.2021).
19. Association between fine particulate matter and diabetes prevalence in the U.S. / Pearson J. F. et al. *Diabetes Care*, 2010. doi: 10.2337/dc10-0698
20. Association of air pollution with increased incidence of ventricular tachyarrhythmias recorded by implanted cardioverter defibrillators / Dockery D. W. et al. *Environ Health Perspect*, 2005. doi: 10.1289/ehp.7767
21. Bloss W. Atmospheric particulate matter. ECG Environmental Briefs. No 4. URL: https://www.rsc.org/images/environmental-brief-no-4-2014_tcm18-237725.pdf (дата звернення: 15.04.2021).
22. Brook R. D., Franklin B., Cascio W. Air pollution and cardiovascular disease. A statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. *Circ.* 2004. Vol. 109, P. 2655-2671.
23. Chulhwan H. Strategies to Reduce Air Pollution in Shipping Industry. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*. 2010. Vol. 26, № 1. P. 7-29.
24. Ciocco A., Thompson D. J. A follow-up on Donora ten years after: methodology and findings. *American Journal of Public Health*. 1961. Vol. 51, P. 155–164.
25. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. 2008, p. 1–44.
26. Duggar B. M., Cooley J. S., The effect of surface films and dusts on the rate of transpiration. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 1914. Vol 1, P. 1-22.
27. Effects of Particulate Matter in a Mouse Model of Oxazolone-Induced Atopic Dermatitis / B. Yoo et al. *Annals of Dermatology*, 2020. 496 p. doi: 10.5021/ad.2020.32.6.496

28. Eze I. C., Schaffner E., Fischer E., Schikowski T., Longterm air pollution exposure and diabetes in a population-based Swiss cohort. *Environment International*. 2014. Vol. 70, P. 95–105. DOI: 10.1016/j.envint.2014.05.014
29. Fanyu G. Evaluation of the Chinese New Air Quality Index based on comparison with the US AQI System and the WHO AQGs. Bachelor's thesis / Novia university of applied sciences. Raseborg, 2013. 33 p.
30. Franchuk G. M., Antonov A. M., Madzhd S.M., Zagoruy Y.V. The Ecological estimation of influence aviation transport processes on quality components of environment. *Announcer NAU*. 2006. Vol. 1. P. 184–190.
31. Gillett N. P., Stone D. A., Stott, P. A., Nozawa T., Karpechko A. Y., Hegerl G. C., Wehner M. F., Jones P. D. Attribution of Polar Warming to Human Influence. *Nature Geoscience*. 2008. Vol. 1. P. 750-754.
32. Global sources of local pollution: An assessment of long-range transport of key air pollutants to and from the United States. Washington, DC: National Academies Press. 2010. 234 p.
33. Gorham, R. Air pollution from ground transportation: an assessment of causes, strategies and tactics, and proposed actions for the international community. UN. New York, 2003. 161 p
34. Hamanaka R. B., Mutlu G. M. Particulate Matter Air Pollution: Effects on the Cardiovascular System. *Frontiers in Endocrinology*. Vol. 9, 2018. P. 680 doi: 10.3389/fendo.2018.00680
35. Inflammatory effects of particulate matter air pollution / Rubén A. P. et al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. doi:10.1007/s11356-020-10574-w
36. Jerret M., Arain M.A. Modelling the intraurban variability of ambient traffic pollution in Toronto, Canada. *Environmental Health*. 2007. Vol. 70, P. 200-212. doi: 10.1080/15287390600883018

37. Jitin R., Manish K. J. An Investigation in to the Impact of Particulate Matter on Vegetation along the National Highway: A Review. *Research Journal of Environmental Sciences*. 2014. Vol. 8, P. 356-372.
38. Kelly F.J., Fussell J.C. Size source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmos. Environ.* 2012. Vol. 60. P. 504–526.
39. Kowalska M., Ośródko L., Klejnowski K., Zejda J., Krajny E., Wojtylak M. Air quality index and its significance in environmental health risk communication. *Archives of Environmental Protection*. 2009. Vol. 35, No 1. P. 13-21.
40. Krippelova T. The influence of emissions from a magnesium factory on ruderal communities. *Blackwell Scientific Publications*. 1982. P. 334-33
41. Lee S. Fine particulate matter measurement and international standardization for air quality and emissions from stationary sources. 2010. *Fuel*. Vol. 89. P. 874–882.
42. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*. 2020. Vol. 8. P. 14.
43. Middleton E. L., Panayiotis Y., Sav vas K. A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: the effect of short-term changes in air pollution and dust storms. *Environmental Health*. 2008. Vol. 7, P. 39.
44. Milojevic A., Paul W., Ben A. Short-term effects of air pollution on arange of cardiovascular events in England and Wales: case-crossover analysis of the MINAP data-base, hospital admissions and mortality. *Heart*. 2014, Vol. 100, P. 1093-1098. DOI: 10.1136/heartjnl-2013-304963
45. Monitoring of Particulate Matter in Ambient Air around Waste Facilities; Technical Guidance Document. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/m17-monitoring-of-particulate-matter-in-ambient-air-around-waste-facilities> (дата звернення: 12.04.2021)

46. Mueller D. Ships, ports and particulate air pollution - an analysis of recent studies. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2011. Vol. 31.
47. Nanos G.D., Ilias I. F. Effects of inert dust on olive (*Olea europaea* L.) leaf physiological parameters. *Environmental Science and Pollution Research*. 2007. Vol. 14, P. 212-214. doi: 10.1065/espr2006.08.327
48. Ott W. R. Concepts of human exposure to air pollutants. *Environment International*. 1982. Vol. 7, №3. P. 179–196. doi: 10.1016/0160-4120(82)90104-0
49. Parish S .B. The effect of cement dust on citrus trees. *Plant World*. 1910. Vol. 13, P. 288-291.
50. Particulate matter causes skin barrier dysfunction / E. K. Byung et. al. Michigan, JCI Insight, 2021. 16 p. doi: 10.1172/jci.insight.145185
51. Rangasami S. R., Jambulingam R. Cement dust pollution on maize crop. *Madras Agricultural Journal*. 1973. Vol. 60, P. 1310-1313.
52. Se J. O., Dokyoung Y., Ji-Hye P., Jong H. L. Effects of Particulate Matter on Healthy Skin: A Comparative Study Between High and Low-particulate Matter Periods. *Research square*. 2020. doi: 10.21203/rs.3.rs-41713/v1
53. Systematic Review and Meta-Analysis of Human Skin Diseases Dueto Particulate Matter / Lee Y. C. et al. *Int J Environ Res Public Health*, 2017. 14 p.
54. Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index. U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf> (дата звернення: 03.04.2021).
55. The relation between coronary artery calcification in asymptomatic subjects and both traditional risk factors and living in the city centre: a DanRisk substudy / Lambrechtsen J. et al. *J Intern Med*. 2012. P. 444. doi: 10.1111/j.1365-2796.2011.02486.x
56. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. URL:

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06_02_eng.pdf (дата звернення: 07.04.2021).

57. WORLD AIR QUALITY REPORT. Region & City PM_{2.5} Ranking. URL: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-thailand-stateless/2020/02/91ab34b8-2019-world-air-report.pdf> (дата звернення: 06.04.2021).
58. Yogaraj S., Jayabalakrishnan R. M. Assessment of particulate matter deposition on tree species near Marudhamalai region. *International Journal of Chemical Studies*. 2020. Vol. 8, P. 389-394. doi:10.22271/chemi.2020.v8.i4g.10122