

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут екології
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

МОНІТОРИНГ ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВЕЛИКИХ МІСТ (на прикладі м. Харків)

Виконала: студентка 5 курсу, групи ЗДЕ-53
напряму підготовки: 6.040106 «Екологія, охорона
навколишнього середовища та збалансоване
природокористування»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ / Дядечко К. В. /
(прізвище та ініціали)

Керівник _____ / ст. викл. Бодак І. В. /
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____ / проф. Некоз А. Н. /
(прізвище та ініціали)

Нормоконтролер _____ / інж. Дюкова В. В. /
(прізвище та ініціали)

Секретар ДЕК _____
(прізвище та ініціали)

Харків – 2020 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут екології

Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Напрямок підготовки: 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 проф. А. Н. Некос

підпис ініціали, прізвище

28 травня 2019 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Дядечко Ксенії Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи: Моніторинг пилового забруднення атмосфери великих міст (на прикладі м. Харків)

керівник роботи ст. викл. Бодак Інна Володимирівна,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “ ” 20 року №

2. Строк подання студентом роботи_____

3. Перелік питань, які потрібно розробити

1. З'ясувати основні гігієнічні характеристики атмосферного пилу та його роль у формуванні забруднення повітря міст;
2. Дослідити відомості щодо впливу дрібнодисперсного пилу на здоров'я населення, подані у вітчизняних та закордонних джерелах;
3. Проаналізувати закордонні та вітчизняні підходи щодо нормування запиленості атмосферного повітря у населених пунктах;
4. Провести моніторинг рівня пилового забруднення атмосферного повітря м. Харків, базуючись на даних відкритих онлайн-ресурсів щодо концентрації дрібнодисперсного пилу (PM_{2,5}) в повітрі;
5. Простежити добову, тижневу, місячну та сезонну варіацію запиленості атмосферного повітря м. Харків.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Розділ 1. Дрібнодисперсний пил як фактор забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій
2	Розділ 2. Методи дослідження пилового забруднення великих міст
3	Розділ 3. Моніторинг забруднення повітря великих міст дрібнодисперсним пилом (на прикладі м. Харків)

5. Дата видачі завдання 28.05.2019 р.

Студент

підпис

К. В. Дядечко

ініціали, прізвище

Керівник роботи

підпис

ст. викл. І. В. Бодак

посада, ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ
МОНІТОРИНГ ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВЕЛИКИХ
МІСТ (на прикладі м. Харків)
Дядечко К. В.

Через прогресуючі темпи технологічного розвитку зростає антропогенне навантаження на повітряний простір. Одним із пріоритетних забруднювачів повітря стає пил. Особливу загрозу несуть дрібнодисперсні завислі частинки розміром менше 2,5 мкм (далі – $PM_{2,5}$). Основними джерелам забруднення є автотранспорт, будівельні майданчики, промислові підприємства та ін.. Дослідження різних вчених підтверджують, що підвищені концентрації $PM_{2,5}$ в атмосферному повітрі негативно впливають на здоров'я населення.

У рамках даних досліджень моніторинг $PM_{2,5}$ в атмосферному повітрі м. Харків проводився у період з 01.08.2019 р. до 01.04.2020 р. на шести контрольних точках у різних районах міста. Було опрацьовано 28119 проб. Джерелом отримання даних слугував відкритий електронний ресурс Air Pollution (<https://www.air-pollution.ml>). Вимірювання концентрації $PM_{2,5}$ здійснювалося за допомогою пиломірів «7bit Pollution Monitor».

Визначені концентрації $PM_{2,5}$ порівнювалися з міжнародними значеннями ГДК, визначеними ВООЗ. Оцінка якості повітря проводилася відповідно до міжнародної шкали рівня забруднення повітря за Індексом якості повітря (Air Quality Index, AQI). У ході аналізу також було простежено добову, тижневу та сезонну динаміку вмісту $PM_{2,5}$ шляхом побудови серії діаграм і графіків.

Загалом за середніми значеннями концентрацій за період спостережень вміст $PM_{2,5}$ у повітрі м. Харків за шкалою AQI можна класифікувати як задовільний з тенденцією наближення до помірного.

ДРІБНОДИСПЕРСНИЙ ПИЛ, $PM_{2,5}$, ПИЛОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ, ВЕЛИКІ МІСТА, ІНДЕКС ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

ANNOTATION
MONITORING OF FINE DUST AIR POLLUTION OF CITIES
(on the example of the city of Kharkiv)
Dyadechko K. V.

Due to the progressive pace of technological development, the anthropogenic load on air space is increasing. Dust is one of the major air pollutants. Especially threatened are fine particulate particles smaller than 2,5 microns (hereinafter - $PM_{2,5}$). The main sources of pollution are motor vehicles, construction sites, industrial enterprises, etc. Studies by various scientists confirm that elevated concentrations of $PM_{2,5}$ in the atmosphere adversely affect public health.

As part of these studies, monitoring of $PM_{2,5}$ in the atmospheric air of Kharkiv was conducted from 01.08.2019 to 01.04.2020 at six control points, in different parts of the city. 28,119 samples were processed. The source of the data was Air Pollution's open electronic resource (<https://www.air-pollution.ml>). $PM_{2,5}$ concentration was measured using a 7bit Pollution Monitor.

The determined $PM_{2,5}$ concentration was compared with the WHO internationally established MPC values. The air quality assessment was carried out in accordance with the International Air Quality Index (AQI). The analysis also tracked the daily, weekly, and seasonal dynamics of $PM_{2,5}$ concentration by building a series of charts and graphs.

In general, the average concentrations of $PM_{2,5}$ in the Kharkiv air on the AQI scale can be classified as satisfactory with a tendency to approach moderate.

FINE DUST, $PM_{2,5}$, DUST POLLUTION, BIG CITIES, AIR QUALITY INDEX.

АННОТАЦИЯ
МОНИТОРИНГ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО
ВОЗДУХА БОЛЬШИХ ГОРОДОВ (на примере города Харькова)

Дядечко К. В.

В связи с прогрессивными темпами технологического развития, антропогенная нагрузка на воздушное пространство увеличивается. Пыль является одним из приоритетных загрязнителей воздуха. Особую опасность представляют мелкие частицы размером менее 2,5 мкм (далее - $PM_{2,5}$). Основными источниками загрязнения являются автомобили, строительные площадки, промышленные предприятия и т. д. Исследования различных ученых подтверждают, что повышенные концентрации $PM_{2,5}$ в атмосфере отрицательно влияют на здоровье населения.

В рамках этих исследований мониторинг $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе Харькова проводился с 01.08.2019 по 01.04.2020 на шести контрольных точках в разных частях города. Было обработано 28119 образцов. Источником данных был открытый электронный ресурс Air Pollution (<https://www.air-pollution.ml>). Концентрацию $PM_{2,5}$ измеряли с помощью пылемера «7bit Pollution Monitor».

Определенные концентрации $PM_{2,5}$ сравнивались с международными установленными значениями ПДК ВОЗ. Оценка качества воздуха проводилась в соответствии с Международным индексом качества воздуха (AQI). В процессе анализа также отслеживали ежедневную, еженедельную и сезонную динамику содержания $PM_{2,5}$ путем построения ряда диаграмм и графиков.

В целом, средние концентрации $PM_{2,5}$ в воздухе Харькова по шкале AQI можно классифицировать как удовлетворительные с тенденцией приближаться к умеренной.

МЕЛКОДИСПЕРСНАЯ ПЫЛЬ, $PM_{2,5}$, ПЫЛЕВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ, БОЛЬШИЕ ГОРОДА, ИНДЕКС КАЧЕСТВА ВОЗДУХА.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 ДРІБНОДИСПЕРСНИЙ ПИЛ ЯК ФАКТОР ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ.....	11
1.1 Гігієнічна характеристика пилу в атмосферному повітрі.....	11
1.2 Джерела надходження дрібнодисперсного пилу у довкілля.....	13
1.3 Вплив дрібнодисперсного пилу на здоров'я людини.....	14
1.4 Сучасні світові тенденції пилового забруднення атмосферного повітря міст.....	17
1.5 Проблеми нормування викидів дрібнодисперсного пилу в навколишнє середовище.....	20
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВЕЛИКИХ МІСТ.....	23
РОЗДІЛ 3 МОНІТОРИНГ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ВЕЛИКИХ МІСТ ДРІБНОДИСПЕРСНИМ ПИЛОМ (на прикладі м. Харків).....	30
3.1 Сучасний стан моніторингових досліджень запиленості повітря м. Харків.....	30
3.2 Результати досліджень сезонної та добової варіації вмісту дрібнодисперсного пилу в повітрі м. Харків.....	31
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42
ДОДАТКИ.....	47

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я;

ГДК – гранично-допустима концентрація;

Мкм – мікромметр;

Мкг – мікрограм;

Мг – міліграм;

М³ – метр кубічний;

ПАВ – поліциклічні ароматичні вуглеводні;

PM_{1,0} – дрібнодисперсні завислі частинки розміром менше 1,0 мкм;

PM_{2,5} – дрібнодисперсні завислі частинки розміром менше 2,5 мкм;

PM₁₀ – дрібнодисперсні завислі частинки розміром менше 10 мкм.

ВСТУП

Сучасні прогресуючі темпи технологічного розвитку призводять до зростання антропогенного навантаження на повітряний простір і порушення рівноваги у навколишньому середовищі. Сьогодні одним із пріоритетних забруднювачів повітря стає пил, рівень небезпеки якого для здоров'я населення тісно корелює з розміром його складових частинок, тобто дисперсністю. Особливу загрозу несуть дрібнодисперсні завислі частинки розміром менше 2,5 мкм (далі – $PM_{2,5}$). Джерелом утворення такого пилу в основному виступають автотранспорт, будівельні майданчики, промислові підприємства та ін..

Дослідження закордонних та вітчизняних вчених підтверджують, що підвищені концентрації $PM_{2,5}$ в атмосферному повітрі призводять до зниження середньої тривалості життя та зростання рівня захворюваності населення. Завдяки мікроскопічним розмірам частинки $PM_{2,5}$ легко проникають в організм людини через дихальні шляхи та викликає астму, хвороби органів дихання, серцево-судинні захворювання, рак легень та ін.

Мета роботи: простежити особливості формування пилового забруднення атмосферного повітря великих міст (на прикладі м. Харків).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. визначити поняття атмосферного пилу та його роль у формуванні забруднення повітря урбанізованих територій;
2. з'ясувати вплив дрібнодисперсного пилу на здоров'я населення;
3. проаналізувати закордонні та вітчизняні підходи щодо нормування запиленості атмосферного повітря у населених пунктах;
4. провести моніторинг рівня забруднення атмосферного повітря м. Харків дрібнодисперсним пилом ($PM_{2,5}$);
5. простежити добову, тижневу, місячну та сезонну варіацію запиленості атмосферного повітря м. Харків.

Об'єкт дослідження: атмосферне повітря урбанізованих територій (на прикладі м. Харків).

Предмет дослідження: особливості формування рівня забруднення атмосферного повітря великих міст дрібнодисперсним пилом ($PM_{2,5}$).

Основна гіпотеза (постановка проблеми) дослідження: рівень забруднення атмосферного повітря великих міст, зокрема м. Харків, дрібнодисперсним пилом має тенденцію до активного зростання і піддається варіації у просторі та часі внаслідок впливу комплексу природних і соціально-економічних факторів.

Методи досліджень: дані дослідження ґрунтуються на поєднанні теоретичних та емпіричних методів. Автором було застосовано такі універсальні загально-логічні методи, як аналіз, синтез, узагальнення та порівняння, метод порівняльно-історичного аналізу, а також спостереження та опис. Математичний обрахунок та графічну візуалізацію експериментальних даних виконано на основі комп'ютерної програми Microsoft Excel 2013.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

- вперше здійснено спробу систематизації даних щодо концентрації дрібнодисперсного пилу $PM_{2,5}$ в атмосферному повітрі м. Харків;
- вперше проаналізовано хронологічні (добові, тижневі, місячні та сезонні) варіації концентрацій $PM_{2,5}$ в атмосферному повітрі м. Харків;
- дістала подальший розвиток концепція використання міжнародних нормативів ВООЗ для оцінки якості повітря урбанізованих територій.

Практичне значення отриманих результатів: основні положення даної роботи можуть бути використані при розробці заходів щодо мінімізації рівня забруднення атмосферного повітря великих міст, а також у подальших дослідженнях, спрямованих на виявлення залежності рівня захворюваності населення від ступеня запиленості повітря.

Робота написана на основі аналізу вибірки даних із 28119 значень масової концентрації $PM_{2,5}$ у атмосферному повітрі м. Харків за період з 01.08.2019 р. до 01.04.2020 р. (8 місяців), отриманих з відкритого електронного ресурсу «Air Pollution» [30]. У роботі була використана інформація, представлена у вітчизняній та закордонній науковій літературі, методичних рекомендаціях, нормативних документах, картографічних джерелах, відкритих інтернет-ресурсах та ін.

РОЗДІЛ 1

ДРІБНОДИСПЕРСНИЙ ПИЛ ЯК ФАКТОР ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО
ПОВІТРЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

1.1 Гігієнічна характеристика пилу в атмосферному повітрі

Атмосферний пил або ж завислі частинки (з англ. *particulate matter* (далі – PM)) становлять собою дисперсну систему, що складається з твердих частинок, різних за величиною, що знаходяться в повітрі у завислому стані [1].

За походженням пил поділяють на *неорганічний* (металічний і мінеральний), *органічний* (рослинний (зерновий, бавовняний, деревний та ін.); тваринний (кістковий, вовняний, шкіряний); пил штучних органічних сполук (наприклад, полімерних матеріалів) і *змішаний* [2].

Завислий пил на 90% складається з дрібнодисперсних фракцій, які важко вловлюються пиловловлювачами і легко проникають у дихальні шляхи. Загалом за дисперсністю пил класифікують наступним чином:

- видимий (понад 10 мкм);
- мікроскопічний (від 0,25 до 10 мкм);
- ультрамікроскопічний (менше 0,25 мкм) [3].

До показників, які використовуються для характеристики PM, належать масова концентрація частинок діаметром менше 10 мкм (PM₁₀) і менше 2,5 мкм (PM_{2,5} або ж дрібнодисперсні частинки). PM_{2,5} теж включають у себе субмікроскопічні частинки діаметром менше 0,1 мкм. На більшості території Європи до складу PM₁₀ входить 50-70% PM_{2,5} [4]. Діаметр людської волосини становить 50-90 мкм, що щонайменше у 20 разів більше, ніж діаметр частинки PM_{2,5} (рис. 1.1).

PM діаметром від 0,1 мкм до 1 мкм можуть перебувати в атмосферному повітрі протягом багатьох днів і тижнів, а отже, піддаватися транскордонному перенесенню на великі відстані [4].

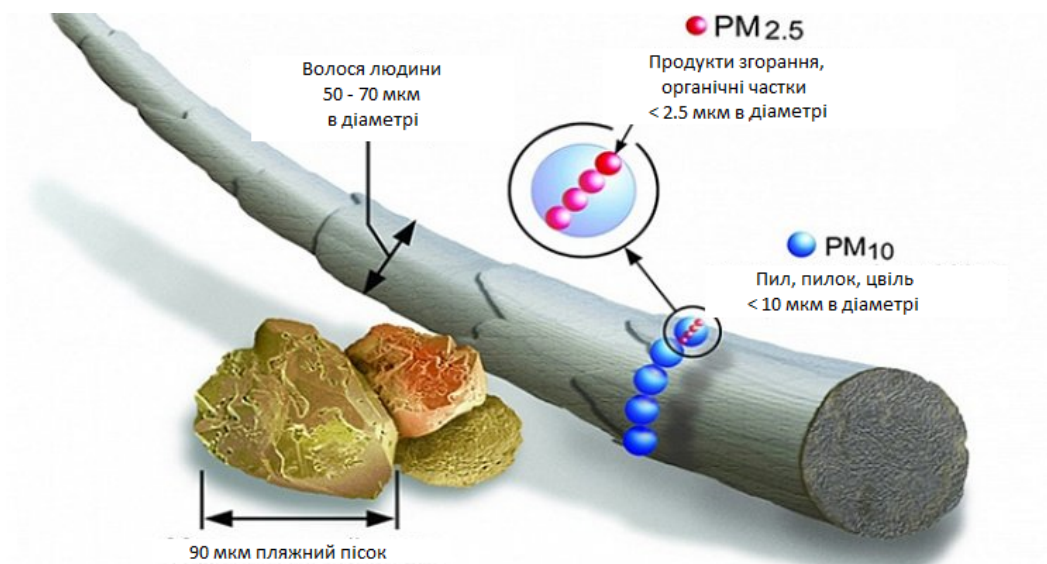


Рис. 1.1 – Співвідношення розмірів різних пилових частинок [5]

Фізичні та хімічні характеристики завислих частинок змінюються залежно від місцезнаходження. Серед найбільш поширених хімічних компонентів РМ слід назвати сульфати, нітрати, аміак, інші неорганічні йони, такі як іони натрію, калію, кальцію, магнію, хлору, а також органічний і елементарний вуглець, зв'язана вода, метали (у тому числі ванадій, кадмій, мідь, нікель і цинк) і поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ). У складі РМ також зустрічаються біологічні компоненти, зокрема алергени і мікроорганізми [4].

Середній хімічний склад пилових частинок варіюється з висотою. Так, до висоти 3 км у складі атмосферного пилу 50% становлять сульфати (в основному, у формі середнього сульфату амонію), 35% – частинки ґрунтового походження, що складаються з SiO_2 (53%), Al_2O_3 (17%), Fe_2O_3 (7%) та інших компонентів (23%), і 15% – морські солі (головний компонент – NaCl). Вище 3 км 60% частинок складають сульфати, а 40% мають ґрунтове походження. Звісно, хімічний склад і розподіл часток по висоті може значно варіюватися залежно від місцевих джерел утворення аерозолів та особливостей перенесення повітряних мас [6]. Зокрема, пил, який осідає в індустріальних районах, містить до 20% оксиду заліза, 15% силікатів і 5% сажі, а також домішки різних металів (Pb, V, Mo, As та ін.) [7].

Отже, пилові частинки $PM_{2,5}$ дуже малі за діаметром, тож побачити їх неозброєним оком неможливо. Завдяки мікроскопічним розмірами вони можуть перебувати в атмосферному повітрі протягом багатьох тижнів, а отже, піддаватися транскордонному перенесенню на великі відстані. Фізичні характеристики та хімічний склад пилових частинок значно варіюються залежно від природи їхнього походження та місцезнаходження.

1.2 Джерела надходження дрібнодисперсного пилу у довкілля

За походженням в атмосферному повітрі завислі частинки поділяють на *первинні*, тобто ті, які надходять в атмосферне повітря з різних джерел, та *вторинні*, які безпосередньо утворюються в атмосфері в результаті хімічних реакцій таких газоподібних речовин-прекурсорів, як двоокис сірки, оксиди азоту, аміак і неметанові леткі органічні сполуки. Вторинні частинки в основному відносяться до дрібнодисперсних ($PM_{2,5}$) [4].

І первинні частинки, і газоподібні прекурсори можуть утворюватися як зі штучних (антропогенних), так і з природних джерел. До *антропогенних* джерел належать двигуни внутрішнього згоряння (як дизельні, так і бензинові), тверді види палива (кам'яне та буре вугілля, нафта і біомаса), що спалюються для видобутку енергії в побутовому секторі та промисловості, інші види промислової діяльності, такі як будівництво, видобуток корисних копалин, виробництво цементу, кераміки та цегли і плавильне виробництво, а також ерозія дорожнього покриття внаслідок руху автотранспорту, стирання гальмівних колодок і шин [4].

Згідно з даними Боаоського азіатського форуму джерела викидів мають такий процентний розподіл: викиди від автотранспорту – 31%, продукти спалювання вугілля – 22%, промислові викиди – 18% і пил антропогенного походження – 14%. Решта близько 15 % – це викиди від підприємств громадського харчування, автосервісу, тваринництва та ремонтно-оздоблювальних робіт [8].

Речовини, що надходять в атмосферу в результаті людської діяльності, згодом формують вторинні $PM_{2,5}$ -частинки [9].

До природних джерел утворення РМ належать пилові та піщані бурі, виверження вулканів, лісові та степові пожежі, космічний пил, ерозія ґрунту та гірських порід, пилок рослин. До речі, особливо великий внесок в утворення РМ у посушливих районах має саме вітрова ерозія, яка сприяє перенесенню пилу на великі відстані, наприклад, з Сахари до Південної Європи [4].

Отже, за походженням завислі пилові частинки поділяють на первинні та вторинні, при цьому вторинні частинки в основному відносяться до дрібнодисперсних ($PM_{2,5}$). Джерелом надходження пилу в атмосферу можуть виступати як природні, так і антропогенні процеси.

1.3 Вплив дрібнодисперсного пилу на здоров'я людини

Дрібнодисперсний пил має велику потенційну загрозу для здоров'я людини, адже пилові частинки можуть містити у собі важкі метали та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), в тому числі бенз(а)пірен [10].

До складу PM_{10} і $PM_{2,5}$ входять респірабельні частинки, які мають настільки малий діаметр, що можуть проникати в торакальний відділ дихальної системи. Вплив респірабельних зважених часток на здоров'я населення має повне документальне підтвердження за результати програм Європейської комісії «Чисте повітря для Європи» (2004–2007 рр.) та проектів ВООЗ «Обґрунтування даних щодо впливу забруднення повітря на здоров'я для перегляду європейських нормативів» (проект REVIHAAP) та «Оцінка ризиків для здоров'я від забруднення повітря в Європі» (проект HRAPIE) та ін. [11, 12].

Підвищені концентрації РМ призводять до легеневих дисфункцій, хронічного пригнічення темпів розвитку легень і довготривалої легеневої недостатності [13]. Погіршення здоров'я може бути зумовлене як короткочасною

(кілька годин або днів), так і довготривалою (кілька місяців або років) експозицією і проявлятися в різного роду ускладненнях (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Прояви погіршення здоров'я залежно від тривалості експозиції $PM_{2,5}$ [9]

Довготривала експозиція	Короткочасна експозиція	Тимчасова
Збільшення респіраторних синдромів, таких як подразнення дихальних шляхів, кашель або важке дихання	Посилення захворювання легень, що викликають напади астми і гострий бронхіт	Подразнення очей, носа і горла
Зниження функцій легень	Збільшення чутливості до респіраторних інфекцій	Кашель
Загострення астми		Важкість у грудях
Хронічні респіраторні захворювання у дітей		Порушення ритмів дихання
Хронічний бронхіт, хронічна обструктивна хвороба легень		
Аритмія		
Несмертельні серцеві напади		
Передчасна смерть у людей із захворюваннями серця та легень, зокрема смерть від раку легень		

Численні епідеміологічні дослідження у багатьох країнах світу (Росія, Казахстан, ЄС, США, Білорусь) доводять вплив короткочасної експозиції PM_{10} на дихальну систему [23, 24, 25], однак з точки зору смертності (особливо в результаті довготривалої експозиції) частинки більш дрібної фракції $PM_{2,5}$ виступають більш значущим фактором ризику. Так, виявлено, що при збільшенні концентрації PM_{10} на 10 мкг/м^3 добова смертність від різних можливих причин зростає на 0,2-0,6% [14, 15], а $PM_{2,5}$ - кардіопульмональної смертності на 6-13% [16, 17, 18]. На даний момент немає даних, які вказували б на наявність безпечного рівня експозиції, нижче якого немає наслідків для здоров'я [19].

На даний момент відсутні жодні переконливі дані щодо розбіжностей у ступені та характері негативного впливу РМ на здоров'я популяції залежно від хімічного складу або джерела походження завислих частинок. Однак відзначається, що $PM_{2,5}$, які утворюються із сажі внаслідок неповного згорання палива (як від мобільних, так і від стаціонарних джерел), несуть у собі особливу загрозу за рахунок вмісту металів, неорганічних солей і особливо ПАВ (поліциклічних ароматичних вуглеводнів), які відомі своїми канцерогенними і токсичними впливами на клітину [4, 20].

Загалом у глобальному масштабі на рахунок впливу $PM_{2,5}$ відносять приблизно 3% випадків смертей від захворювань серцево-судинної і дихальної систем і 5% випадків смерті від раку легень [21]. За даними ВООЗ, у європейському регіоні ці показники становлять 1–3% і 2–5% відповідно [21]. Проте відсоток захворюваності на різні хвороби внаслідок забруднення атмосферного повітря може бути значно вищим. За даними Ліма С.С. та ін., у 2010 р. забруднення атмосферного повітря $PM_{2,5}$ спричинило 3,1 млн смертей і скорочення тривалості життя на 3,1% у всьому світі [22].

Підвищений вміст $PM_{2,5}$ у повітрі зменшує середню очікувану тривалість життя в середньому на 8,6 місяців. Виявлено, що, якби концентрацію $PM_{2,5}$ вдалося знизити до рекомендованого ВООЗ рівня, середня очікувана тривалість життя в містах з найвищим рівнем забруднення могла б збільшитися приблизно на 20 місяців [23].

Таким чином, дрібнодисперсний пил несе велику потенційну загрозу для здоров'я людини. За рахунок мікроскопічних розмірів і здатності залишатися у повітрі довгий час, він легко проникає у організм людини через дихальні шляхи. Тяжкість захворювань залежить від тривалості експозиції. Особливо вразливими є групи людей, які страждають захворюваннями легень або серця, а також люди похилого віку і діти.

1.4. Сучасні світові тенденції пилового забруднення атмосферного повітря міст

Незважаючи на активну співпрацю міжнародної спільноти, в тому числі ООН, щодо мінімізації негативного впливу антропогенної діяльності на атмосферне повітря, рівень його забруднення залишається досить високим, особливо в промислових регіонах та густонаселених мегаполісах. Особливу загрозу в цьому аспекті мають сумні тенденції щодо збільшення концентрацій дрібнодисперсного пилу в приземному шарі атмосфери.

Загальносвітова картина вмісту дрібнодисперсних частинок $PM_{2,5}$ в атмосферному повітрі в різних країнах світу станом на 2019 рік згідно з рейтингом організації AirVisual [24] подана в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Рейтинг країн за середніми концентраціями $PM_{2,5}$ (мкг/м³)
станом на 2019 рік [24]

1	Bangladesh	97.1	26	Chile	24.9	51	Puerto Rico	13.7
2	Pakistan	74.3	27	South Korea	24.0	52	Belgium	13.5
3	India	72.5	28	Serbia	23.9	53	France	13.2
4	Afghanistan	61.8	29	Poland	22.4	54	Germany	13.0
5	Bahrain	59.8	30	Croatia	22.2	55	Japan	12.0
6	Mongolia	58.5	31	Turkey	21.9	56	Netherlands	11.7
7	Kuwait	56.0	32	Macau	21.2	57	Switzerland	11.6
8	Nepal	54.2	33	Mexico	20.3	58	Russia	11.4
9	United Arab Emirates	49.9	34	Czech Republic	20.2	59	Luxembourg	11.2
10	Nigeria	44.8	35	Hong Kong	20.2	60	Malta	11.0
11	Indonesia	42.0	36	Cambodia	20.1	61	United Kingdom	10.8
12	China Mainland	41.2	37	Romania	18.6	62	Spain	10.3
13	Uganda	40.8	38	Israel	18.6	63	Ireland	9.5
14	Bosnia & Herzegovina	40.0	39	Taiwan	18.5	64	Portugal	9.4
15	Macedonia	35.5	40	Slovakia	18.5	65	USA	9.0
16	Uzbekistan	34.3	41	Cyprus	17.6	66	Canada	7.9
17	Vietnam	32.9	42	Lithuania	17.5	67	New Zealand	7.7
18	Sri Lanka	32.0	43	Hungary	16.8	68	Norway	7.6
19	Kosovo	30.4	44	Brazil	16.3	69	Sweden	7.4
20	Kazakhstan	29.8	45	Austria	15.0	70	Estonia	7.2
21	Peru	28.0	46	Italy	14.9	71	Australia	6.8
22	Ethiopia	27.1	47	Singapore	14.8	72	Finland	6.6
23	Thailand	26.4	48	Philippines	14.6	73	Iceland	5.0
24	Bulgaria	25.8	49	Ukraine	14.0			
25	Iran	25.0	50	Colombia	13.9			

**Примітка: кольорова градація цифрових значень у таблиці відповідає шкалі рівня забруднення повітря за Індексом якості повітря: синій – низький, зелений – задовільний, жовтий – помірний, помаранчевий – високий, фіолетовий – дуже високий та небезпечний [26]*

Як видно з табл. 1.2, найнижчі середні концентрації $PM_{2,5}$ ($5,0\text{--}7,6\text{ мкг/м}^3$) виявлені в країнах Північної Європи (Ісландія, Фінляндія, Швеція, Норвегія), тоді як до топ-5 країн з найвищими показниками входять Бангладеш, Пакистан, Індія, Афганістан та Бахрейн, де ці значення у 12-19 разів вищі. До речі, зазначимо, що 8 з 10 найбільш забруднених міст нашої планети знаходяться в Індії, а її столиця Делі посідає перше місце в світі за рівнем забруднення повітря [25]. Україна ж займає 49-позицію і входить до групи країн з помірним рівнем забруднення атмосферного повітря. Досить показовою є картина забруднення повітря міст Європи на основі Індексу якості повітря (European Air Quality Index) (див. рис. 1.2). Цей показник бере до уваги три основні забруднюючі речовини (діоксид азоту (NO_2), тверді частинки діаметром менше 10 мкм/м^3 (PM_{10}) і менше $2,5\text{ мкм/м}^3$ ($PM_{2,5}$), які пов'язують з викидами автотранспорту [27]. Моніторинг проводить Європейське агентство з навколишнього середовища у співпраці з Європейською мережею екологічної інформації та спостережень (Eionet) [27]. Станції моніторингу розміщені по всій Європі далеко від домінуючих одиничних джерел забруднення і надсилають дані в режимі реального часу, що дозволяє відобразити середню експозицію населення в цілому.

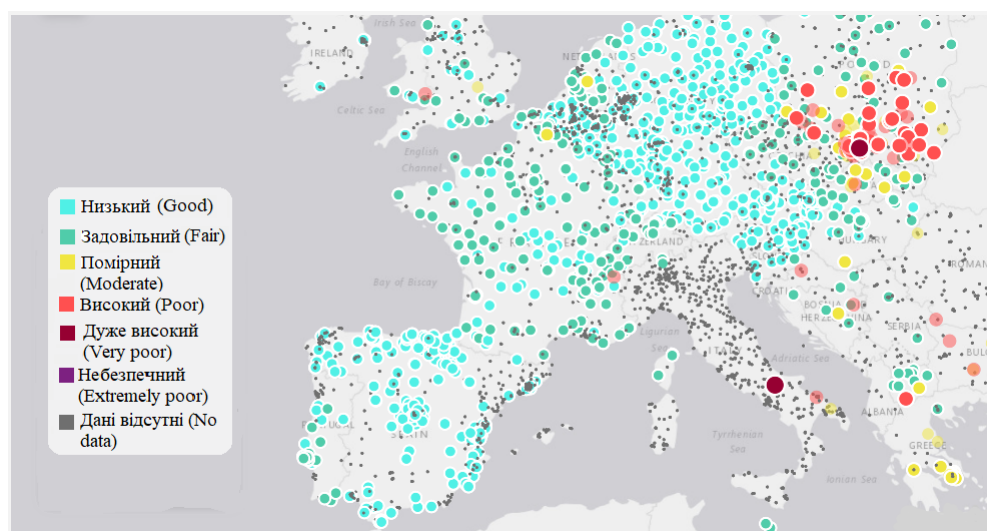


Рис. 1.2 – Рівень забруднення повітря міст Європи за Індексом якості повітря (European Air Quality Index) станом на 01.04.2020 14:40 [27]

Як видно з рис. 1.2, для більшості країн Центральної та Західної Європи якість повітря загалом класифікується як добра та задовільна. Однак у промислових регіонах Польщі забруднення повітря досягає високого, а місцям навіть небезпечного рівня.

Для території України теж характерна диференціація рівня забруднення повітря залежно від концентрації промислових об'єктів та населення. Загалом слід відзначити, що згідно з даними Держстату станом на 2018 викиди забруднюючих речовин в Україні у відсотковому відношенні мають такий вигляд: 52% видобувна та переробна промисловість; 40% енергетика; 3% сільське та рибне господарства; 5% транспорт [28].

Звісно, в межах кожного регіону ситуація буде різнитися. Найбільші обсяги викидів у повітря фіксуються у Донецькій (30,5% від загальної кількості), Дніпропетровській (25,5%) та Івано-Франківській (7,5%) областях, найменші – у Волинській, Чернівецькій та Закарпатській областях (до 0,2%) [29].

В Україні моніторинг пилового забруднення атмосферного повітря міст проводиться рамках проекту Air Pollution за показниками PM_{10} , $PM_{2,5}$ та $PM_{1,0}$ [30].

Дані відображаються на офіційному сайті (<https://air-pollution.ml/>) у вигляді інтерактивної карти в режимі реального часу (рис. 1.3).

Як видно з рис. 1.3, станом на 14:40 01.04.2020 р. на переважній території України рівень вмісту $PM_{2.5}$ атмосферному повітрі досить низький (2-14 $мкг/м^3$). Проте у великих містах (Харків, Львів, Дніпро, Київ) спостерігаються значні підвищення концентрацій дрібнодисперсного пилу в повітрі. Зокрема, для м. Харків були зафіксовані концентрації на рівні 41 $мкг/м^3$ (1,6 ГДК за ВООЗ), а отже в такому разі якість повітря можна класифікувати як погану (високий рівень забруднення).

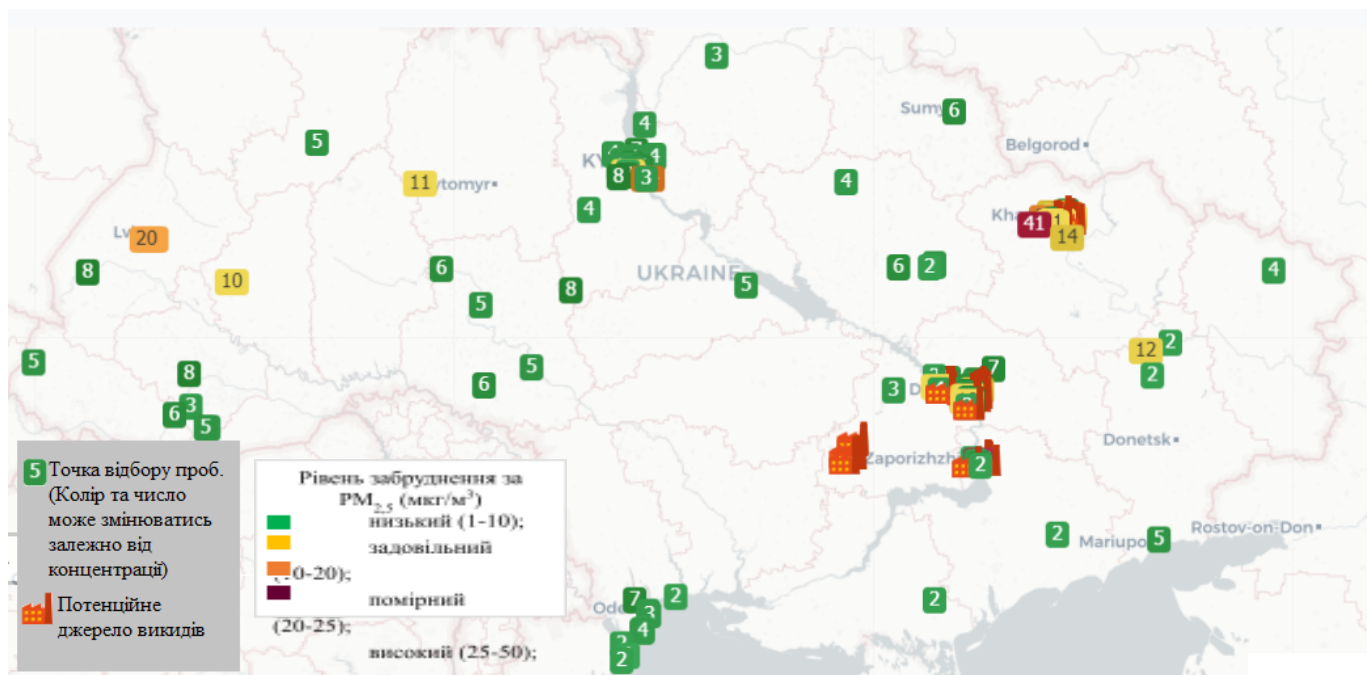


Рис. 1.3 – Вміст $PM_{2.5}$ в атмосферному повітрі міст України станом на 01.04.2020, 14:40 [30]

Основними причинами, що зумовлюють незадовільний стан якості атмосферного повітря в населених пунктах, є недотримання підприємствами режиму експлуатації пилогазоочисного обладнання, невиконання заходів із

зниження обсягу викидів забруднюючих речовин до встановлених нормативів, низькі темпи впровадження новітніх технологій [31].

Отже, на основі аналізу даних різних проектів з моніторингу пилового забруднення атмосферного повітря простежується диференціація рівня концентрацій дрібнодисперсного пилу залежно від соціально-економічних умов території. Високий вміст пилу в повітрі деяких міст і регіонів у багатьох країнах світу свідчить про глобальний характер даної проблеми, боротьба з якою потребує впровадження нагальних заходів щодо мінімізації викидів з потенційних джерел.

1.5. Проблеми нормування викидів дрібнодисперсного пилу в навколишнє середовище

Загалом у світі існують різні підходи до встановлення ГДК вмісту пилу в атмосферному повітрі (табл. 1.3). При цьому в Україні наукові дослідження оцінки впливу дрібнодисперсних частинок дуже обмежені через відсутність єдиної стратегії моніторингових досліджень та критеріїв щодо нормування PM_{10} та $PM_{2,5}$ [32, 33, 34, 35].

Таблиця 1.3

Гранично допустимі концентрації $PM_{2,5}$ в атмосферному повітрі

Забруднююча речовина	Період	Концентрації, $мкг/м^3$		
		ЄС [36]	ВООЗ [37]	Україна [38]
Зважені речовини, частинки розміром <10 $мкм$ (PM_{10})	24 години	50	50	150
	рік	40	20	500
Зважені речовини, частинки розміром $<2,5$ $мкм$ ($PM_{2,5}$)	24 години	—	25	150
	рік	20	10	500

Як видно з табл.1.3, ВООЗ визначила для $PM_{2,5}$ значно жорсткіші значення ГДК, ніж для PM_{10} , адже чим дрібніші частинки, тим більшу потенційну загрозу вони несуть для здоров'я. Найбільш жорсткими є ГДК, рекомендовані ВООЗ, тому їх можна вважати найбільш оптимальними для проведення моніторингу.

Зазначимо, що в Україні встановлені норми на вміст в атмосферному повітрі завислих речовин лише для сукупності частинок розміром до 500 мкм. Вони класифікуються за хімічним складом без урахування дисперсності, що значно ускладнює моніторинг забруднення повітря дрібнодисперсним пилом.

В Україні гігієнічні стандарти є сталими величинами, що практично не переглядаються. У той час, як у країнах ЄС та США ведеться постійна робота щодо їх корегування [39]. Зокрема, ВООЗ уже навіть висунула пропозицію щодо зниження середньодобової ГДК для $PM_{2,5}$ до 20 мкг/м^3 [40].

Поряд із нормуванням викидів одним із найбільш ефективних способів боротьби із забрудненням повітря дрібнодисперсними завислими частинками на глобальному рівні є усунення джерел їх первинних викидів. Наприклад, впровадження більш досконалих технологій, перехід від вугільних ТЕЦ до зеленої енергетики, заміна дизельних двигунів на газові чи електричні, масовий перехід на використання біологічного палива, впровадження жорсткого державного і виробничого контролю за дотриманням технологічних регламентів на промислових об'єктах та ін.

Серед заходів захисту в домашніх умовах слід відзначити використання очисників повітря з застосуванням спеціальних НЕРА-фільтрів. Вони видаляють з повітря PM_{10} та $PM_{2,5}$ та відповідають міжнародному та національному стандартам EN 1822-1:2009 и ДСТУ EN 1822-1:2019 відповідно [41].

Загалом для України важливим кроком до мінімізації пилового забруднення буде приведення нормативної бази відповідно до рекомендацій ВООЗ та директив ЄС, що дозволить значно розширити програми моніторингу атмосферного повітря та знизити негативний вплив пилу на здоров'я населення.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВЕЛИКИХ МІСТ

Дослідження пилового забруднення великих міст проводилося на прикладі м. Харків і включало в себе 2 етапи: підготовчий та експериментальний.

Підготовчий етап досліджень включав у себе збір та опрацювання теоретичного матеріалу щодо особливостей формування пилового забруднення урбанізованих територій в умовах інтенсивного автотранспортного та промислового навантаження, аналізу та узагальнення наукової літератури, картографічних джерел, довідкових матеріалів та науково-методичних рекомендацій щодо проведення моніторингових досліджень забруднення приземного шару атмосферного повітря дрібнодисперсним пилом. Методологічну основу досліджень на підготовчому етапі становили такі універсальні загально-логічні методи досліджень, як аналіз, синтез, узагальнення та порівняння та ін., а також метод порівняно-історичного аналізу.

Експериментальний етап досліджень передбачав безпосереднє проведення моніторингу пилового забруднення м. Харків шляхом визначення концентрацій дрібнодисперсних завислих частинок розміром 2,5 мкм (далі – $PM_{2,5}$) у приземному шарі атмосферного повітря. Період спостереження становив з 01.08.2019 р. до 01.04.2020 р..

Джерелом отримання даних щодо концентрацій $PM_{2,5}$ слугував відкритий електронний ресурс Air Pollution (<https://www.air-pollution.ml>). У рамках даного дослідження було обрано 6 контрольних точок в різних районах м. Харків (табл. 2.1). Територіальне розташування контрольних точок подано на рис. 2.1-2.2.

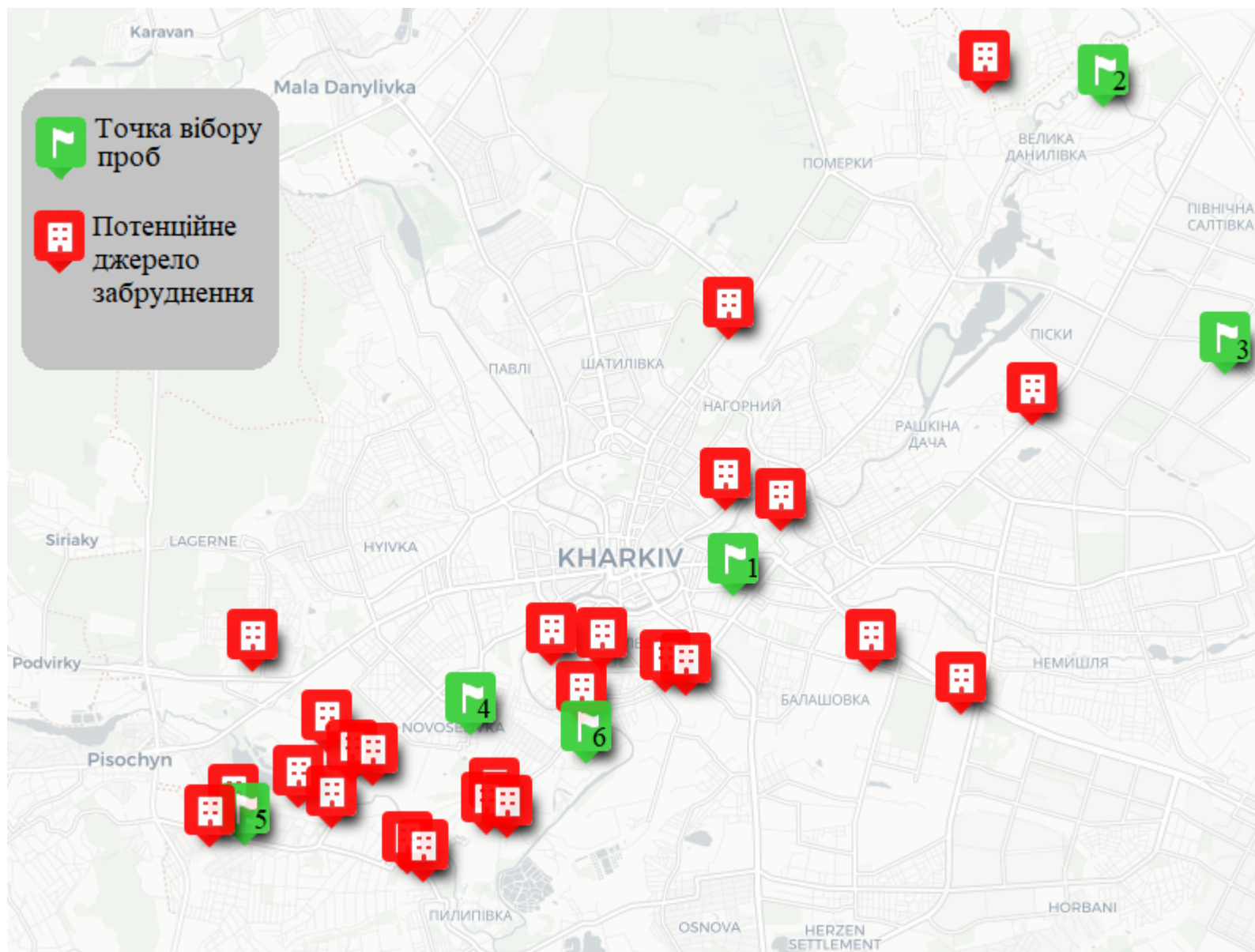
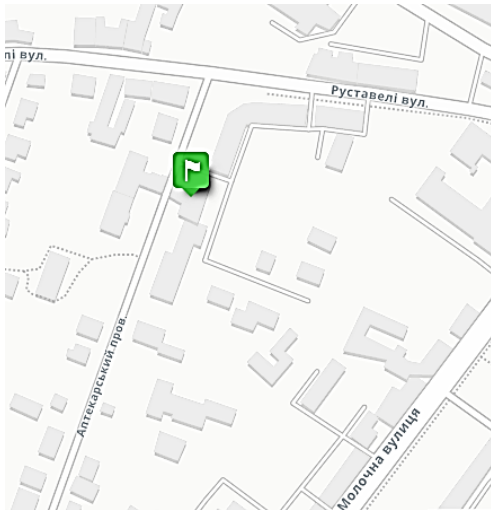
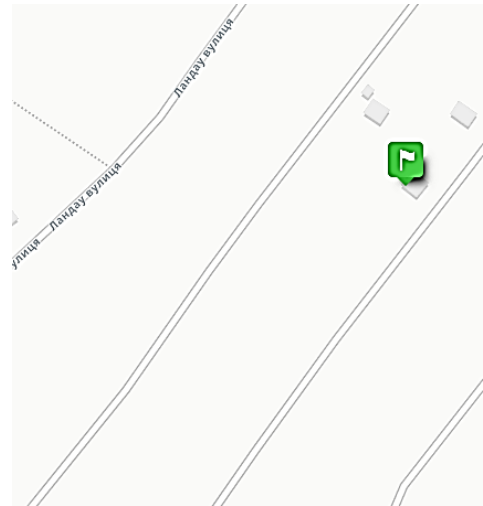


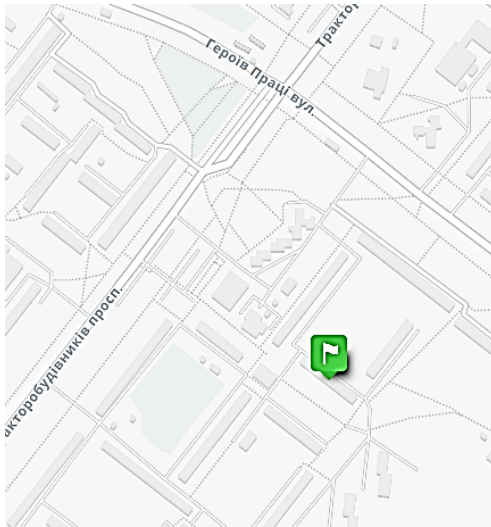
Рис.2.1 – Розташування точок моніторингу пилового забруднення м. Харків відносно потенційних джерел забруднення



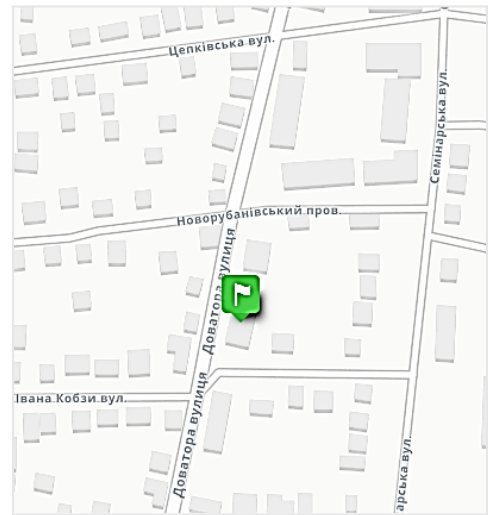
а) Аптекарський провулок, 9 (точка №1);



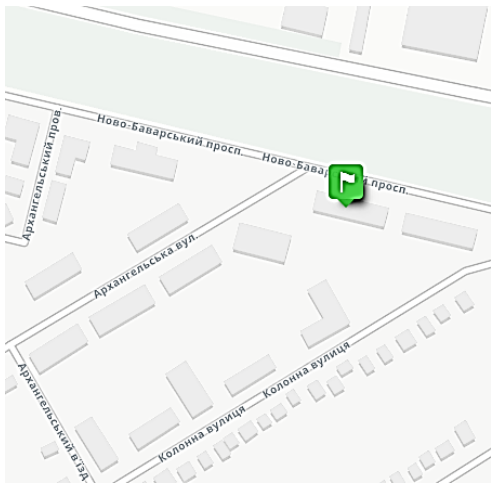
б) вул. Білецького, 21 (точка №2);



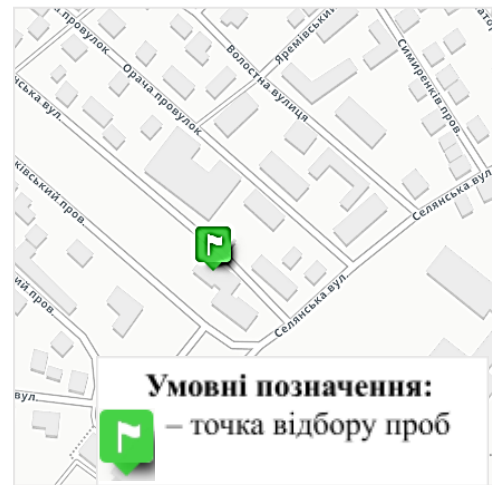
в) вул. Героїв праці, 68Б (точка №3);



г) вул. Доватора, 17 (точка №4);



д) Ново-Баварський проспект, 107 (точка №5);



е) вул. Селянська, 25 (точка №6);

Рис.2.2 – Детальне розташування точок відбору проб

Таблиця 2.1

Точки моніторингу пилового забруднення м. Харків

Номер точки	Адреса	Розташовані неподалік потенційні джерела забруднення
1	Аптекарьський провулок, 9	- ПАТ «Харківський електротехнічний завод» - ТОВ «Фармацевтична компанія «Здоров'я»»
2	вул. Білецького, 21	- Автотранспорт
3	вул. Героїв праці, 68Б	- ТОВ «Завод «Зевс»»
4	вул. Доватора, 17	- ТОВ «Харківський завод металевих сіток «Тетра»» - ТОВ «ТПК «УКРАБРАЗІВ»» - ТОВ «Харківський метизний завод»
5	вул. Селянська, 25	- Державне підприємство «Харківський приладобудівний завод ім. Шевченка» - ТОВ «ФАРБОСС» - ПРАТ «Харківський коксовий завод» - ТОВ «Завод Еластомір»
6	Ново-Баварський проспект, 107	- ТОВ «Харківський експериментальний завод» - ТОВ «Харківський завод підйомно-транспортного устаткування» - ТОВ «Пивзавод «Нова Баварія»» - ПАТ «Харківський канатний завод»

Контрольні точки знаходяться на територіях з різним ступенем промислового та автомобільного навантаження. Більш детальне розташування кожної з точок моніторингу подано на рис. 2.2.

Вимірювання концентрації дрібнодисперсного пилу здійснювалося за допомогою пиломірів «7bit Pollution Monitor», розробником якого є Олександр Кузьмюк. Дані пристрої слугують для побудови мережі збору даних в рамках системи громадського моніторингу забруднення повітря з метою ідентифікації джерел та масштабів пилового забруднення. Пристрій призначений для вимірювання масової концентрації аерозольних часток з поділом по фракціям на $PM_{1,0}$, $PM_{2,5}$, PM_{10} . Додатково пиломір вимірює температуру, атмосферний тиск і вологість повітря. Загальний вигляд приладу зображено на рис. 2.3.



Рис. 2.3 – Пиломір «7bit Pollution Monitor»

Пиломір «7bit Pollution Monitor» являє собою оптичний датчик, в якому повітря проходить крізь промінь світла і за ступенем затухання сигналу визначається концентрація трьох фракцій пилу в повітрі – $PM_{1,0}$, $PM_{2,5}$ та $PM_{10..}$. Основні технічні характеристики приладу подані в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Основні технічні характеристики пиломіра «7bit Pollution Monitor»

Параметр	Значення
Габарити	60 x 20 x 125 мм (без урахування антени)
Живлення	блок живлення з USB-виходом (5 В, 150 мА)
Передача даних	Інтернет, через Wi-Fi мережу
Місячне споживання трафіку	близько 60Мб
Вага	320 грам
Вимірювані параметри	- пил фракцій $PM_{1,0}$ (0,3-1 мкм) - пил фракцій $PM_{2,5}$ (1-2,5 мкм) - пил фракцій PM_{10} (2,5-10 мкм) - температура повітря - відносна вологість повітря
Принцип вимірювання	оптичний, що працює за принципом розсіяного світла

Продовження таблиці 2.2

Діапазон вимірювань		
PM _{2,5}	діапазон вимірювань	:0-500 мкг/м ³
	робочий температурний діапазон	-10 ... + 60 °C
	точність вимірювань	± 10 мкг/м ³ в діапазоні 0-100 мкг/м ³ ± 10% в діапазоні 100-500 мкг/м ³
	робочий діапазон вологості	0-99%
Температура і вологість	точність вимірювань вологості	± 2% при 25°C в діапазоні 20-80%
	точність вимірювань температури	± 0.3 °C в діапазоні 0-60 °C до 1 °C в діапазоні -30 ... + 90 °C
	робочий діапазон вимірювань	-40 ... + 125 °C

Кожен пристрій зчитує данні повітря кожні дві хвилини, потім виводить середнє значення за годину, та передає ці дані по Інтернет-каналі зв'язку Wi-Fi в автоматичну систему моніторингу www.air-pollution.ml. Результати вимірювань заносяться в таблиці, на основі яких потім будуються графіки залежності значень виміряних показників від часу доби, а також інтерактивні карти пилового забруднення в режимі онлайн.

Загалом у рамках даного дослідження нами була опрацьована вибірка даних із 28119 значень масової концентрації PM_{2,5} у атмосферному повітрі м. Харків за період спостережень з 01.08.2019 р. до 01.04.2020 р.. Концентрації порівнювалися зі значеннями національними значеннями ГДК за [38] та міжнародними ГДК, визначеними ВООЗ, згідно з [37]. За результатами аналізу було побудовано серію діаграм і графіків.

Оцінка якості повітря за показником вмісту PM_{2,5} проводилася відповідно до міжнародної шкали рівня бруднення повітря за Індексом якості повітря (Air Quality Index, AQI), запропоновану Європейським агентством з охорони довкілля (European Environment Agency, EEA) (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Рівень забруднення повітря залежно від концентрації $PM_{2,5}$ (мкг/м³) у
приземному шарі атмосфери*

Завислі частинки розміром < 2,5 мкм ($PM_{2,5}$), мкг/м ³	Рівень забруднення повітря / ризик для здоров'я населення
1-10	Низький (Good)
10-20	Задовільний (Fair)
20-25	Помірний (Moderate)
25-50	Високий (Poor)
50-75	Дуже високий (Very poor)
75-800	Небезпечний (Extremely poor)

*Примітка: інформацію взято з офіційного сайту Європейського агентства з охорони довкілля (ЕЕА) [27]; переклад наш – К.В. Дядечко

Зазначимо, що загалом Індекс враховує концентрації таких речовин, як озон (O_3), діоксид сірки (SO_2), діоксид азоту (NO_2) та дрібнодисперсні тверді частинки PM_{10} та $PM_{2,5}$. [27].

Аналіз результатів досліджень динаміки вмісту дрібнодисперсного пилу в атмосферному повітрі м. Харків подано в Розділі 3.

РОЗДІЛ 3

МОНІТОРИНГ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ВЕЛИКИХ МІСТ ДРІБНОДИСПЕРСНИМ ПИЛОМ (на прикладі м. Харків)

3.1 Сучасний стан моніторингових досліджень запиленості повітря м. Харків

Харків є потужним промисловим і транспортним центром, що негативно відображається на якості повітря. Разом з інтенсивним газовим забрудненням спостерігається зростання запилення повітря внаслідок збагачення аерозолями.

Основними джерелами забруднення атмосфери аерозолями виступають газопилові викиди промислових підприємств, серед яких слід відзначити Зміївську ТЕС, ПАТ ДЕК «Центренерго», Філію «Теплоелектроцентрально», ТОВ «ДВ Нафтогазовидобувна компанія», ПАТ «Харківська ТЕЦ-5», ПАТ «Укргазвидобування» філія ГПУ «Шебелинкагазвидобування», а також вихлопні гази автотранспорту. Високі рівні забруднення атмосферного повітря м. Харкова за рахунок пересувних джерел пояснюється, головним чином, експлуатацією технічно застарілого автомобільного парку, аварійним станом доріг, невідпрацьованими режимами швидкості дорожнього руху.

Невід'ємною складовою заходів щодо мінімізації пилового забруднення повітря є його активний моніторинг. Зокрема, такі моніторингові дослідження на постійні основі проводить Харківський регіональний центр з гідрометеорології на 10 стаціонарних пунктах спостереження, обладнаних комплектними лабораторіями, «ПОСТ-1» та «ПОСТ-2». За їхніми даними [42] станом на березень 2020 р. концентрації пилу в повітрі м. Харків коливалися від 0,03 до 0,11 мг/м³ і не перевищували середньодобове ГДК (0,15 мг/м³) згідно з ДСП-201-97.

У той же час, систематичний контроль концентрацій дрібнодисперсного пилу (PM₁₀ і PM_{2,5}) в повітрі м. Харків та області здійснюється у рамках проекту Air Pollution (<https://air-pollution.ml/>) на 14 стаціонарних точках моніторингу (рис. 3.1).

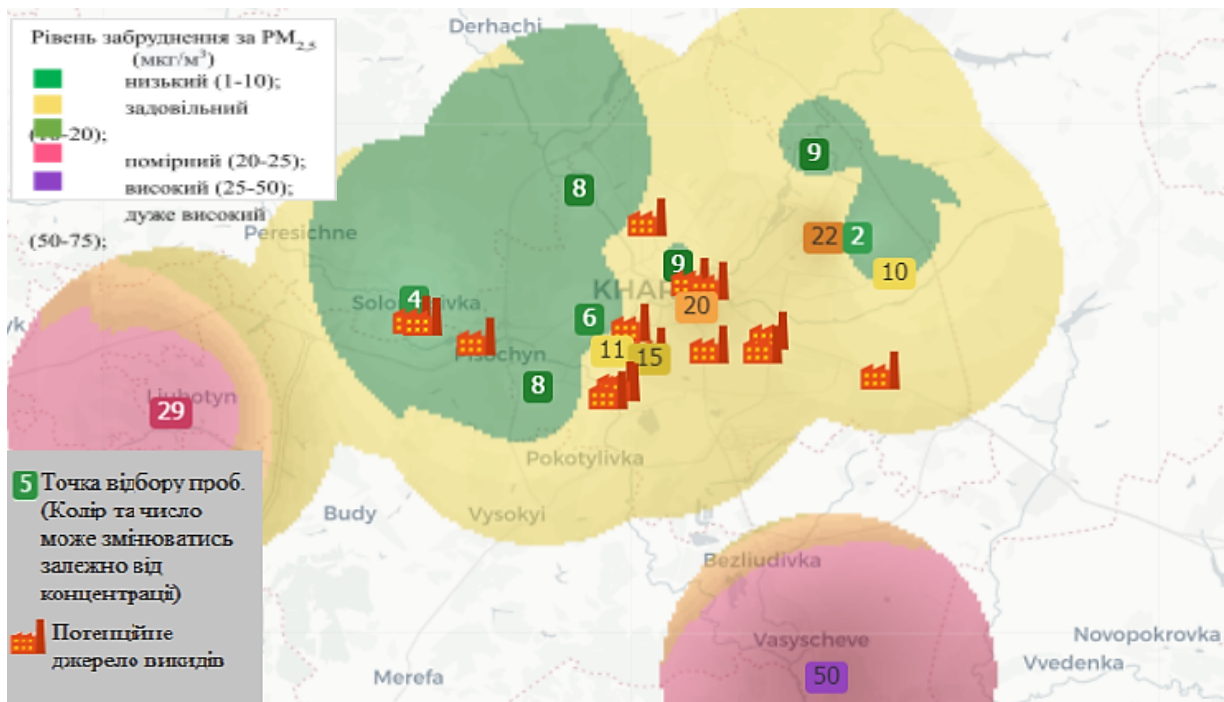


Рис. 3.1 – Вміст $PM_{2.5}$ у повітрі м. Харків станом на 01.04.2020. 14:50 [30]

Як видно з рис. 3.1., станом на 14:50 01.04.2020 р. на 12 з 14 (85,7%) пунктів спостереження концентрації $PM_{2.5}$, не перевищують ГДК_{с.д.} за ВООЗ [37], проте у двох пунктах ці показники становлять 1,16 ГДК (високий вміст пилу) та 2 ГДК (дуже високий вміст пилу). Зауважимо, що у двох пунктах моніторингу концентрації $PM_{2.5}$ становлять 20-22 мкг/м³. Такий вміст пилу несе помірний вплив на здоров'я населення, проте якщо не вжити заходів щодо мінімізації запиленості повітря, ці території потенційно можуть стати зонами з недотриманням нормативів вмісту $PM_{2.5}$.

3.2. Результати досліджень сезонної та добової варіації вмісту дрібнодисперсного пилу в повітрі м. Харків

У рамках даних досліджень було простежено динаміку концентрації $PM_{2.5}$ в атмосферному повітрі м. Харків за період з 01.08.2019 р. до 01.04.2020 р. (8 місяців). Моніторинг проводився на 6 контрольних точках у районах міста з

різним характером антропогенного навантаження (див. рис. 2.1 і табл. 2.1). За період дослідження було проаналізовано вибірку з 28119 значень концентрації $PM_{2,5}$. Для кожної точки були визначені середні, максимальні та мінімальні значення концентрацій $PM_{2,5}$ за весь період спостережень (див. Додаток А).

Також було простежено варіацію середніх концентрацій $PM_{2,5}$ залежно від місяця спостереження. Графічно отримані результати проілюстровані на рис. 3.2. Як видно з рис. 3.2, середні місячні концентрації $PM_{2,5}$ варіюються від 0,08 ГДК_{с.д.} за ВООЗ (грудень, точка №3 по вул. Героїв Праці, 68Б) до 1,05 ГДК_{с.д.} (грудень, точка №1 на пров. Аптекарському, 9). Загалом для більшості точок (точки №2, 4, 5, 6) найвищі середні концентрації $PM_{2,5}$ спостерігаються в період з січня (23,1–24,5 мкг/м³) по березень (17,8–24,5 мкг/м³).

Загалом, оцінюючи якість повітря м. Харків на основі 47 значень середніх місячних концентрацій $PM_{2,5}$ за шкалою AQI (див. табл. 2.3), слід сказати, що у 38,3% (18 із 47) випадків рівень забруднення повітря пилом низький, 31,9% (15 із 47) – задовільний, 27,7% (13 із 47) – помірний, і тільки в 2,13% – високий.

Говорячи про варіацію запиленості повітря по точках, слід відзначити, що найменші концентрації $PM_{2,5}$ (2-11 мкг/м³) зафіксовані у точці №3 (вул. Героїв праці, 68Б), а найвищі (16,9-26,3 мкг/м³) – у точці №1 (пров. Аптекарський, 9). Ця тенденція підтверджується і за розрахованими середніми концентрації $PM_{2,5}$ за весь період спостережень (рис.3.3). Так, як видно з рис. 3.3, для точки №1 середні річні концентрації $PM_{2,5}$ становлять 2,18 ГДК_{с.р.} за ВООЗ [37]. Загалом для всіх точок, крім точки №2 (0,42 ГДК_{с.р.}), цей показник варіюється у межах 1,2 – 2,18 ГДК_{с.р.}.

Зазначимо, що для точки №1 були виявлені аномально високі максимально разові концентрації $PM_{2,5}$ – 2009,0 мкг/м³ (81 ГДК_{с.д.}). Для інших точок цей показник варіювався в межах 44 – 132,0 мкг/м³ (1,8 – 5,3 ГДК_{с.д.}). Загалом усі виявлені максимальні значення $PM_{2,5}$ відносяться до дуже високого рівня забруднення повітря за шкалою AQI.

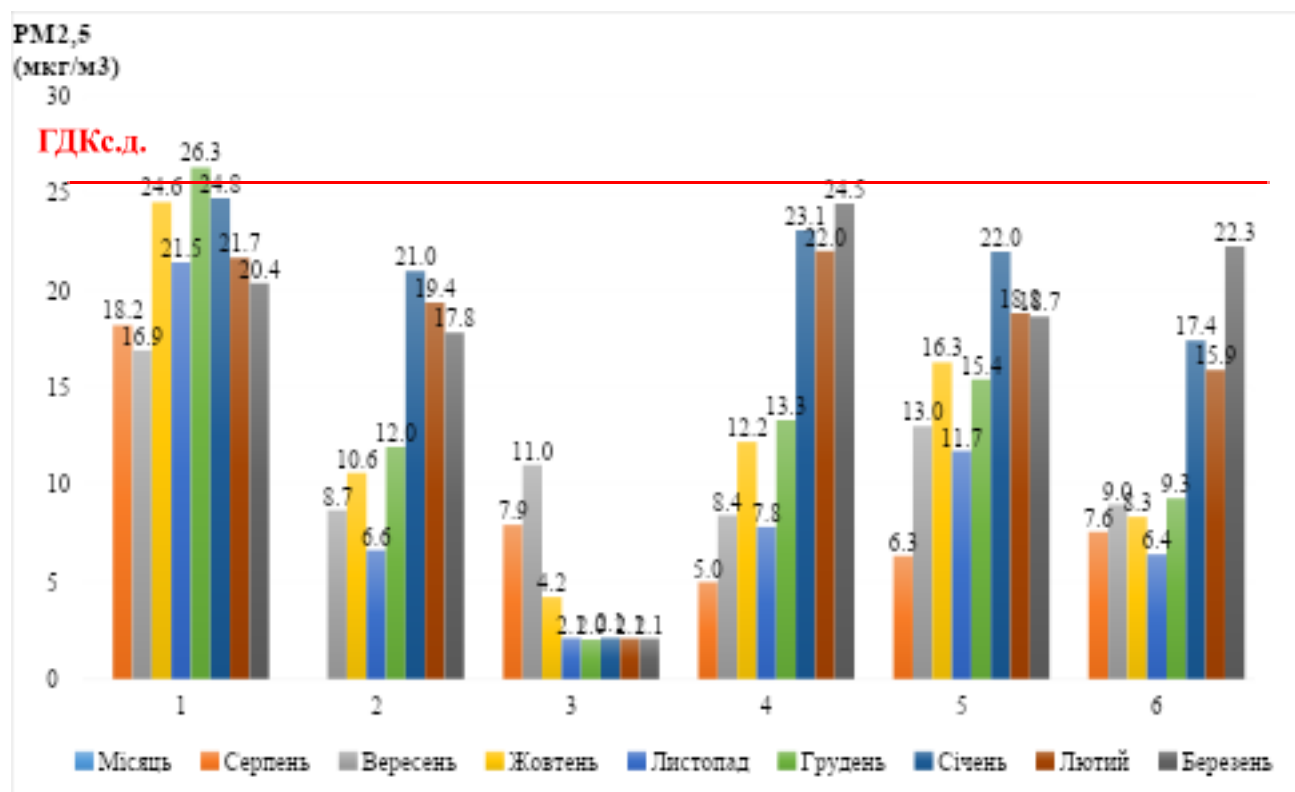


Рис. 3.2 – Середні місячні концентрації PM_{2,5} у повітрі м. Харків відносно ГДК

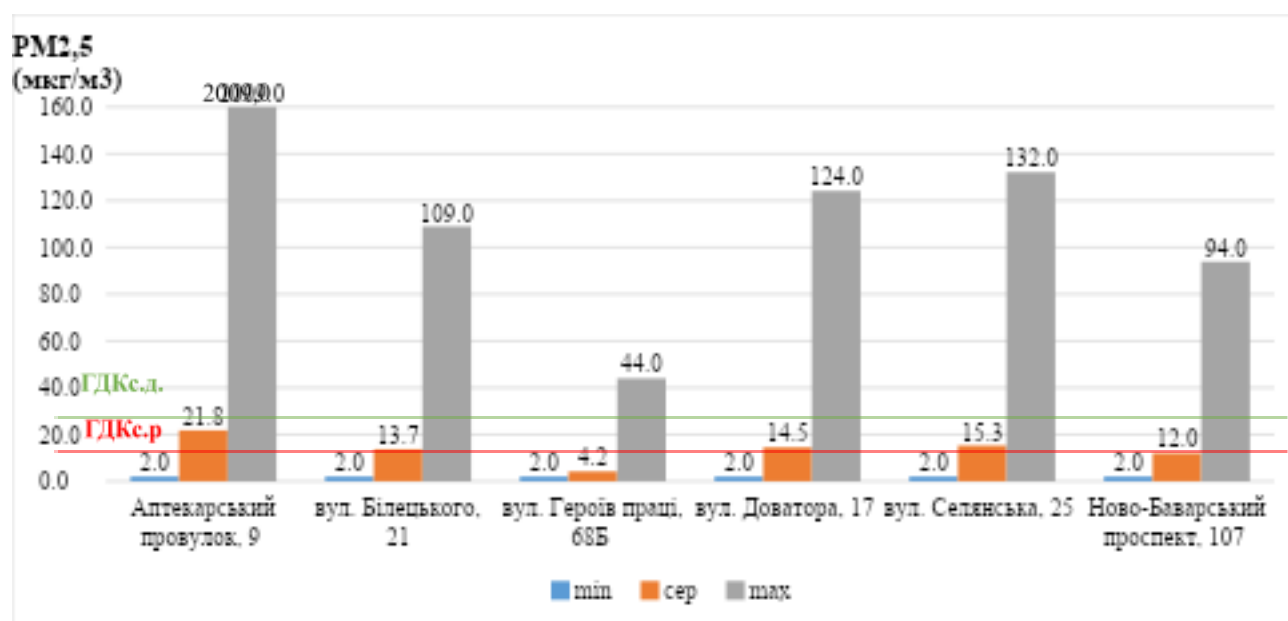


Рис. 3.2 – Середньорічні, максимальні та мінімальні концентрації PM_{2,5} в повітрі м. Харків у 6 пунктах спостережень

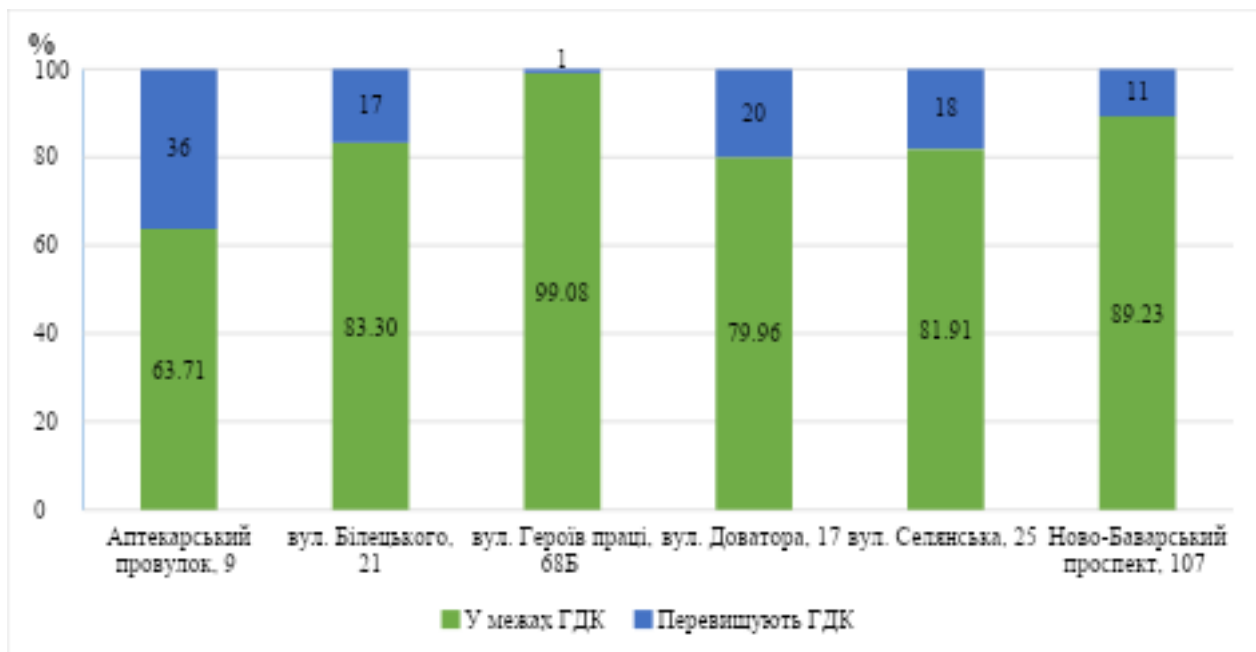
За весь період спостережень перевищення середньодобових ГДК були зафіксовані у всіх точках відбору проб, про що свідчать дані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Перевищення ГДК $PM_{2,5}$ у пробах повітря м. Харків за весь період спостережень

№ точки	Адреса	Всього	Перевищує ГДК _{с.д.}	У межах ГДК _{с.д.}
1	Аптекарський провулок, 9	5412	1964	3448
2	вул. Білецького, 21	4628	773	3855
3	вул. Героїв праці, 68Б	5227	48	5179
4	вул. Доватора, 17	4841	970	3871
5	вул. Селянська, 25	3924	710	3214
6	Ново-Баварський проспект, 107	4087	440	3647

На основі даних таблиці 3.1 було підраховано відсоткове співвідношення кількості проб з перевищенням та дотриманням нормативного вмісту $PM_{2,5}$ у повітрі м. Харків (рис. 3.4).

Рис. 3.4 – Випадки перевищення ГДК $PM_{2,5}$ (%)

Як видно з рис. 3.4, найбільша перевищень ГДК зафіксовано у точці №1 (Аптекарьський провулок, 9), а саме 36% (1964 із 5412) від загальної кількості відібраних проб по цій точці; а найменше (1%) – точці №3 (вул. Героїв праці, 68Б). На інших точках перевищення коливаються від 11 до 20%.

На наступному етапі були розраховані середні, узагальнені значення концентрацій $PM_{2,5}$ за кожен місяць спостережень та здійснено їх порівняння з середньорічним значенням ГДК за ВООЗ [37]. Отримана річна динаміка за місяцями проілюстрована на рис 3.5.

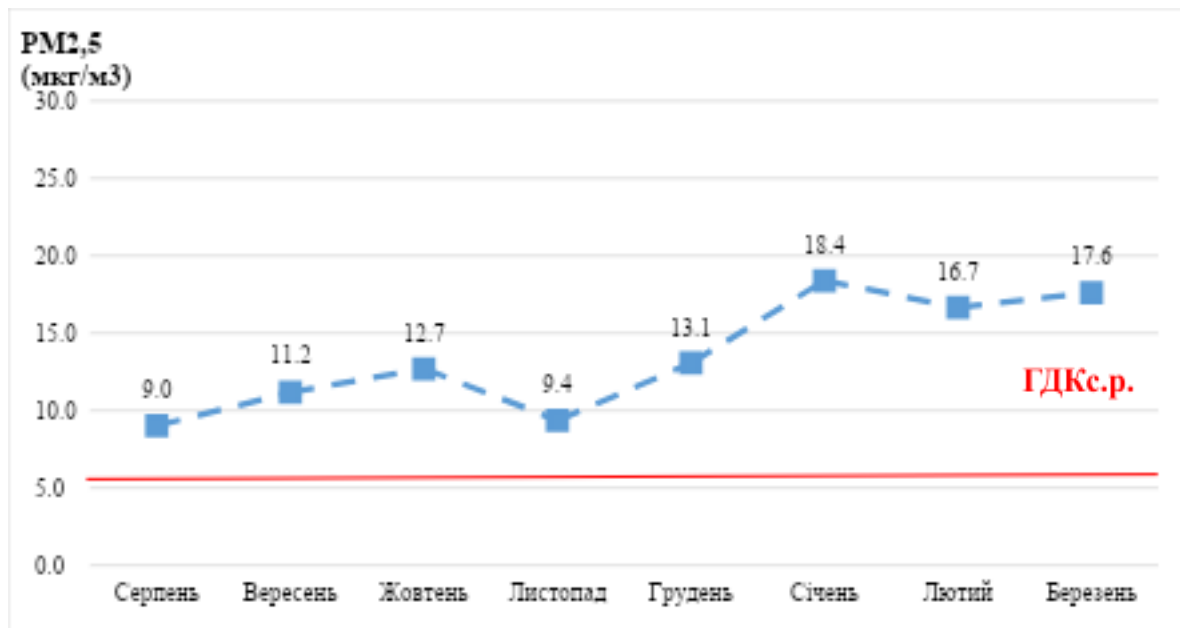


Рис. 3.5 – Середні концентрації $PM_{2,5}$ для кожного місяця по всіх точках відбору проб порівняно з $ГДК_{с.р.}$

Аналізуючи отримані показники, можемо відмітити, що середні місячні концентрації становили від 9 до 18,4 мкг/м³. Тільки середньомісячні концентрації для серпня та листопада не перевищували норматив, тоді як у інші місяці були зафіксовані перевищення від 1,1 (вересень) до 1,8 $ГДК_{с.р.}$ (січень).

Сезонні зміни, проілюстровані нижче на рис. 3.6, показують зростання середніх концентрацій $PM_{2,5}$, від літа до весни.

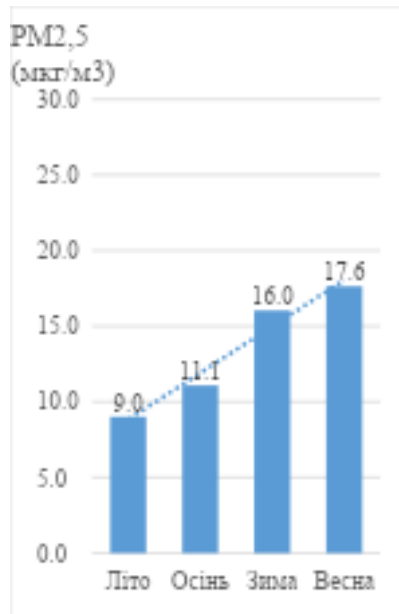


Рис. 3.6 – Сезонна динаміка

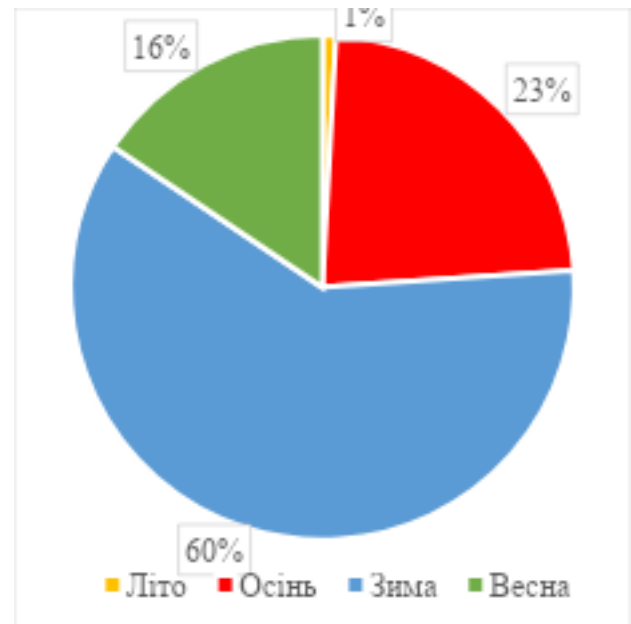


Рис. 3.7 – Перевищенні ГДК по сезонах(%)

Так, влітку середня концентрація $PM_{2,5}$ становила 9 мкг/м³, а весною 17,6 мкг/м³, що майже у 2 рази більше. При цьому, як видно рис. 3.7, найбільший відсоток проб з перевищенням ГДК припадає на зимовий період (60%), а найменший – на літо (лише 1%). Дані щодо перевищення ГДК окремо по кожному місяцю систематизовані нижче в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Випадки перевищення ГДК $PM_{2,5}$ за кожний місяць спостережень

Місяць	Аптекарський провулок, 9	вул. Білецького, 21	вул. Героїв праці, 68Б	вул. Доватора, 17	вул. Селянська, 25	Ново-Баварський проспект, 107
Серпень	37		4		1	
Вересень	154	6	39	4	50	8
Жовтень	340	19	5	82	109	15
Листопад	263	3		8	22	5
Грудень	361	61		117	80	45
Січень	372	293		337	228	97
Лютий	267	229		241	125	113

Березень	170	162		181	95	157
----------	-----	-----	--	-----	----	-----

Динаміка запиленості повітря у межах місяця була простежена на прикладі вибірки даних щодо концентрацій $PM_{2,5}$ за вересень 2019 року для точки №1 (Аптека́рський прову́лок, 9) (рис. 3.8.).

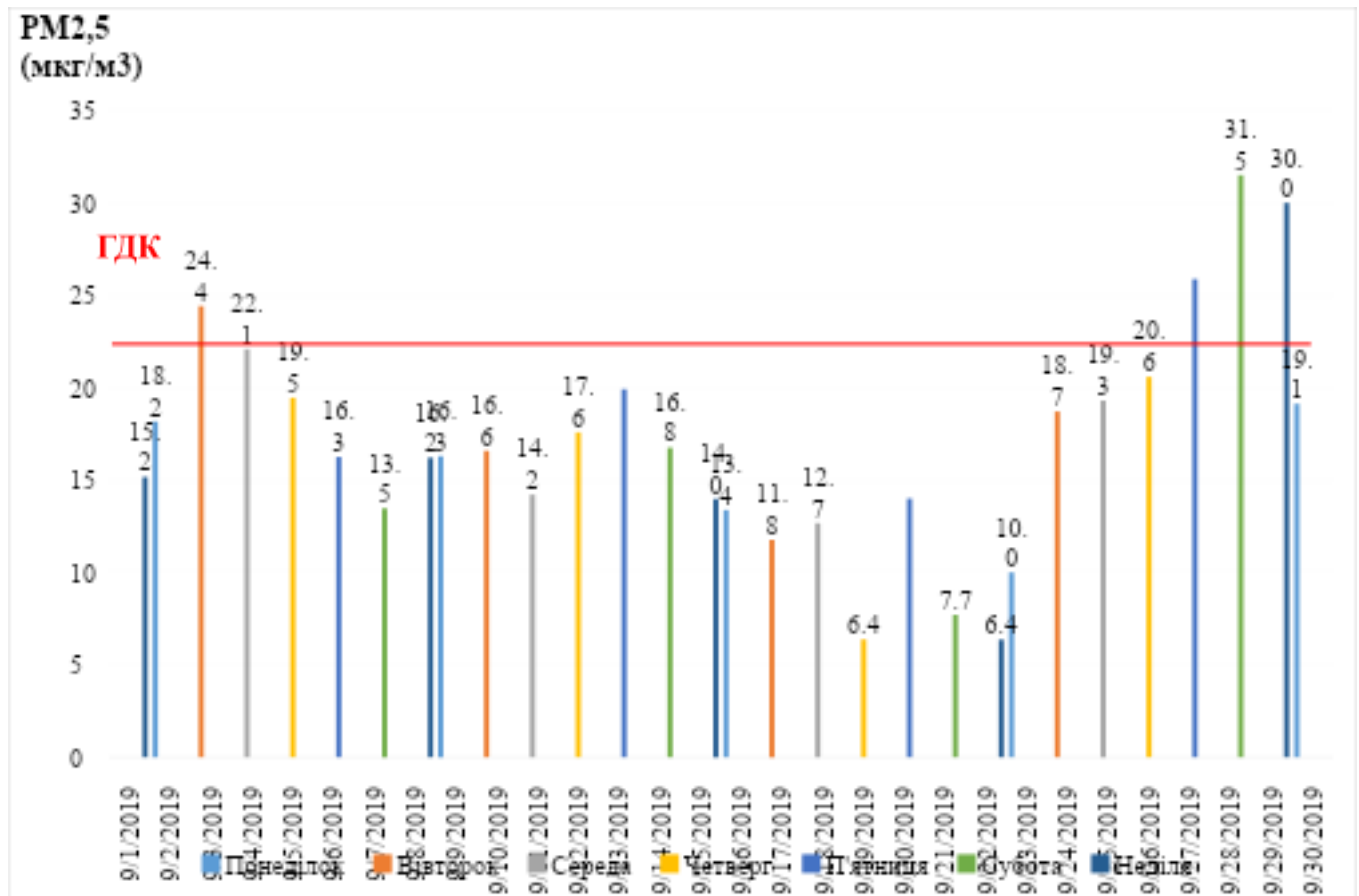


Рис. 3.8 – Динаміка запиленості повітря у межах місяця
(за вересень 2019 року в точці №1 за адресою Аптека́рський прову́лок, 9)

На графіку 3.8 спостерігається 3 випадки перевищення ГДК за $PM_{2,5}$ у період з 27 по 29 вересня (Пт–Нд) (1,04–1,26 ГДК_{с.д.}), найменші значення зафіксовано у період з 19 та 23 вересня (0,26–0,56 ГДК_{с.д.}). Загалом варіація вмісту $PM_{2,5}$ має досить нестійкий характер, відзначається коливаннями, тому досить важко виділити якісь загальні тенденції. Проте, загальний рівень забруднення повітря у цьому місяці можна класифікувати як помірний.

Простеживши варіацію $PM_{2,5}$ за днями тижня на прикладі все того ж вересня 2019 року для точки №1 (рис. 3.9), було виявлено, що найменші концентрації $PM_{2,5}$ спостерігаються у понеділок, четвер та неділю (15,4–16,3 $мкг/м^3$), найвищі – у вівторок, середу, п'ятницю та суботу (17,1–19,0 $мкг/м^3$).

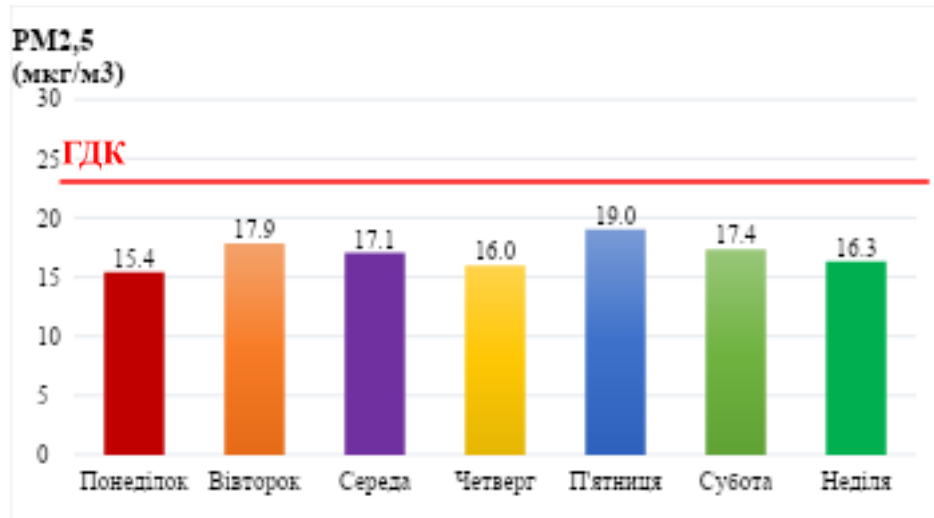


Рис. 3.9 – Середні концентрації по днях тижня

Нижче на рис. 3.10 можна спостерігати добову динаміку вмісту $PM_{2,5}$ у повітрі порівняно з середньодобовим значенням ГДК за ВООЗ [37].

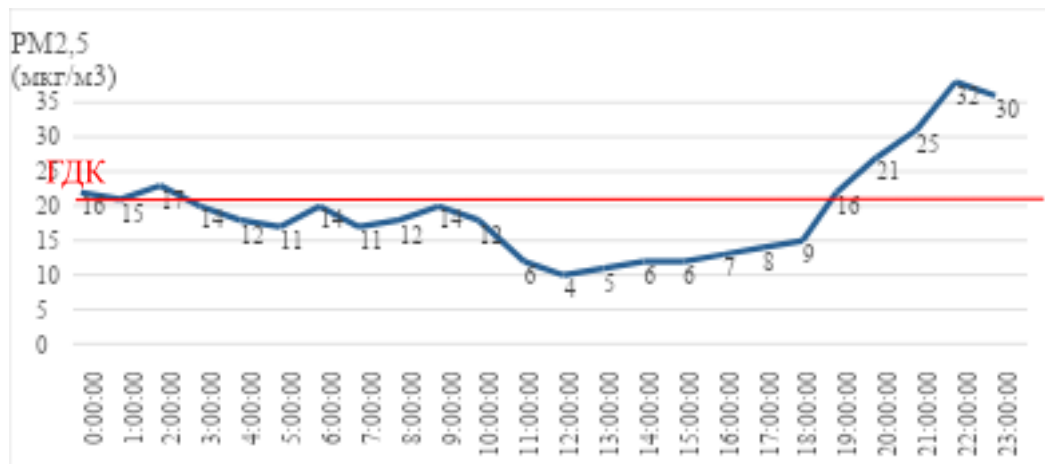


Рис. 3.10 – Добова динаміка концентрації $PM_{2,5}$ станом на 07.09.2019 року в точці №1 (Аптекаський провулок, 9)

На графіку 3.10 ми бачимо, що з 21:00 по 23:00 було виявлено перевищення ГДК у 1,01 – 1,28 разів. При цьому суттєвий спад концентрацій $PM_{2,5}$ (4–9 $мкг/м^3$) спостерігається у період з 11:00 по 18:00, що припадає на час середньостатистичного робочого дня. Ці показники у 1,5– 3,4 разів нижчі за середню концентрацію за добу (13,5 $мкг/м^3$).

Однак, на підставі вибірки за одну добу важко виявити якісь загальні тенденції, тому особливості як добової, так і тижневої динаміки потребують більш детального вивчення і становлять собою подальшу перспективну даного дослідження. Також у майбутньому на наступних етапах досліджень планується простежити кореляцію концентрацій $PM_{2,5}$ зі ступенем впливу різних природних і соціально-економічних факторів території, а також із рівнем захворюваності населення м. Харків.

ВИСНОВКИ

За результатами дослідження особливостей формування пилового забруднення великих міст на прикладі м. Харків можна зробити наступні висновки:

1. Атмосферний пил представляє собою дисперсну систему, що складається з твердих частинок, різних за величиною, що знаходяться в повітрі у завислому стані. За походженням пил поділяють на природний та антропогенний. Фізичні ті хімічні характеристики пилу варіюються залежно від природи його походження та місцезнаходження.

2. Дрібнодисперсний пил несе велику потенційну загрозу для здоров'я людини. За рахунок мікроскопічних розмірів і здатності залишатися у повітрі довгий час, він легко проникає у організм людини через дихальні шляхи. Тяжкість захворювань залежить від тривалості експозиції. Особливо вразливими є групи людей, які страждають захворюваннями легень або серця, а також люди похилого віку і діти.

3. У глобальному масштабі на рахунок впливу $PM_{2,5}$ відносять приблизно 3% випадків смертей від захворювань серцево-судинної і дихальної систем і 5% випадків смерті від раку легень. Підвищений вміст $PM_{2,5}$ у повітрі зменшує середню очікувану тривалість життя в середньому на 8,6 місяців.

4. У світі існують різні підходи до встановлення ГДК вмісту пилу в атмосферному повітрі. Найбільш жорсткими є ГДК, рекомендовані ВООЗ. В Україні встановлені норми на вміст в атмосферному повітрі завислих речовин лише для сукупності частинок розміром до 500 мкм, що значно ускладнює моніторинг забруднення повітря дрібнодисперсним пилом.

5. У результаті моніторингу вмісту $PM_{2,5}$ у повітрі м. Харків за період з 01.08.2019 р. до 01.04.2020 р. на 6 контрольних точках виявлено, що із вибірки у 28119 значень для 17,4% проб (4905 із 28119) було зафіксовано перевищення ГДК

$PM_{2,5}$ за ВООЗ. При цьому максимальне перевищення у 80,36 ГДК (2009 $мкг/м^3$) було зафіксовано 21.08.2019 о 20:00 годині. Згідно зі шкалою AQI такий вміст $PM_{2,5}$ класифікується як небезпечний для здоров'я.

6. Загалом за середніми значеннями концентрацій за період спостережень вміст $PM_{2,5}$ у повітрі м. Харків за шкалою AQI можна класифікувати як задовільний з тенденцією наближення до помірного.

7. Виявлені сезонні тенденції проявляють у збільшенні концентрацій пилу у зимово-весняний період. Середня концентрація $PM_{2,5}$ навесні (17,6 $мкг/м^3$) майже вдвічі перевищувала літні показники (9 $мкг/м^3$). При цьому, найбільший відсоток проб з перевищенням ГДК припадає на зимовий період (60%), а найменший – на літо (лише 1%).

8. Добовий хід концентрації $PM_{2,5}$ проявляється у суттєвому спаді концентрацій $PM_{2,5}$ у період з 11:00 по 18:00 (4–9 $мкг/м^3$), тобто середньостатистичні робочі години. Ці показники в середньому у 1,5–3,4 рази нижчі за середню концентрацію за добу (13,5 $мкг/м^3$).

Подальша перспектива досліджень вбачається у виявленні у виявленні кореляції вмісту $PM_{2,5}$ зі ступенем впливу різних природних і соціально-економічних факторів території, а також із рівнем захворюваності населення м. Харків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лановенко О. Г., Остапішина О. О. Словник-довідник з екології: навч.-метод. посіб. Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2013, 137 с.
2. Бідяк О. П. Виробничий пил, його дія на організм людини. Управління Держпраці у Тернопільській області. 2018. URL: <http://te.dsp.gov.ua/vyrobnychyj-pyl-jogo-diya-na-organizm-lyudyny/>
3. Методика гігієнічної оцінки небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища та реакції організму на їх вплив, гігієнічна оцінка пилу й токсичних хімічних речовин: навч.-метод. посіб. Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова. URL: <https://studfile.net/preview/1787403/page:4/>
4. Вплив зважених частин на здоров'я: Всесвітня організація охорони здоров'я, Європейське регіональне бюро: UN City, Marmorvej 51, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark, 2013. URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf?ua=1
5. Що таке PM_{10} та $PM_{2,5}$ і як вони шкідливі: стаття India today, Нью Делі, 2018. URL: <https://www.indiatoday.in/air-quality/story/particulate-matter-explained-1380508-2018-11-01>
6. Исидоров В. А. Экологическая химия для вузов, Санкт-Петербург: Химиздат. 2001 г. 124 с.
7. Аерозольне забруднення атмосфери, Екологія. Лекція. URL: <https://studfile.net/preview/8179253/page:4/>
8. Забруднення повітря зваженими частинками $PM_{2,5}$: Боаоський азіатський форум, Пекін: Жэньминь Жибао. 2014. URL: <http://russian.people.com.cn/31516/8601479.html>

9. Про забруднення дрібнодисперсних частинок $PM_{2,5}$ URL: <https://sbair.ru/nevidimyy-vrag-o-vrede-mikrochastits-rm2-5/>
10. Пилипенко В. О. Екотоксикологічний моніторинг вмісту поліциклічних ароматичних вуглеводнів у річці Тиса: автореф. дис. ... магіс. 101. Київ, 2018. 28 с.
11. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP : technical report / WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, 2013. 302 p.
12. Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE : technical report / WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, 2014. 65 p..
13. Exposure to air pollution (particulate matter) in outdoor air. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2011 (ENHIS Factsheet 3.3) URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/97002/ENHIS_Factsheet_3.3_July_2011.pdf
14. Air quality guidelines: global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2006 URL: <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide>.
15. Samoli E. et al. Acute effects of ambient particulate matter on mortality in Europe and North America: results from the APHENA Study. Environmental Health Perspectives, 2008. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2592267/>
16. Beelen R. et al. Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR Study). Environmental Health Perspectives, 2008. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2235230/>
17. Krewski D. et al. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society linking particulate air pollution and mortality. Boston, MA, Health Effects Institute, 2009 (HEI Research Report 140). URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19627030>

18. Pope C. A. III et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, 2002, 287(9): 1132–1141. URL: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/194704>
19. Stanek L. W. et al. Attributing health effects to apportioned components and sources of particulate matter: an evaluation of collective results. *Atmospheric Environment*, 2011, URL: https://www.researchgate.net/publication/230760727_Attributing_health_effects_to_apportioned_components_and_sources_of_particulate_matter_An_evaluation_of_collective_results
20. Health relevance of particulate matter from various sources. Report of a WHO Workshop. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2007. URL: www.euro.who.int/document/E90672.pdf
21. Health and the environment in the WHO European Region : Situation and policy at the beginning of the 21st century : Fourth Ministerial Conference on Environment and Health (23 -25 June, 2004). Budapest, 2004. 23 -128 p.
22. Lim S. S. et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*, 2012. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23245609>
23. Medina S. Summary report of the APHEKOM project 2008–2011. Saint-Maurice Cedex, Institut de Veille Sanitaire, 2012. URL: www.endseurope.com/docs/110302b.pdf
24. Рейтинг найбільш забруднених країн у рамках проекту IQAir. 2019. URL: <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities>
25. 22 of world's 30 most polluted cities are in India, Greenpeace says, *The Guardian*, 2018. URL:

<https://www.theguardian.com/cities/2019/mar/05/india-home-to-22-of-worlds-30-most-polluted-cities-greenpeace-says>

26. Моніторинг якості атмосферного повітря: український та міжнародний досвід. [Аналітична записка] / Кольцов М., Шевченко Л. Київ: ГО «Фундація «Відкрите Суспільство», 2018. 13 с.

27. Європейське агентство навколишнього середовища, індекс якості повітря.2020. URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>

28. Матеріали Державної служби статистики України, Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря в Україні (1990-2018). URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm

29. Белобра А. В. Хто забруднює повітря в Україні, і як це впливає на здоров'я. [Стаття]. Громадське радіо. URL: <https://hromadske.radio/podcasts/eco-sapiens/hto-zabrudnyuye-povitrya-v-ukrayini-ta-yak-ce-vplyvaye-na-nashe-zdorov-ya>

30. Кузьмук О. С. Проект моніторингу пилового забруднення України. URL: <https://air-pollution.ml/#pm2.5/12/48.4500/35.0300>

31. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Указ Президента України від 28.02.2019 р. №2697 – VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>

32. Петросян А. А. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами різних видів промислових підприємств : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата біол. наук : спец. 14.02.01 „Гігієна та професійна патологія)» / А. А. Петросян. К., 2010. 22 с.

33. Гігієнічне регламентування та ризик / Нерниченко І. А., Сердюк А. М., Вітвіченко О. Н., Баленко Н. В. // Гігієна і санітарія. 2006. 30-32 с.

34. Петросян А. А. та ін. Аналіз дозового інгаляційного навантаження від забруднення атмосферного повітря хімічними речовинами. Довкілля та здоров'я. 2009. 25-28 с.

35. Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe : Environmental issue report No 35 / Office for Official Publications of the European Committees. Luxemburg, 2004. 6-17 p.

36. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=en>

37. The WHO Air quality guidelines 2005. URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=9A35CEA9547F8DEDB7641E1EC4EC9970?sequence=1

38. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) (ДСП-201-97)) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97>

39. Волкова Ю. В. Проблеми нормування дрібнодисперсного пилу в Україні. автореф. дис. ... Загальна гігієна та екологія. Запоріжжя. 2015. 152-155 с. URL: <http://dspace.zsmu.edu.ua/bitstream/123456789/6462/1/152-155.pdf>

40. Директива № 2008/50 / ЄС Європейського парламенту та Ради "Про якість атмосферного повітря і заходи його очищення": URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950

41. Що таке HEPA-фільтр: принципи роботи та неочевидні факти. Tion. Новосибірськ. 2015. URL: <https://habr.com/ru/company/tion/blog/385461/>

42. Харківський регіональний центр з гідрометеорології. URL: <http://kharkiv.meteo.gov.ua/monitoring/>

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця – Середні, максимальні та мінімальні значення концентрацій РМ_{2,5} за весь період спостережень

	Аптекарський провулок, 9			вул. Білецького, 21			вул. Героїв праці, 68Б			вул. Доватора, 17			вул. Селянська, 25			Ново-Баварський проспект, 107		
Місяць	сер	min	max	сер	min	max	сер	min	max	сер	min	max	сер	min	max	сер	min	max
Серпень	18,2	2,0	2009, 0	-	-	-	7,9	2,0	26,0	5,0	2,0	18,0	6,3	2,0	25,0	7,6	2,0	23,0
Вересень	16,9	2,0	78,0	8,7	2,0	32,0	11, 0	2,0	44,0	8,4	2,0	29,0	13, 0	2,0	75,0	9,0	2,0	34,0
Жовтень	24,6	2,0	142,0	10,6	2,0	109,0	4,2	2,0	29,0	12,2	2,0	75,0	16, 3	2,0	79,0	8,3	2,0	86,0
Листопад	21,5	3,0	87,0	6,6	2,0	32,0	2,1	2,0	7,0	7,8	2,0	33,0	11, 7	2,0	60,0	6,4	2,0	36,0
Грудень	26,3	4,0	98,0	12,0	2,0	58,0	2,0	2,0	4,0	13,3	2,0	50,0	15, 4	2,0	49,0	9,3	2,0	48,0
Січень	24,8	2,0	200,0	21,0	2,0	60,0	2,1	2,0	10,0	23,1	2,0	83,0	22, 0	2,0	132,0	17,4	2,0	61,0
Лютий	21,7	2,0	117,0	19,4	2,0	65,0	2,1	2,0	6,0	22,0	2,0	118,0	18, 8	2,0	94,0	15,9	2,0	77,0
Березень	20,4	2,0	98,0	17,8	2,0	108,0	2,1	2,0	6,0	24,5	2,0	124,0	18, 7	2,0	103,0	22,3	2,0	94,0
За весь період	21,8	2,0	2009, 0	13,7	2,0	109,0	4,2	2,0	44,0	14,5	2,0	124,0	15, 3	2,0	132,0	12,0	2,0	94,0

Додаток Б

Таблиця – Середні значення концентрацій $PM_{2,5}$ по днях тижня за вересень 2019 року в точці №1 (Аптека́рський провулок, 9)

	01.09	02.09	03.09	04.09	05.09	06.09	07.09	08.09	09.09	10.09	11.09	12.09	13.09	14.09	15.09
Понеділок		18,2							16,3						
Вівторок			24,4							16,6					
Середа				22,1							14,2				
Четвер					19,5							17,6			
П'ятниця						16,3							19,9		
Субота							13,5							16,8	
Неділя	15,2							16,2							14,0

Продовження таблиці

16.09	17.09	18.09	19.09	20.09	21.09	22.09	23.09	24.09	25.09	26.09	27.09	28.09	29.09	30.09	Середн є
13,4							10,0							19,1	15,4
	11,8							18,7							17,9
		12,7							19,3						17,1
			6,4							20,6					16,0
				14,0							25,9				19,0
					7,7							31,5			17,4
						6,4							30,0		16,3

Додаток В

Таблиця – Концентрації $PM_{2,5}$ по годинах за 7 вересень 2019 року в точці №1 (Аптекарьський провулок, 9)

Вересень	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
01.09	20	19	18	17	17	17	15	17	18	19	11	9	10
02.09	17	18	16	15	13	14	14	16	18	21	17	16	13
03.09	31	24	21	26	22	26	28	31	28	25	26	21	16
04.09	29	29	30	31	31	30	28	28	26	26	23	17	12
05.09	24	24	24	23	21	21	19	20	20	20	20	18	18
06.09	19	18	26	23	24	24	20	23	25	14	12	12	14
07.09	16	15	17	14	12	11	14	11	12	14	12	6	4
08.09	30	26	26	23	20	17	18	18	17	17	12	8	6
09.09	20	20	20	18	18	18	19	22	20	18	18	10	9
10.09	22	25	24	18	17	16	16	17	17	15	9	10	13
11.09	13	13	14	14	14	12	15	16	17	20	17	8	10
12.09	15	15	15	15	18	17	17	20	21	24	22	13	11
13.09	32	30	27	26	25	26	24	26	29	31	18	12	10
14.09	20	15	15	16	19	25	29	32	36	26	19	9	6
15.09	15	16	18	20	26	25	25	27	23	17	8	3	2
16.09	21	24	19	14	13	20	22	24	16	16	10	6	6
17.09	19	24	16	21	18	12	12	13	13	11	8	5	5
18.09	26	25	30	26	17	18	19	19	18	20	19	12	9
19.09	3	3	3	3	3	4	3	7	6	5	5	4	6
20.09	22	22	18	20	16	13	17	17	21	21	16	6	6
21.09	9	6	6	5	5	6	7	8	10	11	8	13	9
22.09	12	9	8	7	5	6	9	9	8	9	5	2	2
23.09													
24.09	36	37	31	23	18	17	11	14	22	20	23	6	6
25.09	34	29	28	24	21	18	17	18	18	26	19	7	8
26.09	29	37	32	30	31	31	20	14	17	16	21	18	11
27.09	25	27	30	28	26	24	22	23	22	24	25	26	26
28.09	27	27	26	25	26	26	25	26	27	28	25	19	15
29.09	25	23	25	34	40	40	36	31	30	33	36	32	27
30.09	12	11	14	21	25	26	30	25	24	25	26	26	23

Продовження таблиці

Вересень	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
01.09	10	9	8	8	8	9	12	24	27	22	20
02.09	11	12	13	14	15	15	19	25	32	37	35
03.09	17	17	18	17	18	19	23	27	37	37	31
04.09	12	16	20	15	13	13	16	21	17	23	24
05.09	21	21	20	18	19	19	21	14	12	13	17
06.09	11	8	7	7	8	8	12	17	20	20	18
07.09	5	6	6	7	8	9	16	21	25	32	30
08.09	6	6	6	7	8	9	16	17	27	27	22
09.09	9	10	10	10	10	11	16	21	23	22	19
10.09	17	21	12	13	13	13	13	18	21	21	17
11.09	8	8	8	11	9	11	16	23	26	22	16
12.09	9	8	8	8	8	9	17	31	37	34	30
13.09	8	8	9	9	10	12	18	25	24	21	18
14.09	7	9	11	20	25	11	10	13	6	10	13
15.09	3	3	3	3	2	3	8	15	17	27	26
16.09	6	6	7	10	6	9	9	22	11	11	13
17.09	4	4	4	5	4	6	13	20	11	9	25
18.09	8	6	10	2	2	3	3	2	3	4	3
19.09	3	3	3	5	5	5	8	11	18	18	19
20.09	5	6	4	4	4	8	22	35	14	10	9
21.09	4	3	3	4	6	7	8	5	8	18	16
22.09	2	4	3	3	5	9	7	8	8		
23.09	2	2	2	2	2	3	6	14	24	25	28
24.09	5	3	3	3	4	7	13	30	39	41	37
25.09	7	7	7	7	7	11	27	37	34	32	20
26.09	9	9	10	10	10	16	23	24	26	24	26
27.09	26	22	20	18	23	25	33	35	34	30	27
28.09									78	72	32
29.09	28	25	28	27	27	32	35	27	26	31	22
30.09	21	19	17	15	12	15	17	17	14	12	12

*Примітка: червоним кольором позначені значення $PM_{2,5}$, які перевищували ГДК.