

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Навчально-науковий медичний інститут
Кафедра екології

УДК 502.175:[614.71:547.281.1]](477.73-21)

ДИПЛОМНА РОБОТА
на тему:
«Дослідження вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі
міста Миколаєва»

Виконала: студентка 4 курсу,
групи 421

_____ О. Г. Хозяїнова

Керівник: д.пед.н., професор, професор
кафедри екології

_____ О.П. Мітрясова

Рецензент: к.г.н., доцент, доцент кафедри
екології

_____ В.М. Смирнов

Миколаїв – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Навчально-науковий медичний інститут

Освітній рівень – перший (бакалаврський)

Галузь знань: 10 Природничі науки

Спеціальність: 101 «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри екології
_____ Л.І.Григор'єва
«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

Студенці _____ Хозяїновій Олександрі
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва».

затверджена наказом ЧНУ імені Петра Могили від «__» _____ 2025 р. № ____

2. Об'єкт дослідження – вміст формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва.

3. Предмет дослідження – моніторинг вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва та вплив формальдегіду на живі організми.

4. Завдання дослідження (перелік питань, що потрібно розробити):

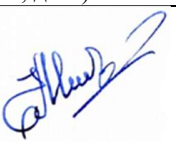
– аналіз літературних джерел з проблеми якості атмосферного повітря в Україні та світі;

– вивчення нормативної та законодавчої бази з питань нормативів якості атмосферного повітря;

– моніторинг вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва;

- дослідження впливу формальдегіду на живі організми (рослини, тварини, організм людини);
- систематизація та узагальнення даних;
- обґрунтування висновків та пропозицій.

5. Консультанти розділів роботи

Розділи	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видано (підпис, дата)
I-III	Мітрясова О.П., д.пед.н., проф.	13.01.25 
IV		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи (БР)	Строк виконання етапів роботи
1	Затвердження теми БР на засіданні кафедри	
2	Пошук, добір та опрацювання літературних джерел з проблематики дослідження	Січень 2025 р.
3	Робота над підготовкою тексту БР і перевіркою на плагіат	Червень 2025 р.
3.1	Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ	Лютий 2025 р.
3.2	Розділ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	Березень 2025 р.
3.3	Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	Травень 2025 р.
4	Загальні висновки і рекомендації	Травень 2025 р.
5	Захист БР перед екзаменаційною комісією	Червень 2025 р.

Студентка

(підпис)

Хозяїнова О. Г.
(прізвище та ініціали)

Науковий керівник



Мітрясова О.П.

АНОТАЦІЯ

Хозяїнова О.Г. «Дослідження вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва». Дипломна робота освітнього рівня – бакалавр. Спеціальність Е2 «Екологія», Миколаїв, 2025.

У роботі досліджено рівень забруднення атмосферного повітря міста Миколаєва формальдегідом – одним із найбільш токсичних і поширених у міському середовищі забруднювачів. У межах дослідження було проаналізовано фізико-хімічні властивості формальдегіду, джерела його утворення, особливості поширення в атмосфері, вплив на організм людини, тварин і рослин. Значну увагу приділено огляду сучасної законодавчої та нормативної бази України щодо якості атмосферного повітря.

На основі даних Миколаївського гідрометеоцентру за 2015–2024 роки встановлено, що концентрації формальдегіду у повітрі в різні роки перевищували гранично допустимі рівні в декілька разів. Виявлено сезонні та багаторічні закономірності забруднення, окреслено потенційні осередки підвищеної концентрації в межах міста.

Ключові слова: формальдегід, атмосферне повітря, екологічний моніторинг.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ I.....	8
ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВМІСТУ ФОРМАЛЬДЕГІДУ В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ.....	8
1.1. Проблема якості атмосферного повітря в Україні та світі.....	8
1.2. Загальна характеристика формальдегіду.....	12
1.3. Вивчення нормативної та законодавчої бази щодо якості атмосферного повітря.....	14
1.4. Вплив формальдегіду на живі організми.....	17
1.4.1. Вплив на людський організм.....	17
1.4.2. Вплив на тваринні організми.....	19
1.4.3. Вплив на рослинність.....	20
1.5. Методи вимірювання концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі.	22
РОЗДІЛ II.....	28
ОБ’ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	28
2.1. Об’єкт дослідження.....	28
2.2. Методи дослідження	29
Розділ III	31
ОРГАНІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
3.1. Організація дослідження.....	31
3.2. Результати дослідження.....	32
3.3. Аналіз отриманих результатів.....	34
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58
ДОДАТКИ	62
Стан атмосферного повітря м. Миколаєва за 2015-2024 роки-2024 роки.....	62

ВСТУП

Актуальність проблеми забруднення атмосферного повітря формальдегідом набуває особливої значущості в умовах індустріалізації та зростаючої урбанізації міст. Формальдегід є одним із найпоширеніших летких органічних сполук, що чинить значний вплив на здоров'я населення та екосистеми. Дане дослідження присвячене оцінюванню рівня забруднення атмосферного повітря міста Миколаєва формальдегідом, а також вивченню його джерел, розподілу та можливих шляхів зниження концентрацій.

Метою даної бакалаврської роботи є оцінка рівня забруднення атмосферного повітря міста Миколаєва формальдегідом та розробка пропозицій щодо мінімізації його негативного впливу.

Основні завдання дослідження включають:

1. Аналіз літературних джерел з проблеми якості атмосферного повітря в Україні та світі;
2. Вивчення нормативної та законодавчої бази з питань нормативів якості атмосферного повітря;
3. Моніторинг вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва;
4. Дослідження впливу формальдегіду на живі організми (рослини, тварини, організм людини);
5. Систематизація та узагальнення даних;
6. Обґрунтування висновків та пропозицій.

Об'єкт дослідження: вміст формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва.

Предмет дослідження: моніторинг вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва та вплив формальдегіду на живі організми.

Наукова новизна полягає у проведенні системного моніторингу вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва, що дозволяє отримати

актуальні та специфічні для даного регіону дані, а також виявити тенденції та закономірності його поширення під впливом локальних джерел забруднення.

Практична значущість дослідження полягає у науково обґрунтованих даних, які можуть бути використані для розробки та впровадження ефективних заходів із зниження концентрації формальдегіду, підвищення якості атмосферного повітря та захисту здоров'я мешканців міста Миколаєва.

Апробація результатів дослідження. Основні результати дослідження було опубліковано: Khoziainova, O., Mitryasova, O. Formaldehyde Atmospheric Air Pollution in Mykolaiv City Access to Water During Armed conflicts: Environmental and Humanitarian challenges //: Proceedings of the International Conference «European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects», June 5–7, 2025, Mykolaiv. Mykolaiv : PMBSNU, 2025. P. 37. ISBN 978-617-8176-45-7 <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/2803>, що підтверджує їхню актуальність та практичну значущість.

РОЗДІЛ I

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВМІСТУ ФОРМАЛЬДЕГІДУ В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ

1.1. Проблема якості атмосферного повітря в Україні та світі.

Атмосферне повітря є ключовим компонентом довкілля, а його забруднення – однією з найбільш критичних екологічних проблем сучасності через значний вплив на здоров'я населення та загалом стан навколишнього середовища. Основними джерелами забруднення є викиди промислових підприємств, автотранспорту, енергетичного сектору та сільськогосподарської діяльності. В останні десятиліття проблема забруднення повітря набула особливої гостроти, оскільки людство продовжує руйнувати природу, веде доволі агресивне орне виробництво, знищує масштабні ліси. До цього додається зростаюча урбанізація, розвиток промисловості та збільшення кількості автотранспорту. Усі ці фактори сприяють накопиченню шкідливих речовин у повітряному середовищі та стають основою для ідеального сценарію поширення нового вірусу, що з'являється та поширюється серед людей у міру зниження стійкості природи. Передача хвороб відбувається лише у певних видів і за певних умов, коли людство агресивно втручається в їх середовище проживання. В результаті здоров'я людини, тварин і стан навколишнього середовища тісно пов'язані [12].

Згадуємо недавню подію, спалах COVID-19 у 2020 році, коли карантинні обмеження порушили буденне життя людства по всій планеті, низивши рівень і частоту нашої діяльності та виробництва. Незважаючи на серйозність цієї події, унаслідок бездіяльності людей було виявлено очевидні позитивні наслідки для довкілля. Наприклад, помітне зниження викидів закису азоту від автомобілів, електростанцій і заводів на Паданській рівнині на півночі Італії, що збіглося з часом запровадження карантину в регіоні [11]. Тієї ж весни у соцмережах

поширювалися фотографії Гімалаїв, яких стало видно вперше за десятиліття, оскільки зниження рівня забруднення призвело до покращення стану атмосфери.

Поява вірусу COVID-19 стала попередженням того, що екосистема планети знаходиться в небезпеці, вплинувши на світову економіку, змусила людство задуматися про майбутні сценарії розвитку суспільства [12]. На жаль, суспільство забуває і не вчиться на своїх помилках.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), значна частина населення світу проживає в умовах підвищеної концентрації забруднюючих речовин у повітрі. Основними поллютантами є тверді мікрочастинки (PM_{2.5}, PM₁₀), діоксид сірки (SO₂), діоксид азоту (NO₂), озон (O₃) та леткі органічні сполуки, серед яких особливе місце займає формальдегід (CH₂O) [8]. Високий рівень забруднення повітря є причиною розвитку респіраторних та серцево-судинних захворювань, які щорічно призводить до мільйонів передчасних смертей у світі.

У звіті IQAir за 2023 рік визначено, що зі 134 країн та регіонів лише у сімох повітря відповідає міжнародним стандартам якості. Йшлося про Австралію, Естонію, Фінляндію, Гренаду, Ісландію, Маврикію і Нову Зеландію. Рейтинг формували на основі даних швейцарської організації з контролю якості повітря, яка збирає інформацію з понад 30 000 станцій моніторингу по всьому світу. У звіті також можна побачити країни з найбільш забрудненим повітрям:

- Бангладеш (79,9 мкг/м³), що більш ніж у 15 разів перевищує річний норматив ВООЗ щодо PM_{2,5};
- Пакистан (73,7 мкг/м³), перевищує норму у понад 14 разів;
- Індія (54,4 мкг/м³) – рівень вдсятеро більший за річний норматив ВООЗ;
- Таджикистан (49,0 мкг/м³) – повітря в більш ніж 9 разів брудніше за норму;
- Буркіна-Фасо (46,6 мкг/м³) – у 9 разів перевищує річний норматив щодо PM_{2,5}.

Україна ж посіла у рейтингу 107 місце. Середня кількість забруднення повітря у 2023 році склала 8,6 мікрограма на кубічний метр, що перевищує норму майже вдвічі [10].

Серйозні виклики щодо забруднення повітря у нашій країні пов'язані низкою причин. Основними антропогенними джерелами є промислові підприємства, транспортний сектор та енергетика. У великих містах, таких як Київ, Дніпро, Харків та Одеса, концентрації забруднюючих речовин часто перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК).

Війна в Україні спричинила безпрецедентний рівень забруднення повітря. За даними Міністерства оборони, за перші 20 днів повномасштабного вторгнення росії на територію України було випущено близько 900 ракет різних типів і калібрів. Окупанти завдають ударів як по військових об'єктах, зокрема аеропортах, сховищах боєприпасів (Краснопілля, Кривий Ріг, Дніпро, Житомир), аеродромах та їхніх паливних резервуарах (Гостомель, Чугуїв, Чорнобаївка, Мелітополь, Івано-Франківськ, Миколаїв), так і по цивільній інфраструктурі. Основна маса обстрілів припадає на населені пункти та промислові об'єкти. Внаслідок детонації ракет і артилерійських снарядів в атмосферу потрапляє низка шкідливих хімічних речовин: чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO_2), водяна пара (H_2O), бурий газ (NO), закис азоту (N_2O), діоксид азоту (NO_2), формальдегід (CH_2O), пари ціанистої кислоти (HCN), азот (N_2) та токсичні органічні сполуки. Крім того, при вибухах відбувається окиснення навколишніх матеріалів, таких як ґрунти, деревина, дернина та будівельні конструкції.

У процесі горіння значна частина речовин окиснюється, а продукти реакції вивільняються в атмосферу. Основні з них – вуглекислий газ і водяна пара – не є токсичними, проте сприяють глобальному потеплінню як парникові гази. Оксиди сірки та азоту можуть утворювати кислотні дощі, що змінюють рН ґрунтів, спричиняють ураження рослинності, особливо хвойних дерев, а також негативно

впливають на здоров'я людини та тварин, подразнюючи слизові оболонки та органи дихання [6].

Дослідження показують, що у прифронтових зонах концентрація забруднювачів у повітрі значно перевищує нормативні показники. Окрім безпосередніх викидів, тривале перебування шкідливих речовин у ґрунті та воді може сприяти їх вторинному випаровуванню, що погіршує ситуацію навіть у віддалених регіонах. У регіонах активних бойових дій спостерігається підвищення концентрацій діоксиду сірки, чадного газу та твердих мікрочастинок, що негативно позначається на здоров'ї населення [4].

Міністр довкілля та природних ресурсів Руслан Стрілець зазначив, що забруднене повітря не має меж, адже викиди в атмосферне повітря, викликані військовою агресією росії на теренах нашої держави, переносяться, осідають і впливають на території інших держав, іноді на відстані тисячі кілометрів [5].

За даними моніторингових досліджень, у повітрі українських міст часто фіксується перевищення концентрацій PM_{2.5}, формальдегіду, бензапірену та діоксиду азоту. До прикладу, у 2023 році в містах з високим рівнем промислового навантаження було зафіксовано перевищення ГДК для формальдегіду у 1,5-2 рази [8]. Це вказує на необхідність посилення моніторингу та розробки заходів щодо зменшення забруднення.

В Україні застосовуються різні методи контролю якості повітря, включаючи стаціонарні пости спостереження, мобільні лабораторії та дистанційний моніторинг. Основними забруднювальними речовинами атмосферного повітря є:

- NO₂ (діоксид азоту)
- SO₂ (діоксид сірки)
- CO (оксид вуглецю)
- CH₂O (формальдегід)
- O₃ (приземний озон)
- ТЧ 2,5 та ТЧ 10

Проте, недостатня кількість сучасного обладнання та брак фінансування значно ускладнюють виконання якісного моніторингу повітряного середовища.

1.2. Загальна характеристика формальдегіду.

Формальдегід (метаналь, мурашиний альдегід) – це безбарвний газ із хімічною формулою CH_2O , що має різкий подразнюючий запах, густина за повітрям 1,04. Він є легкозаймистим, може утворювати вибухонебезпечні суміші в повітрі та має високу хімічну активність. У промисловості формальдегід зазвичай використовується у вигляді водного розчину (формаліну) з концентрацією 37-50%.

Формальдегід отримують шляхом окиснювального дегідрування метанолу над срібним каталізатором, термічним розкладом форміату цинку або деполімеризацією параформу. Він використовується в органічному синтезі, у виробництві феноло- та сечоформальдегідних смол, що застосовуються в електропромисловості та машинобудуванні. 37–40% водний розчин формальдегіду, відомий як формалін, використовується як дезінфікуючий засіб і консервант для анатомічних препаратів.

Формальдегід є токсичною сполукою, що викликає подразнення слизових оболонок, має негативний вплив на нервову систему та може спричиняти дегенеративні зміни у внутрішніх органах. Тривалий контакт з формальдегідом пов'язаний із ризиком канцерогенних ефектів.

Формальдегід є найпростішим альдегідом, добре розчинним у воді, спиртах та інших полярних розчинниках. Його основні властивості:

- молекулярна маса – 30,03 г/моль;
- температура кипіння – мінус 19,5°C;
- температура плавлення – мінус 92°C;
- добре розчинний у воді, утворюючи формалін (35-40% розчин);
- легко полімеризується, особливо у водних розчинах. [3]

Завдяки високій розчинності у воді та спиртах, а також здатності до полімеризації, формальдегід широко використовується в промисловості. Він є основною сировиною для виробництва смол, лаків, клеїв, ізоляційних покриттів, деревостружкових та деревоволокнистих плит, фанери, покриттів для паперу та тканин, синтетичних волокон. Крім того, формальдегід застосовується як консервант, протимікробний та дезінфікуючий засіб у промисловості та побуті.

Основним джерелом потрапляння формальдегіду в довкілля є викиди у повітря, зумовлені діяльністю людини, однак джерела його виникнення та розповсюдження можуть мати як антропогенний, так і природний характер.

➤ Природні джерела:

- лісові та степові пожежі;
- фотохімічні процеси у водоймах;
- окиснення летких органічних сполук у повітрі;
- природний метаболізм живих організмів.

➤ Антропогенні джерела:

- промислові викиди та вихлопні гази;
- стічні води підприємств;
- спалювання сміття, листя та палива;
- тютюновий дим;
- будівельні матеріали та споживчі товари, що містять формальдегід.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, середньодобова допустима концентрація формальдегіду в атмосферному повітрі становить 0,003 мг/м³. В Україні встановлені такі гранично допустимі концентрації (ГДК):

- максимальна разова – 0,035 мг/м³;
- середньодобова – 0,003 мг/м³.

Формальдегід є одним із компонентів фотохімічного смогу та може вступати в реакції з іншими атмосферними забруднювачами, утворюючи токсичні вторинні продукти. Через високу реакційну здатність він має відносно короткий час життя в

атмосфері, а саме від кількох годин до кількох діб, та здатний до фотодеградації під впливом ультрафіолетового випромінювання. Однак, постійне поповнення формальдегіду з джерел забруднення підтримує його стабільну присутність у довкіллі, а накопичення у приземному шарі повітря – створює загрозу для здоров'я населення. [14]

1.3. Вивчення нормативної та законодавчої бази щодо якості атмосферного повітря.

Вивчення нормативної та законодавчої бази щодо якості атмосферного повітря є важливим аспектом екологічної політики та охорони довкілля. Законодавче регулювання цього питання спрямоване на забезпечення належного рівня чистоти повітря, захист здоров'я населення та мінімізацію впливу забруднень на навколишнє середовище. Основою цього регулювання є сукупність міжнародних, національних та регіональних норм, які встановлюють допустимі рівні забруднювальних речовин, методи моніторингу, відповідальність за порушення та заходи щодо покращення якості повітря.

На міжнародному рівні якість атмосферного повітря регулюється такими документами, як Конвенція про транскордонне забруднення повітря на великі відстані, директиви Європейського Союзу щодо контролю за викидами та рекомендації Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). Вони містять основні положення щодо допустимих концентрацій шкідливих речовин, методів їх вимірювання та стандартів контролю якості повітря. Особливу увагу приділяють впливу забруднення на здоров'я людини, а також заходам для зменшення шкідливих викидів у атмосферу.

В Україні нормативне регулювання якості атмосферного повітря здійснюється відповідно до Закону України «Про охорону атмосферного повітря», який визначає правові засади охорони повітряного середовища, а також встановлює вимоги до моніторингу та контролю за його станом. Окрім цього, важливе значення

мають такі законодавчі акти, як Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», Закон України «Про екологічну експертизу», Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», а також Постанова Кабінету Міністрів України № 827 «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря».

Санітарно-гігієнічні норми щодо вмісту шкідливих речовин у повітрі регламентуються Державними санітарними правилами та нормами (ДСанПіН), які встановлюють гранично допустимі концентрації (ГДК) небезпечних речовин. Зокрема, контроль рівня таких забруднювачів, як формальдегід, діоксид сірки, оксиди азоту та тверді частинки, здійснюється відповідно до цих нормативів. Крім того, Державні будівельні норми (ДБН) та Технічні регламенти України також встановлюють вимоги до забруднення повітря в межах населених пунктів.

Важливим інструментом державного контролю за якістю повітря є національна система моніторингу, яка включає стаціонарні та мобільні пункти спостереження, а також автоматизовані станції збору даних. На основі отриманих результатів аналізуються зміни концентрації забруднювальних речовин, оцінюється динаміка їхнього поширення та вживаються відповідні заходи для зменшення негативного впливу на довкілля. Українська система моніторингу гармонізується з європейськими стандартами та поступово інтегрується у глобальні системи екологічного спостереження.

Законодавчі ініціативи у сфері охорони атмосферного повітря також включають заходи щодо стимулювання екологічно чистих технологій, запровадження квот на викиди та екологічного оподаткування. Це сприяє зменшенню впливу промислових підприємств на навколишнє середовище та стимулює використання альтернативних джерел енергії. Зокрема, відповідні державні програми передбачають поступове зниження рівня забруднення через модернізацію виробництва та впровадження новітніх екологічних стандартів.

Ефективна нормативна та законодавча база щодо якості атмосферного повітря є важливою передумовою для збереження екологічної рівноваги та здоров'я населення. Її постійне вдосконалення та адаптація до сучасних викликів дозволяють забезпечити належний рівень контролю за якістю повітря та мінімізувати негативний вплив забруднювачів на довкілля. Для забезпечення ефективного контролю за станом повітряного середовища впроваджено механізми державного регулювання, які передбачають систему моніторингу, механізми контролю за викидами, а також заходи відповідальності за порушення екологічних норм.

Одним із важливих механізмів контролю є екологічна експертиза, що проводиться перед введенням в експлуатацію промислових об'єктів, які можуть суттєво впливати на стан атмосферного повітря. Підприємства зобов'язані дотримуватись встановлених гранично допустимих викидів (ГДВ) та здійснювати заходи для їхнього скорочення. Окрім того, існує система екологічного оподаткування, згідно з якою підприємства сплачують екологічний податок за забруднення повітря. Цей механізм сприяє зниженню рівня шкідливих викидів та стимулює промислові підприємства до впровадження екологічно безпечних технологій.

Важливим елементом регулювання є заходи адміністративної та кримінальної відповідальності за порушення законодавства у сфері охорони атмосферного повітря. Згідно із Кодексом України про адміністративні правопорушення, порушення норм щодо викидів забруднюючих речовин у повітря тягне за собою штрафи або тимчасове припинення діяльності підприємства. Також, відповідно до Кримінального кодексу України, умисне або грубе порушення екологічних норм, що призвело до значного забруднення атмосферного повітря та спричинило шкоду здоров'ю населення чи навколишньому середовищу, може каратися позбавленням волі.

Окрім державного контролю, важливу роль у забезпеченні якості повітря відіграє громадський моніторинг та екологічний контроль. Громадські організації

та активісти можуть здійснювати незалежний моніторинг забруднення, ініціювати перевірки підприємств та звертатися до суду для притягнення забруднювачів до відповідальності.

Механізми контролю за якістю атмосферного повітря в Україні включають державний моніторинг, екологічне оподаткування, адміністративну та кримінальну відповідальність, а також громадський контроль. Ефективність цих заходів визначається рівнем їхнього дотримання, а також готовністю державних органів оперативно реагувати на екологічні виклики.

1.4. Вплив формальдегіду на живі організми.

Формальдегід є одним з найнебезпечніших забруднювачів повітря, що має шкідливий вплив на рослини, тварин і людей. Його висока реакційна здатність сприяє швидкому проникненню у біологічні тканини, що призводить до негативних наслідків для здоров'я та функціонування екосистем.

1.4.1. Вплив на людський організм.

Токсична речовина має шкідливий вплив на різні системи організму людини. Її дія може бути гострою, тобто при короткочасному впливі, та хронічною – при тривалому контакті з речовиною:

- Гостра токсичність формальдегіду

Гостре отруєння формальдегідом виникає при вдиханні парів, контакті зі шкірою або слизовими оболонками, а також при випадковому вживанні формаліну.

- Вплив на дихальну систему

- Сенсорне подразнення очей, носа, горла.
 - Відчуття печіння, слюзотеча, кашель.
 - Утруднене дихання, задишка.
 - Бронхоспазм, загострення бронхіальної астми.
 - При високих концентраціях можливий набряк легенів.

- Вплив на шкіру та слизові оболонки
 - Почервоніння, свербіж, висипи, екзема.
 - Алергічні реакції у місцях контакту.
 - Хімічні опіки при контакті з концентрованим розчином.
- Вплив при оральному потраплянні (ковтанні формаліну)
 - Некроз та виразки у ротовій порожнині, стравоході, шлунку.
 - Сильна печія, спазми, біль у шлунку.
 - Нудота, блювання, діарея.
 - Порушення роботи серцево-судинної системи.
 - У важких випадках можливий летальний наслідок.

➤ Хронічна токсичність формальдегіду

Тривале або повторне вдихання формальдегіду або контакт з ним може спричиняти серйозні патологічні зміни в організмі.

- Вплив на дихальні шляхи
 - Постійне подразнення слизових оболонок носа і горла.
 - Хронічний риніт, ураження носоглотки.
 - Підвищений ризик розвитку бронхітів та астми.
- Вплив на шкіру
 - Хронічний дерматит, екзема.
 - Пігментація та потовщення шкіри.
- Онкогенний вплив

Формальдегід визнано канцерогеном I групи за класифікацією Міжнародного агентства з вивчення раку (IARC) та ВООЗ. В Україні середньодобова ГДК формальдегіду встановлена на рівні 0,003 мг/м³. За оцінками ЕРА (Агентство з охорони навколишнього середовища США), якщо особа постійно вдихатиме повітря, що містить формальдегід у середній концентрації 0,008 мг/м³ (тобто приблизно 2,5 ГДК) протягом усього життя, теоретично у неї буде не більше

одного шансу на десять тисяч отримати рак. Тобто це до 100 випадків раку на 1 млн мешканців.

- Рак носоглотки – найбільш доведений зв'язок між впливом формальдегіду та розвитком пухлин.
- Плоскоклітинний рак порожнини носа.
- Мієлоїдний лейкоз.
- Вплив на нервову систему
 - Головний біль, запаморочення.
 - Хронічна втома, порушення сну.
 - Дратівливість, депресивні стани.
- Вплив на репродуктивну систему
 - Порушення менструального циклу.
 - Зниження фертильності у чоловіків.
 - Ризик викидня та вроджених патологій у вагітних. [14]

Особливо вразливими до дії формальдегіду є діти, вагітні жінки та люди з хронічними захворюваннями дихальної системи. Експерти ВООЗ вважають, що вихлопні гази автомобілів – це причина 70% дитячих і понад 60% захворювань дорослих.

1.4.2. Вплив на тваринні організми.

Формальдегід є високореактивною сполукою, яка здатна впливати на організми тварин через вдихання, контакт із шкірою або потрапляння до травного тракту. Його токсичність проявляється як у гострій, так і в хронічній формах.

При короткочасному впливі високих концентрацій формальдегіду у повітрі першочергово спостерігається подразнення слизових оболонок очей і дихальних шляхів. Тварини можуть відчувати печіння в очах, сльозотечу, чхання та кашель. Високі рівні формальдегіду провокують утруднене дихання, бронхоспазм і набряк легенів, що може призвести до серйозних порушень у газообміні та навіть

летального наслідку. Крім того, токсична дія може проявлятися у вигляді судом, втрати координації рухів та загальної слабкості.

Тривалий вплив навіть невеликих концентрацій формальдегіду спричиняє серйозні хронічні порушення в організмі тварин. Найбільш поширеним є розвиток респіраторних захворювань, зокрема хронічного бронхіту, зниження функціональної здатності легень та підвищена сприйнятливість до інфекційних хвороб. Дослідження на лабораторних тваринах показали, що тривале вдихання формальдегіду може провокувати розвиток пухлин у верхніх дихальних шляхах і навіть сприяти виникненню лейкозів. Канцерогенний потенціал цієї речовини офіційно визнаний міжнародними організаціями, що займаються вивченням впливу хімічних сполук на здоров'я.

Крім онкогенного ефекту, хронічна дія формальдегіду впливає на репродуктивну функцію. У самців спостерігається зниження якості сперми та порушення гормонального фону, а у самок – підвищений рівень викиднів, вроджені дефекти у потомства та загальне зниження фертильності. Додатково спостерігаються порушення з боку нервової системи, такі як зміни поведінки, зниження когнітивних здібностей та порушення координації рухів.

Формальдегід не накопичується у тканинах тварин у значних кількостях, оскільки швидко метаболізується до мурашиної кислоти та вуглекислого газу. Однак навіть короткочасне його надходження в організм може викликати окислювальний стрес, що призводить до пошкодження клітинних мембран, білків і ДНК, особливо у випадку тривалого впливу низьких концентрацій. [20]

1.4.3. Вплив на рослинність.

Рослини є природними біоіндикаторами забруднення повітря формальдегідом, оскільки вони поглинають його через прориди листя та можуть накопичувати у своїх тканинах. У 1989 році NASA провело дослідження, яке показало, що певні кімнатні рослини ефективно видаляють забруднювачі, такі як

формальдегід, бензол і трихлоретилен, з повітря в приміщеннях через продихи листків і кореневу систему, після чого він або розкладається на безпечні сполуки (CO_2 і H_2O), або вбудовується в біохімічні процеси рослин. Серед цих рослин виділяються:

- Алое вера (*Aloe vera*): поглинає до 90% формальдегіду, що виділяється в приміщенні.
- Драцена (*Dracaena*): поглинає близько 70% шкідливих речовин з повітря, включаючи формальдегід.
- Сансевієрія (*Sansevieria*): ефективно видаляє формальдегід та інші токсини з повітря.
- Хлорофітум (*Chlorophytum*): здатний поглинати чадний газ та формальдегід, очищаючи повітря в приміщенні. [21]

Однак результати дослідження стосуються лише герметичних приміщень, високі концентрації цієї сполуки спричиняють значні морфологічні та фізіологічні зміни, що призводять до уповільнення росту, втрати продуктивності та навіть загибелі рослин.

Одним із основних наслідків впливу формальдегіду є пошкодження листя, що проявляється у вигляді хлорозу, некрозу, втрати тургору та передчасного опадання. Виникають порушення в будові продихів, що ускладнює нормальний газообмін і транспірацію. Деформація пагонів, затримка росту кореневої системи та зниження швидкості проростання насіння також є типовими симптомами негативного впливу формальдегіду на рослинність.

Фізіологічні зміни включають зниження активності фотосинтезу через пошкодження хлоропластів та зниження активності ферментів, що беруть участь у світлових та темнових реакціях. Окислювальний стрес, викликаний формальдегідом, спричиняє ушкодження клітинних мембран, що може призвести до загибелі клітин. Як відповідь на токсичний вплив, рослини активують механізми

антиоксидантного захисту, зокрема посилену продукцію фітогормонів стресу та спеціалізованих ферментів, що беруть участь у процесах детоксикації.

Було доведено, що формальдегід може також викликати генетичні мутації у рослинних клітинах, що призводить до аномального розвитку окремих тканин та зменшення здатності до розмноження. Порушується нормальний синтез білків та нуклеїнових кислот, що впливає на загальну життєздатність рослин.

Таким чином, вплив формальдегіду на рослини проявляється у формі фізіологічного стресу, порушення процесів росту та розмноження, зниження врожайності та чутливості до інших несприятливих факторів навколишнього середовища. Його довготривалий вплив у повітрі може призводити до поступового ослаблення екосистем, особливо в міських умовах, де рівень забруднення є найвищим.

1.5. Методи вимірювання концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі.

Методи вимірювання концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі є важливою складовою екологічного моніторингу, оскільки цей газ має шкідливий вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище. Вимірювання концентрацій формальдегіду в атмосфері здійснюється за допомогою різноманітних методів, які можна поділити на кілька основних типів, кожен з яких має свої особливості.

Одним із найпоширеніших методів є хімічний метод, заснований на реакції формальдегіду з різними хімічними реактивами. Його застосовують для визначення концентрації формальдегіду в повітрі через використання спеціальних індикаторних розчинів. Одним з таких методів є використання реакції формальдегіду з аміновими сполуками або спеціальними барвниками. Наприклад, в одному з варіантів цієї методики, формальдегід вступає в реакцію з реагентом Шиффа, в результаті якої утворюється забарвлений комплекс, чий колір можна

виміряти фотометрично. Це дозволяє визначити концентрацію формальдегіду шляхом порівняння кольорової інтенсивності з калібрувальною кривою. Хоча цей метод є простим і доступним, він має обмеження, оскільки він не завжди здатний точно виміряти дуже низькі концентрації формальдегіду і може давати помилки через вплив інших летких органічних сполук, що присутні в атмосфері.

Іншим методом є використання газових хроматографів, які дозволяють проводити більш точне і чутливе вимірювання концентрації формальдегіду в повітрі. Газовий хроматограф оснащений детекторами, які можуть виявляти навіть найменші концентрації формальдегіду, завдяки розділенню складових компонентів повітря на колонах, що забезпечує високу точність вимірювання. Газохроматографічний метод є високоточним і дає змогу аналізувати кілька компонентів одночасно, однак цей метод потребує дорогого обладнання та кваліфікованого персоналу, що обмежує його широке використання в польових умовах.

Механічні методи моніторингу також мають своє застосування, зокрема використання пасивних дозиметрів для вимірювання концентрації формальдегіду. Ці пристрої, як правило, використовують поглинання формальдегіду хімічним реагентом на певному матеріалі, що дозволяє виміряти концентрацію газу на основі змін у кольорі або ваги реагенту. Пасивні дозиметри дуже зручні для тривалого моніторингу концентрацій формальдегіду, оскільки вони не потребують складного обладнання та можуть бути використані в будь-яких умовах. Однак вони мають обмеження щодо чутливості і не здатні точно вимірювати високі концентрації.

Фотометричні методи, зокрема спектрофотометрія, також широко використовуються для вимірювання формальдегіду в атмосферному повітрі. Цей метод заснований на вимірюванні інтенсивності світла, що проходить через зразок повітря, і порівнянні її з відомою концентрацією газу. Спектрофотометричний метод має високу точність і чутливість, однак потребує спеціалізованого обладнання та досвіду в роботі з ним.

Ще одним популярним методом є використання оптичних детекторів на основі інфрачервоного спектра, що дозволяють визначати концентрації формальдегіду за допомогою поглинання інфрачервоного випромінювання молекулами газу. Інфрачервоні детектори мають високу чутливість і дозволяють проводити моніторинг формальдегіду в реальному часі, що робить їх зручними для постійного моніторингу атмосферних викидів у промислових зонах або міських районах. Однак цей метод може бути чутливий до перешкод від інших газів, що поглинають інфрачервоні промені [16].

Таким чином, існує кілька методів для вимірювання концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Вибір методу залежить від конкретних умов моніторингу, необхідної точності та доступності обладнання. Застосування комплексного підходу, який включає різні методи, дозволяє забезпечити більш точні результати та врахувати всі можливі фактори впливу.

У Миколаєві для вимірювання концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі застосовуються різні методи моніторингу, які забезпечують точність та надійність даних про рівень забруднення повітря.

Миколаївський обласний центр з гідрометеорології здійснює систематичний моніторинг стану атмосферного повітря, використовуючи чотири стаціонарні пости спостережень. Вони оснащені сучасними лабораторними комплексами типу «ПОСТ-2», які забезпечують можливість регулярного відбору проб повітря для подальшого лабораторного аналізу. Крім того, ці пости обладнані автоматичними газоаналізаторами, що дозволяють проводити безперервну реєстрацію концентрацій забруднюючих речовин, зокрема формальдегіду. Завдяки цьому можна оперативно отримувати дані про якісний стан повітря у місті та контролювати динаміку його змін.

Окрему роль у моніторингу забруднення відіграє Автоматична станція контролю забруднення атмосфери (АСКЗА), призначена для постійного

довготривалого спостереження за складом атмосферного повітря у населених пунктах і санітарно-захисних зонах промислових підприємств. Вона оснащена сучасними засобами збору та обробки інформації, яка передається в центр моніторингу через систему зв'язку. Це дає змогу отримувати оперативні дані щодо рівня забруднення, що особливо важливо для швидкого реагування на перевищення нормативних концентрацій шкідливих речовин.

Окрім реєстрації концентрації формальдегіду та інших домішок, АСКЗА обладнана комплексом метеоприладів, які забезпечують додаткові дані про погодні умови та дозволяють відстежувати локалізацію і переміщення забруднювачів у повітрі. Вимірювальна інформація накопичується та передається у вигляді миттєвих показників, усереднених значень і архівних даних за останні три доби. Такий підхід дозволяє не лише фіксувати поточний рівень забруднення, а й аналізувати його динаміку, що є важливим для прийняття рішень щодо покращення екологічної ситуації в регіоні [23].

Інформація про якість повітря, зібрана цими постами, може бути доступна громадськості через різні канали. Зокрема, SaveEcoBot надає інтерактивну карту якості повітря в Миколаївській області, яка відображає дані з автоматичних станцій моніторингу. На цей час в області встановлено 29 станцій, з них 8 працюють та передають дані в SaveEcoBot. Кожна станція зображена кольоровим колом на карті, що дозволяє користувачам отримувати актуальну інформацію про стан повітря в реальному часі [25].

Дистанційний моніторинг атмосферного повітря є надзвичайно важливим інструментом для комплексного аналізу його якості, дослідження динаміки змін клімату та оцінки рівня забруднення. Завдяки використанню супутникових технологій стає можливим безперервне спостереження за станом атмосфери на глобальному рівні, що значно розширює можливості моніторингу порівняно з наземними станціями. Супутникове зондування дозволяє отримувати дані з

важкодоступних та віддалених регіонів, забезпечуючи комплексну оцінку впливу природних і антропогенних факторів на стан повітряного середовища.

Сучасні методи дистанційного моніторингу базуються на використанні спеціалізованих супутникових платформ, оснащених спектрометрами, інфрачервоними та ультрафіолетовими сенсорами, а також іншими приладами, що здатні реєструвати різні атмосферні параметри. Зокрема, дистанційне зондування дає змогу вимірювати температуру повітря, рівень вологості, швидкість і напрямок вітру, а також концентрації основних забруднюючих речовин, таких як діоксид азоту (NO_2), діоксид сірки (SO_2), озон (O_3), чадний газ (CO), тверді частинки (PM) та інші небезпечні компоненти. Зібрані дані широко використовуються в метеорології для прогнозування погодних умов, у кліматології для відстеження змін клімату, а також в екологічних дослідженнях для визначення масштабів і тенденцій забруднення повітря.

Дистанційний моніторинг дозволяє аналізувати не лише концентрацію шкідливих речовин, а й їхнє джерело походження, транспортні шляхи та хімічні перетворення в атмосфері. Це дає змогу ефективно визначати регіони з підвищеним рівнем забруднення, ідентифікувати промислові та природні джерела викидів, оцінювати вплив викидів на довкілля та здоров'я населення. Важливою перевагою дистанційного зондування є його здатність забезпечувати довготривалі часові ряди даних, що необхідні для моніторингу змін у складі атмосфери та оцінки ефективності екологічних заходів.

Системи дистанційного моніторингу, що використовуються в усьому світі, базуються на супутникових місіях NASA, ESA та інших космічних агентств. Наприклад, такі супутники, як Sentinel-5P (програма Copernicus), Terra і Aqua (програма MODIS), OMI (Ozone Monitoring Instrument), а також інші, забезпечують постійне спостереження за хімічним складом атмосфери. Отримані дані використовуються для екологічного прогнозування, моделювання розповсюдження

забруднювачів та оцінки впливу антропогенних і природних процесів на якість повітря.

Таким чином, дистанційний моніторинг атмосфери є незамінним інструментом у сучасних екологічних дослідженнях. Він дозволяє оперативно реагувати на зміни рівня забруднення, проводити аналіз джерел шкідливих викидів, а також розробляти ефективні заходи щодо покращення якості повітря та пом'якшення наслідків змін клімату [24].

РОЗДІЛ II

ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Об'єкт дослідження.

Об'єктом даного дослідження є атмосферне повітря міста Миколаєва, а саме – рівень забруднення формальдегідом як одним із поширених летких органічних сполук, що має виражені токсичні властивості. Формальдегід (НСНО) – це низькомолекулярна органічна сполука, яка може перебувати у повітряному середовищі у вигляді газу або пари. Він широко використовується в хімічній промисловості, будівництві, меблевому виробництві та сільському господарстві, що призводить до його викидів у навколишнє середовище як у результаті промислової діяльності, так і внаслідок побутового використання продуктів, що його містять.

У межах урбанізованого простору формальдегід потрапляє в атмосферу внаслідок роботи автотранспорту, згорання палива, діяльності підприємств деревообробної, текстильної та хімічної промисловості. Оскільки місто Миколаїв є великим промисловим та транспортним вузлом, рівень забруднення атмосферного повітря цим забруднювачем становить потенційну загрозу для здоров'я населення. Особливу увагу в цьому дослідженні приділено оцінці рівнів формальдегіду у приземному шарі повітря на території житлових районів, у місцях з інтенсивним дорожнім рухом, а також у безпосередній близькості до джерел викидів.



Рис. 2.1. Місто Миколаїв на Google Maps
(<https://maps.app.goo.gl/DytHWGP8MNF9otft7>)

Дослідження об'єкта має на меті виявлення просторово-часової динаміки вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі Миколаєва, аналіз його відповідності нормативам гранично допустимих концентрацій (ГДК), визначених чинними державними стандартами, та оцінку потенційних ризиків для здоров'я населення. Для аналізу залучаються як офіційні статистичні дані, зокрема дані Миколаївського обласного центру з гідрометеорології [1], так і наукові публікації та звіти з екологічного моніторингу в регіоні.

2.2. Методи дослідження

У процесі дослідження вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва застосовано комплексний підхід, що включає як аналіз вторинної інформації з відкритих джерел, так і опрацювання офіційних екологічних даних з наглядових постів, розташованих на території міста. Методологія ґрунтується на використанні кількісних методів екологічного моніторингу, які дозволяють

визначити концентрації забруднюючих речовин у повітрі та оцінити їх відповідність державним нормативам.

Основним джерелом первинної інформації слугують дані, отримані від Миколаївського обласного центру з гідрометеорології, який здійснює регулярні спостереження за якістю атмосферного повітря на стаціонарних постах. Для вимірювання вмісту формальдегіду використовуються автоматичні газоаналізатори, інтегровані до лабораторій типу «ПОСТ-2», які дозволяють проводити безперервний відбір проб та реєстрацію результатів у режимі реального часу. Дані, отримані в такий спосіб, мають високу достовірність та репрезентативність, що дозволяє проводити просторовий і часовий аналіз забруднення.

Поряд із цим, до методів дослідження залучено й аналітичний огляд наукової літератури, нормативно-правових актів та екологічної статистики. Це дало змогу сформуванати цілісне уявлення про джерела, рівень та динаміку забруднення формальдегідом в міському середовищі, а також оцінити потенційний вплив на здоров'я населення.

Для аналізу отриманих даних було використано загальнонаукові методи, зокрема: метод порівняльного аналізу – для зіставлення концентрацій формальдегіду у різні місяці та роки; елементи математичної статистики – для обчислення середньорічних і середньомісячних показників, виявлення відхилень від гранично допустимих концентрацій; а також метод графічної візуалізації, який дозволив побудувати діаграми для наочного відображення змін концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва у 2015–2024 роках. Застосування цих методів дало змогу виявити просторово-часові закономірності забруднення, окреслити потенційні осередки підвищеного вмісту формальдегіду та сформулювати обґрунтовані пропозиції щодо покращення системи моніторингу якості повітря.

Розділ III

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Організація дослідження

Дослідження вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва було організовано з урахуванням принципів наукової обґрунтованості, достовірності даних та дотримання вимог чинного законодавства України щодо охорони атмосферного повітря. Основним об'єктом вивчення виступало міське середовище Миколаєва – одного з промислових центрів півдня України, де зосереджено значну кількість стаціонарних джерел викидів, а також транспортних шляхів, що є потенційними джерелами формальдегіду.

Організація дослідження передбачала етапність: спочатку було зібрано та проаналізовано наявні дані Миколаївського обласного центру з гідрометеорології, який забезпечує постійний контроль якості повітря у місті на чотирьох стаціонарних постах спостереження. Ці пости обладнані автоматизованими газоаналізаторами в складі лабораторій типу «ПОСТ-2», які забезпечують безперервне вимірювання рівнів формальдегіду та інших забруднюючих речовин. Крім того, використовуються автоматичні станції контролю забруднення атмосфери (АСКЗА), які дозволяють оперативно передавати екологічну інформацію до центральної бази даних.

Дослідницький процес включав вивчення результатів моніторингу за кілька останніх років із метою виявлення динаміки концентрацій формальдегіду в різні сезони, у різних частинах міста та за різних погодних умов. Особлива увага приділялася територіям з підвищеним техногенним навантаженням, зокрема зонам інтенсивного транспортного руху, промисловим районам та житловим кварталам, розташованим поблизу джерел викидів.

З метою глибшого аналізу була також використана інформація з відкритих офіційних джерел – зокрема, екологічних звітів, статистичних бюлетенів Державної служби статистики України, результатів моніторингових досліджень, опублікованих на сайтах Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, ДУ «ЦГМ», а також місцевих екологічних служб. Паралельно здійснювався огляд наукової літератури для порівняння ситуації в Миколаєві з аналогічними дослідженнями в інших регіонах України.

Усі етапи дослідження організовано з дотриманням етичних принципів, із посиленням на достовірні джерела та офіційну інформацію. Такий підхід дозволяє сформувати повну картину забруднення атмосферного повітря формальдегідом у місті, оцінити ризики для населення та обґрунтувати рекомендації щодо зменшення шкідливих викидів.

3.2. Результати дослідження

У межах дослідження було здійснено аналіз концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва за період 2015-2024 років (Таблиця 1). Формальдегід є одним із найбільш розповсюджених забруднювачів атмосферного повітря у міських агломераціях, і його перевищення має безпосередній негативний вплив на стан здоров'я населення, оскільки ця речовина класифікується як канцерогенна. Для оцінки рівня забруднення використовувався показник гранично допустимої концентрації (ГДК), який для формальдегіду становить 0,003 мг/м³.

Аналіз середньомісячних концентрацій показав, що протягом усього досліджуваного періоду рівень формальдегіду систематично перевищував встановлену ГДК, подекуди в 3-10 разів. Найвищі середньомісячні показники фіксувалися переважно у весняно-літній період, що пов'язане з підвищенням температури, активізацією фотохімічних процесів, а також посиленням впливу автотранспорту та промислових джерел викидів. Наприклад, у червні-серпні 2019

року концентрації досягали 0,030 мг/м³, що у 10 разів перевищує норму. Схожа ситуація спостерігається і влітку 2015, 2017 та 2018 років.

Разом із тим, у 2020-2021 роках можна спостерігати часткове зниження рівня забруднення, що, ймовірно, пов'язано з обмеженнями на промислову діяльність і транспортну мобільність в умовах пандемії COVID-19. Проте вже з 2022 року концентрації знову демонструють тенденцію до зростання, хоча в 2024 році спостерігається значне зниження рівнів забруднення до показників, близьких до ГДК – 0,005-0,010 мг/м³. Це може свідчити як про ефективність впроваджених природоохоронних заходів, так і про часткове зменшення активності підприємств або покращення метеоумов для дисперсії забруднювальних речовин.

Сезонна динаміка також є чітко вираженою: у зимові місяці (грудень-лютий) спостерігається певне зниження концентрацій, що може бути обумовлено зменшенням випарів формальдегіду при низьких температурах, хоча в окремі роки (наприклад, 2021 і 2023) ці показники залишалися на високому рівні. У літній період, зокрема в липні та серпні, навпаки, переважна більшість років демонструє найбільші значення забруднення. Ці дані узгоджуються з типовими закономірностями формування вторинних забруднень у теплу пору року.

Отримані результати підтверджують наявність хронічного забруднення повітря формальдегідом у місті Миколаєві протягом аналізованого періоду, що є серйозною екологічною та санітарно-гігієнічною проблемою. Високі рівні цієї речовини становлять потенційну загрозу для органів дихання, нервової системи, а також можуть викликати алергічні реакції та онкологічні захворювання при тривалому впливі. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває питання посилення державного контролю за джерелами викидів, розробки ефективних заходів регуляції, а також удосконалення системи моніторингу забруднення атмосферного повітря.

3.3. Аналіз отриманих результатів

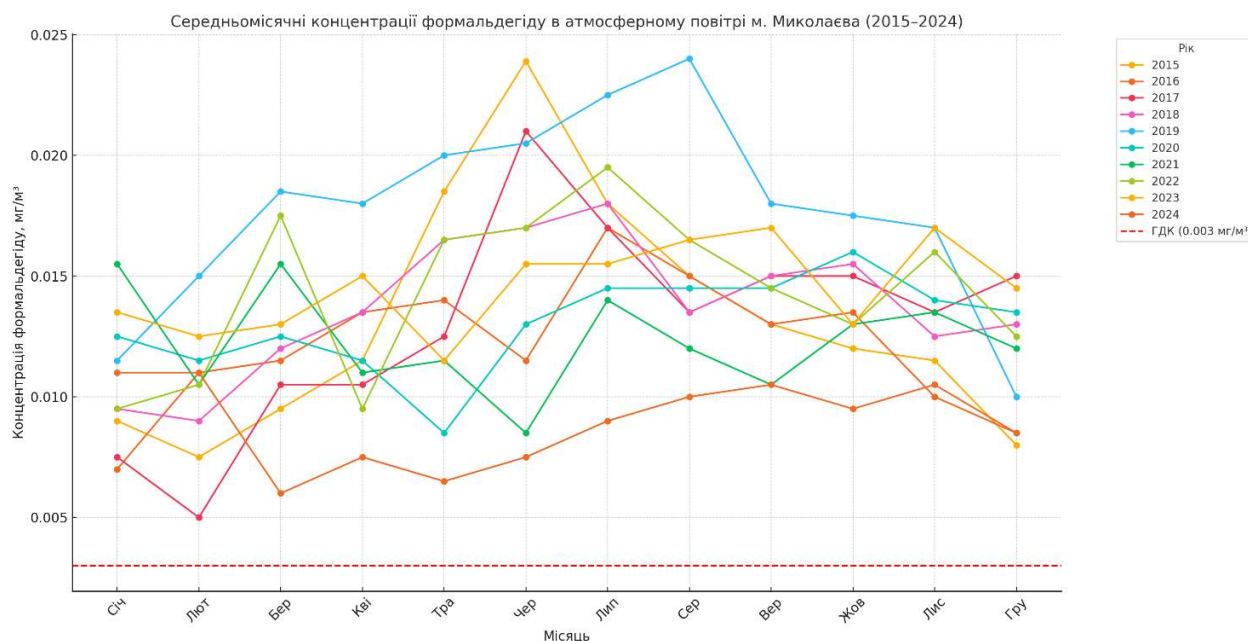


Рис. 3.1. Лінійна діаграма середньомісячних концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за 2015-2024 рр.

На рис. 3.1 представлено динаміку середньомісячних концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва упродовж 2015-2024 років. Кожна крива відображає зміну рівня забруднення протягом календарного року. Спостерігається стійка тенденція до підвищення концентрацій у весняно-літній період (травень-серпень) та часткове зниження у зимові місяці. У всі роки зафіксоване значне перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК) – 0,003 мг/м³ (позначено червоною пунктирною лінією). Пікові значення перевищували ГДК у 5-10 разів, що свідчить про постійний антропогенний тиск та загрозу для здоров'я населення.

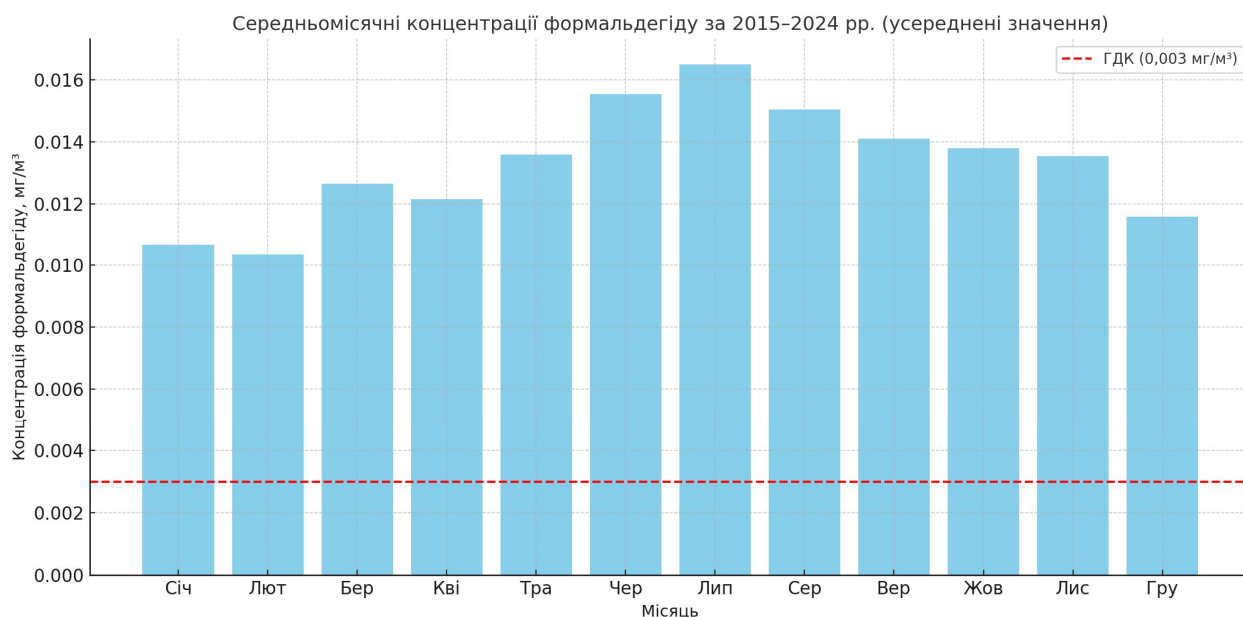


Рис. 3.2. Стовпчаста діаграма перевищень ГДК формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за місяцями протягом 2015-2024 рр. (усереднені значення)

На графіку 3.2 відображено усереднені за 10-річний період (2015-2024) концентрації формальдегіду для кожного календарного місяця. Найвищі середні показники спостерігаються в червні та липні (до 0,018-0,024 мг/м³), що, ймовірно, пов'язано з інтенсифікацією транспортного руху, підвищенням температури повітря та фотохімічними процесами. Усі місячні середні значення перевищують норматив ГДК у декілька разів, що свідчить про постійне забруднення міського повітря формальдегідом незалежно від пори року.

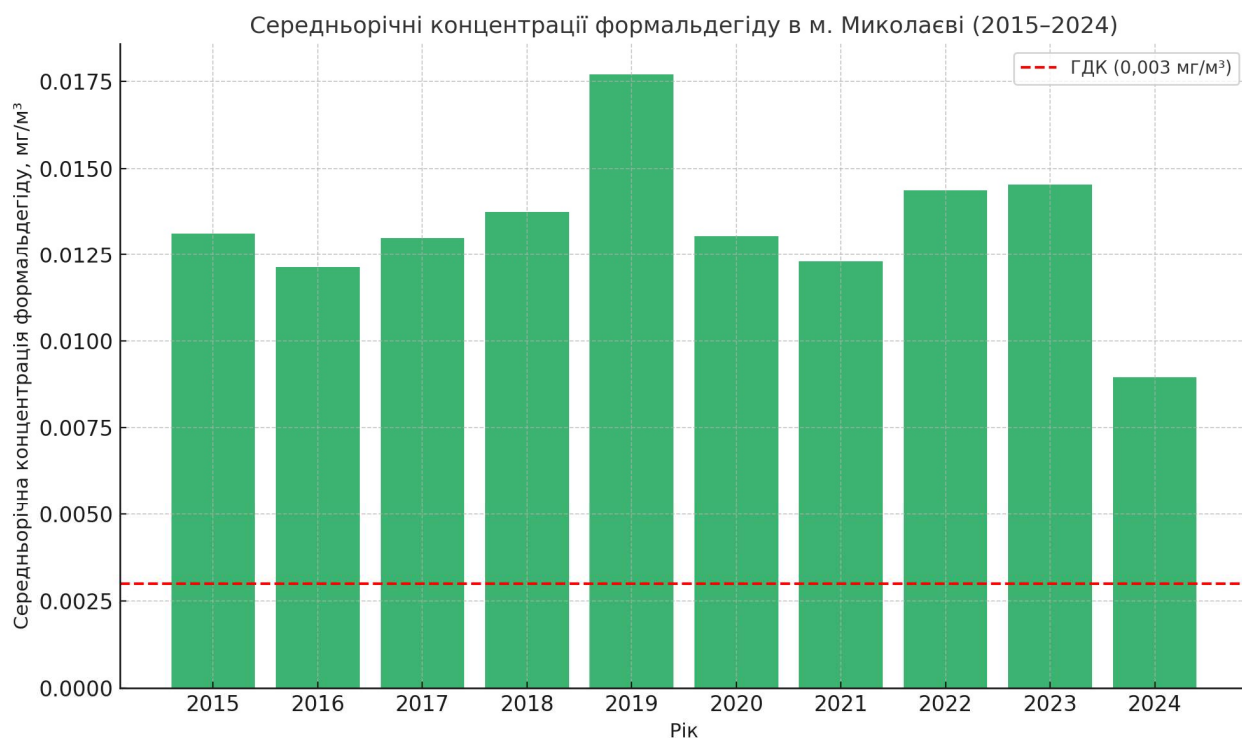


Рис. 3.3. Середньорічні концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за 2015-2024 рр. (середнє значення за рік)

На рис. 3.3 зображено середньорічні концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за період 2015-2024 років. Червона лінія позначає гранично допустиму концентрацію (ГДК) для середньодобового впливу – 0,003 мг/м^3 . Як видно з графіка, упродовж усього досліджуваного періоду рівень забруднення суттєво перевищував нормативне значення, особливо у 2019 році. Лише у 2024 році спостерігається чітка тенденція до зниження показників, що може бути результатом зміни технологічного навантаження або природоохоронних заходів.

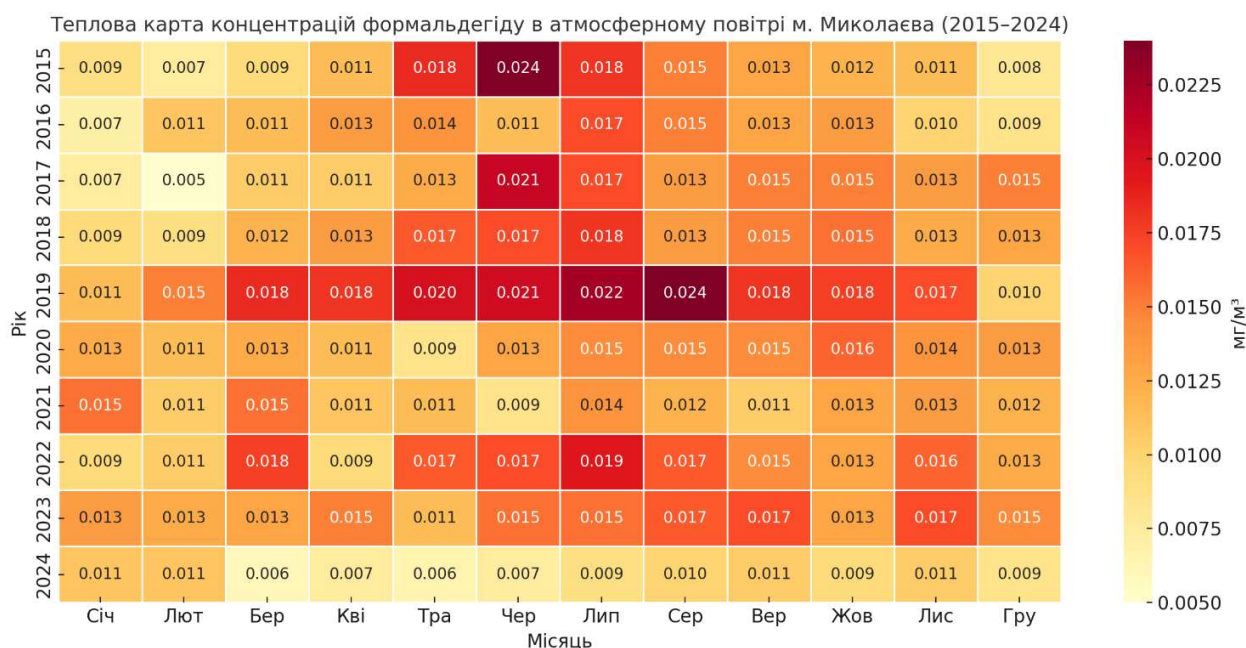


Рис. 3.4. Теплова карта концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за 2015-2024 рр.

На рис. 3.4 представлено теплову карту концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за 2015-2024 роки. Інтенсивність забарвлення вказує на рівень забруднення в конкретні місяці та роки: від світло-жовтих до темно-червоних відтінків. Найвищі концентрації спостерігаються в літній період, зокрема в червні-серпні 2019 року, коли рівень формальдегіду досягав понад 0,02 мг/м³. Така візуалізація дозволяє виявити закономірності сезонного та багаторічного забруднення, що є важливим для формування природоохоронної політики на місцевому рівні.

Результати дослідження концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за 2015-2024 роки свідчать про стабільно високий рівень забруднення, який переважно перевищує встановлені санітарні норми. Упродовж більшості років аналізованого періоду середньомісячні концентрації формальдегіду були вищими за гранично допустиму концентрацію (0,003 мг/м³), що вказує на хронічне забруднення повітря цією токсичною сполукою.

Найвищі показники фіксувалися у весняно-літні місяці, що пояснюється підвищенням температурного режиму, активізацією фотоокислювальних процесів та посиленою мобільністю транспорту. Особливо критичними були дані 2019 року, коли рівень формальдегіду в окремі місяці досягав 0,030 мг/м³, що у 10 разів перевищує допустиму норму. Така ситуація становить потенційну загрозу для здоров'я населення, зокрема дітей, людей похилого віку та осіб із хронічними захворюваннями органів дихання.

Періодичне зниження рівнів забруднення у 2020-2021 роках можна пов'язати з впливом карантинних обмежень, коли знизилася інтенсивність дорожнього руху та тимчасово припиняється діяльність окремих промислових підприємств. Це свідчить про те, що антропогенний фактор, зокрема транспорт і виробництво, є основними джерелами викидів формальдегіду в повітря м. Миколаєва.

Аналіз результатів за 2024 рік вказує на позитивну динаміку – значне зменшення концентрацій, які у більшості місяців не перевищували 0,010 мг/м³. Це може бути результатом впровадження природоохоронних програм, модернізації очисних систем, зміни структури промислового виробництва або сприятливих погодних умов, які сприяли розсіюванню забруднюючих речовин. Проте навіть за цієї тенденції показники залишаються вище ГДК, що свідчить про потребу в подальших діях із поліпшення якості повітря.

Проведений аналіз підтверджує, що формальдегід є сталим компонентом хімічного складу атмосферного повітря міста Миколаєва. Така ситуація вимагає розробки та реалізації ефективної регіональної екологічної політики, спрямованої на зменшення викидів формальдегіду, впровадження екологічно чистих технологій, розширення мережі моніторингу та інформування населення про екологічні ризики. Також актуальним є посилення державного контролю за джерелами викидів і відповідальності за перевищення встановлених нормативів.

Міністерство освіти і науки України
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Навчально-науковий медичний інститут
Кафедра екології

**СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА
«ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ ВИКОНАННІ ДОСЛІДЖЕНЬ
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА ВМІСТ ФОРМАЛЬДЕГІДУ»
за спеціальністю Е2 – Екологія**

Виконавець:

Студентка IV курсу, 421 групи

Хозяїнова Олександра Григорівна

Науковий керівник:

канд. тех. наук, доцент

А. О. Алексєєва

Миколаїв – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	41
1.1. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при дослідженні формальдегіду в атмосферному повітрі.	43
1.3. Засоби колективного та індивідуального захисту при дослідженні атмосферного повітря на вміст формальдегіду.	45
1.4. Організаційні заходи з охорони праці при проведенні моніторингу атмосферного повітря.	47
1.5. Порівняльний аналіз вимог охорони праці при роботі з формальдегідом в Україні та країнах Європейського Союзу.....	49
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

ВСТУП

Питання охорони праці та забезпечення безпечних умов під час проведення екологічних досліджень набуває особливої актуальності у сучасних умовах техногенного навантаження на довкілля. Одним із найважливіших напрямів прикладної екології є моніторинг якості атмосферного повітря, що передбачає систематичний відбір проб, їх аналітичну обробку та інтерпретацію результатів для подальшого використання у природоохоронній діяльності. Водночас ці процеси часто супроводжуються дією низки небезпечних і шкідливих факторів на фахівців, які здійснюють польові чи лабораторні роботи.

Особливу небезпеку становлять речовини 1–2 класів небезпеки, зокрема формальдегід, що є об'єктом дослідження цієї бакалаврської роботи. Формальдегід характеризується високою реакційною здатністю, токсичністю та підтвердженими канцерогенними властивостями, а також здатністю легко проникати в організм через органи дихання і шкіру. Навіть у низьких концентраціях ця речовина здатна викликати подразнення слизових оболонок, головний біль, хронічну втому, а при тривалому впливі – спричинити серйозні порушення функціонування дихальної, імунної та нервової систем.

Виконання екологічного моніторингу в міських умовах, де формальдегід може бути присутній у повітрі внаслідок викидів автотранспорту, промислових підприємств, згорання відходів, потребує не лише фахової підготовки виконавців, але й належної організації умов праці. Польові дослідження, що передбачають роботу з пробо-відбірним обладнанням у різних погодних умовах, пов'язані з додатковими фізичними та метеофакторами ризику. В лабораторних умовах, навпаки, домінують хімічні ризики, пов'язані з використанням токсичних реактивів, розчинників та обладнання, що працює під високою напругою або температурою.

Тому особливо важливим є забезпечення ефективної системи управління охороною праці під час усього циклу дослідження — від відбору проб до аналітичного опрацювання та візуалізації результатів. Дотримання норм законодавства України, міжнародних стандартів, використання засобів індивідуального та колективного захисту, регулярне навчання персоналу й контроль за технічним станом обладнання є основними складовими безпечного виконання досліджень такого типу.

Метою цього розділу є виявлення небезпечних і шкідливих чинників, що виникають під час дослідження атмосферного повітря на вміст формальдегіду, оцінка рівня їх впливу на фахівців, які проводять моніторинг, а також обґрунтування комплексу організаційно-технічних заходів для забезпечення безпечних умов праці.

1.1. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при дослідженні формальдегіду в атмосферному повітрі.

Дослідження атмосферного повітря на вміст формальдегіду супроводжується низкою виробничих небезпек, які класифікуються за фізичними, хімічними, біологічними та психофізіологічними ознаками. Найбільшу загрозу для працівників лабораторій та фахівців, які здійснюють екологічний моніторинг, становить хімічний фактор – безпосередній контакт із формальдегідом, а також речовинами, що застосовуються у процесі виявлення та кількісного визначення цієї сполуки.

Формальдегід (CH_2O) належить до 2 класу небезпеки відповідно до Державних санітарних правил охорони атмосферного повітря населення та є одним із найагресивніших інгаляційних токсикантів. При кімнатній температурі це безбарвний газ із різким подразнюючим запахом. Він добре розчиняється у воді, легко проникає через слизові оболонки, шкіру, накопичується в тканинах, а при високих концентраціях викликає гострі інтоксикації, алергічні реакції, ураження дихальної системи, центральної нервової системи та очей. За класифікацією Міжнародного агентства з вивчення раку (IARC), формальдегід визнано канцерогеном групи 1 – речовиною, канцерогенність якої для людини доведена [5].

Під час відбору проб атмосферного повітря на вміст формальдегіду використовуються абсорбційні колонки з сорбентами, що можуть містити кислотні або спиртові реагенти, які також є потенційно небезпечними. На етапі транспортування проб до лабораторії можливий витік реактивів або контакт з абсорбованим формальдегідом. У лабораторних умовах визначення вмісту проводиться за допомогою спектрофотометричних, фотометричних або хроматографічних методів із використанням таких речовин, як реактив Шиффа,

дистильовані розчинники, фенілгідразин тощо – всі вони потребують дотримання суворих норм безпеки при поводженні.

Крім хімічних, під час моніторингу виникають фізичні та метеофактори: перебування на відкритій місцевості, часто у складних погодних умовах (спека, вологість, вітер), перенесення та встановлення обладнання, навантаження на зір і опорно-руховий апарат. Відомо, що багаторазове перебування в зоні підвищеної концентрації формальдегіду (особливо влітку за високих температур) підсилює інгаляційне навантаження через активні процеси випаровування.

Також до психофізіологічних факторів можна віднести монотонність операцій (наприклад, тривалий контроль за реакцією в фотометрі), напруження уваги та ризик помилок під час обробки результатів.

Уся діяльність з дослідження атмосферного повітря на вміст формальдегіду має розглядатися як робота зі шкідливими умовами, що підтверджується відповідними нормативами: Наказом МОЗ України №52 від 14.01.2020, ДСТУ EN 689:2019 та ДСП 9.2.6.184-2011. Саме тому при її виконанні необхідне повне дотримання вимог охорони праці, включаючи індивідуальний захист, навчання персоналу, регулярні медогляди та технічне обслуговування обладнання [1].

1.3. Засоби колективного та індивідуального захисту при дослідженні атмосферного повітря на вміст формальдегіду.

При проведенні екологічного моніторингу атмосферного повітря, зокрема при роботі з формальдегідом, питання забезпечення безпечних умов праці є одним із ключових. Висока токсичність формальдегіду та його здатність до швидкого проникнення в організм людини вимагає від виконавців дотримання комплексу профілактичних, технічних і організаційних заходів. У практиці охорони праці це реалізується через систему засобів колективного та індивідуального захисту, які застосовуються як у польових умовах, так і в лабораторіях.

Засоби колективного захисту – це технічні рішення, що дозволяють мінімізувати контакт працівника з небезпекою ще до початку або в момент її дії. До таких засобів у контексті екологічного моніторингу належать: витяжні шафи з вентиляцією, лабораторні витяжки з очищенням повітря, витяжні зонти над робочими поверхнями, герметичні системи зберігання реактивів, абсорбційних колб, контейнерів для проб. У приміщеннях лабораторій, де проводиться аналіз формальдегіду, має бути забезпечена ефективна загальнообмінна вентиляція, а також система аварійного провітрювання. Під час робіт у польових умовах слід використовувати мобільні сорбційні установки з фільтрами або автономні абсорбційні системи, особливо в умовах високої концентрації формальдегіду, характерної для промислових зон або ділянок поблизу транспортних розв'язок.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) необхідні для безпосереднього захисту органів дихання, шкіри, очей і слизових оболонок виконавця робіт. До основних ЗІЗ, рекомендованих при роботі з формальдегідом, належать:

- респіратори або напівмаски з фільтрами типу A1 або A2, здатними затримувати органічні пари (у т.ч. альдегіди);

- захисні окуляри або щитки, що запобігають потраплянню аерозолів чи крапель реактивів у очі;
- захисні рукавички з нітрилу, неопрену або гуми, стійкі до дії розчинників;
- лабораторний халат з антистатичного матеріалу, або у польових умовах – комбінезон із капюшоном (одноразовий або багаторазовий, з водо- та газозахисними властивостями).

Також обов’язковими є використання закритого зручного взуття, головного убору та індивідуальних контейнерів для зберігання забрудненого одягу.

Згідно з вимогами чинного законодавства України, а саме Наказом МОЗ України №105 від 21.03.2012 «Про затвердження Порядку забезпечення працівників спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту», усі зазначені ЗІЗ мають надаватися працівникам безкоштовно, відповідно до умов праці, переліків професій та чинних нормативів.

З метою зниження рівня ризику та мінімізації контакту з формальдегідом працівники також повинні проходити обов’язкове навчання з охорони праці, включаючи інструктаж щодо використання ЗІЗ, поведінки в аварійних ситуаціях, дій при випадковому контакті з токсичними речовинами та методів надання домедичної допомоги [3].

Наявність системи контролю за дотриманням режиму використання ЗІЗ, регулярне оновлення засобів захисту, перевірка термінів придатності та стану вентиляційних установок – невід’ємні компоненти забезпечення безпеки в процесі екологічного моніторингу.

1.4. Організаційні заходи з охорони праці при проведенні моніторингу атмосферного повітря.

Забезпечення безпечних умов праці під час проведення екологічного моніторингу атмосферного повітря, зокрема досліджень на вміст формальдегіду, неможливе без чіткої організації робочого процесу відповідно до чинних вимог охорони праці та санітарного законодавства. Організаційні заходи охоплюють систему правил, процедур, інструктажів та контролю, що мають бути впроваджені на всіх етапах: підготовки, проведення та завершення робіт.

Усі фахівці, які залучаються до дослідження як у лабораторних, так і в польових умовах, обов'язково повинні пройти інструктажі з охорони праці: вступний, первинний на робочому місці, періодичний та цільовий – згідно з Наказом Держгірпромнагляду України №15 від 26.01.2005 року. Особливу увагу слід приділяти дотриманню інструкцій з безпеки під час роботи з токсичними речовинами, у тому числі з формальдегідом. Кожен працівник має бути ознайомлений з небезпеками та першочерговими діями у разі аварійної ситуації, проливу речовини або контакту з нею [4].

Згідно з Порядком проведення медичних оглядів працівників певних категорій [2], особи, які працюють з небезпечними хімічними речовинами, повинні регулярно проходити обов'язкові попередні та періодичні медичні огляди. Це дозволяє виявити можливі протипоказання до роботи з формальдегідом і запобігти розвитку професійних захворювань.

Під час польових досліджень керівник робіт зобов'язаний забезпечити облік метеоумов, інтенсивності руху транспорту, доступу до джерел питної води, наявності аптечки, засобів зв'язку та маршруту евакуації. Якщо дослідження проводиться в зонах з підвищеним рівнем забруднення повітря або поблизу промислових об'єктів, має бути складений план дій у надзвичайній ситуації, у

якому передбачаються заходи щодо зниження ризику отруєння чи ураження працівників.

Крім того, важливо забезпечити контроль за станом засобів індивідуального та колективного захисту, справністю вентиляційних систем, витяжних шаф та фотометричного обладнання. Відповідальність за дотримання правил охорони праці покладається на керівника лабораторії, головного інженера або еколога установи, що проводить моніторинг.

З метою запобігання аваріям, нещасним випадкам та отруєнням, необхідно вести журнал обліку інструктажів, періодично проводити навчання з домедичної допомоги, а також – у випадку тривалих або інтенсивних досліджень – впроваджувати режим ротації працівників.

Таким чином, грамотно організовані заходи з охорони праці є запорукою ефективного й безпечного виконання екологічного моніторингу, особливо під час роботи з потенційно небезпечними речовинами, такими як формальдегід.

1.5. Порівняльний аналіз вимог охорони праці при роботі з формальдегідом в Україні та країнах Європейського Союзу.

У контексті інтеграції України до європейського правового простору, зокрема в галузі охорони праці та безпеки поводження з хімічними речовинами, надзвичайно важливим є порівняння національних нормативів із міжнародно визнаними підходами. Однією з таких речовин, що підлягає жорсткому регулюванню як в Україні, так і в країнах ЄС, є формальдегід.

В Україні формальдегід класифікується як речовина 2 класу небезпеки згідно з ДСП 201-97 та включений до переліку речовин, контроль за якими є обов'язковим у виробничому та довкіллевому середовищі. Гранично допустимі концентрації (ГДК) формальдегіду в атмосферному повітрі населених місць визначені Наказом МОЗ України №52 від 14.01.2020:

- максимальна разова – 0,035 мг/м³,
- середньодобова – 0,003 мг/м³ [1].

У Європейському Союзі регулювання здійснюється відповідно до Директиви 98/24/ЕС щодо захисту працівників від ризиків, пов'язаних із впливом хімічних агентів. Згідно з останнім переглядом, формальдегід класифіковано як канцероген категорії 1B відповідно до Регламенту CLP (Регламент (ЕС) №1272/2008), що означає: «ймовірно канцерогенний для людини». У зв'язку з цим, країни ЄС запровадили жорсткіші гігієнічні нормативи:

- 8-годинне середнє значення (OEL): 0,37 мг/м³ (0,3 ppm);
- 15-хвилинне пікове значення: 0,74 мг/м³ (0,6 ppm) [7].

Окрім цього, роботодавці в країнах ЄС зобов'язані проводити кількісну оцінку ризику, зокрема розраховувати інгалаційні дози та індекси небезпеки (HQ), вести документацію щодо дій у разі перевищення допустимих рівнів. Також обов'язковими є:

- регулярне тестування вентиляційних систем;

- використання сертифікованих ЗІЗ;
- участь персоналу у програмі медичного нагляду;
- нотифікація про використання речовини з високим рівнем ризику до відповідних державних органів.

Українські норми переважно зосереджені на встановленні граничних концентрацій, проте поки що не містять жорсткої вимоги щодо регулярної аналітичної оцінки ризику на основі дозового навантаження, як це передбачено у практиці ЄС (наприклад, через розрахунок LADD та HQ). Крім того, системи внутрішнього контролю та аудиту охорони праці в Україні менш формалізовані, ніж у країнах Західної Європи, де практикується інтеграція норм ISO 45001:2018 у діяльність навіть невеликих лабораторій [6].

Тобто у контексті гармонізації нормативної бази, доцільним є подальше наближення українських стандартів до європейських не лише за кількісними критеріями (ГДК, OEL), а й за змістовними підходами до оцінки та управління професійними ризиками, зокрема – у роботі з канцерогенними сполуками, такими як формальдегід [8].

ВИСНОВКИ

Здійснення екологічного моніторингу атмосферного повітря, зокрема дослідження вмісту формальдегіду, є не лише науково-методичним, а й професійно небезпечним видом діяльності. Формальдегід – високотоксична речовина, яка належить до 2 класу небезпеки, чинить подразнювальну, алергенну та канцерогенну дію, а тому вимагає особливо обережного поводження. Присутність формальдегіду в атмосферному повітрі створює загрозу не лише для населення, а й для фахівців, які безпосередньо працюють з пробами повітря, реагентами, лабораторним обладнанням.

У процесі аналізу було виявлено широкий спектр небезпечних та шкідливих виробничих факторів: хімічні (випари реактивів, пари формальдегіду), фізичні (робота з обладнанням під напругою, експозиція до ультрафіолету або високої температури), метеорологічні (робота на відкритому повітрі в спекотний або вологий період), психофізіологічні (напруження уваги, ризик помилок при роботі з концентраціями).

Для мінімізації ризиків рекомендовано впровадження комплексу профілактичних заходів: застосування засобів індивідуального захисту (респіратори з фільтрами для органічних парів, захисні рукавички, окуляри), забезпечення витяжної вентиляції в лабораторії, інструктажів та навчання персоналу, контроль технічного стану приладів, а також планування маршруту польових робіт із урахуванням санітарних зон. Не менш важливим аспектом є дотримання вимог законодавства України щодо безпеки праці з токсичними речовинами та забезпечення працівників відповідними сертифікованими ЗІЗ.

Особливої уваги заслуговує порівняльний аналіз українських вимог охорони праці з європейськими стандартами. У країнах ЄС запроваджено жорсткіші граничні концентрації формальдегіду в повітрі робочої зони, обов'язкове документування оцінки ризику, медичний нагляд та нотифікацію

використання канцерогенів. Цей підхід свідчить про високий рівень культури безпеки праці, до якого прагне і Україна. Врахування міжнародного досвіду дозволяє удосконалити вітчизняну систему охорони праці та підвищити рівень захисту працівників, що виконують важливі завдання з контролю стану довкілля.

Таким чином, інтеграція заходів безпеки на всіх етапах дослідження – від польових відборів до лабораторного аналізу – є запорукою не лише професійної ефективності, а й особистого захисту виконавців екологічного моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : Наказ МОЗ України від 14.01.2020 № 52 : станом на 19 черв. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text> (дата звернення: 11.05.2025).
2. Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій : Наказ МОЗ України від 21.05.2007 № 246 : станом на 29 січ. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0846-07#Text> (дата звернення: 11.05.2025).
3. Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) та Переліку робіт з підвищеною небезпекою : Наказ Держ. ком. України з нагляду за охорон. пр. від 26.01.2005 № 15 : станом на 25 жовт. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text> (дата звернення: 11.05.2025).
4. Про затвердження державних санітарних норм і правил "Організація роботи лабораторій при дослідженні матеріалу, що містить біологічні патогенні агенти I-IV груп патогенності молекулярно-генетичними методами" : Наказ МОЗ України від 24.01.2008 № 26 : станом на 8 квіт. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0088-08#Text> (дата звернення: 11.05.2025).
5. Державні санітарні правила і норми щодо роботи з хімічними речовинами (ДСанПіН 8.8.1.002-98).
6. Health and safety management systems - HSE. HSE: Information about health and safety at work. URL: <https://www.hse.gov.uk/managing/management-system/iso45001.htm> (date of access: 13.05.2025).

7. Regulation - 1272/2008 - EN - clp regulation - EUR-Lex. EUR-Lex – Access to European Union law – choose your language. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/1272/oj/eng> (date of access: 13.05.2025).
8. Occupational exposure limits - ECHA. Homepage - ECHA. URL: <https://echa.europa.eu/oel> (date of access: 13.05.2025).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведене дослідження дозволило комплексно охарактеризувати рівень забруднення атмосферного повітря міста Миколаєва формальдегідом, виявити динаміку його концентрацій упродовж останнього десятиліття (2015–2024 рр.), оцінити екологічні та медико-біологічні наслідки впливу даної сполуки на людину, тваринний і рослинний світ, а також розглянути чинну законодавчу та нормативну базу щодо контролю за якістю повітря.

На основі даних Миколаївського обласного центру з гідрометеорології встановлено, що середньомісячні концентрації формальдегіду систематично перевищують гранично допустимий рівень – 0,003 мг/м³, подекуди в 5–10 разів. Особливо високі показники фіксувалися в літній період, що пов'язано з підвищенням температур, інтенсифікацією фотохімічних процесів та активною діяльністю транспорту й промисловості. Найвищі середньорічні концентрації зафіксовані у 2019 році, натомість у 2024 році простежується тенденція до зниження рівня забруднення, хоча й не до нормативно безпечних меж.

Проведений аналіз літературних джерел засвідчив, що формальдегід є небезпечною речовиною, що має токсичні, алергенні та канцерогенні властивості. Його хронічна дія призводить до уражень дихальної системи, розвитку алергічних та онкологічних захворювань. Окрім того, негативний вплив формальдегіду проявляється на рівні екосистем – пошкодження тканин рослин, пригнічення фотосинтезу, токсична дія на тварин.

Оцінка нормативної та законодавчої бази показала, що в Україні існує достатньо сформована система гігієнічного регламентування якості атмосферного повітря, проте ефективність її реалізації на практиці залежить від якості моніторингових даних, належного функціонування стаціонарних постів, дотримання промисловими об'єктами екологічних норм та контролю з боку

держави. Особливої уваги заслуговує необхідність посилення оцінки канцерогенного ризику для населення з боку санітарних та медичних установ.

Отже, результати дослідження підтверджують актуальність проблеми забруднення повітря формальдегідом у Миколаєві та вказують на потребу у системному підході до її вирішення, що поєднує екологічний контроль, технічні заходи зменшення викидів, підвищення обізнаності населення та міжвідомчу співпрацю.

У контексті виявленого стійкого перевищення гранично допустимих концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва та встановлених екологічних і медико-біологічних ризиків, доцільним є впровадження комплексу рекомендацій, спрямованих на зниження рівня забруднення та захист здоров'я населення.

По-перше, необхідно забезпечити стабільну роботу автоматизованих постів моніторингу з регулярною передачею даних до єдиної національної системи контролю якості повітря. Розширення мережі спостережень, зокрема в густозаселених районах, дозволить оперативно фіксувати концентрації забруднюючих речовин і виявляти локальні джерела викидів.

По-друге, рекомендується провести екологічний аудит промислових підприємств і транспортної інфраструктури з метою виявлення основних джерел викидів формальдегіду. На основі результатів аудиту слід вжити заходів з модернізації обладнання, впровадження фільтраційних систем, зміни сировинних компонентів або переходу на менш токсичні технології.

Важливим заходом є збільшення площі зелених насаджень у межах міста, зокрема висадження дерев та кущів, здатних поглинати формальдегід (наприклад, тополя, береза, туя, ялівець). Зелені буферні зони можуть знижувати концентрацію забрудників та сприяти покращенню мікроклімату.

Рекомендовано посилити просвітницьку роботу серед населення щодо джерел формальдегіду у побуті (нові меблі, ламінат, текстиль, побутова хімія) та

способів зменшення впливу – регулярне провітрювання, зменшення температури в приміщеннях, вибір сертифікованих товарів.

Також доцільним є внесення змін до місцевих програм з охорони атмосферного повітря, з урахуванням специфіки формальдегіду як речовини, що має не лише токсичний, а й канцерогенний вплив. Рекомендується створити міський план дій із контролю за забрудненням повітря, включаючи проміжні індикатори досягнення екологічних цілей.

Науково обґрунтовані підходи до моніторингу, управління ризиками та нормативного регулювання дозволять не лише знизити рівень забруднення формальдегідом, а й покращити загальний стан довкілля у місті Миколаєві та зменшити вплив небезпечних речовин на здоров'я населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Звіти Міської ради про стан атмосферного повітря у місті Миколаїв в період з 2015 по 2024 роки.
2. Карта моніторингу якості повітря [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eco-city.org.ua/> (дата звернення: 04.02.2025).
3. Формальдегід // Фармацевтична енциклопедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/423/formaldegid> (дата звернення: 04.02.2025).
4. Маджд С. М. Екологічні виклики сталому розвитку суспільства в умовах військових дій // Актуальні проблеми, шляхи та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоєкології та фітомеліорації: III Міжнар. наук.-практ. конф., 21 вересня 2023 р. – Біла Церква, 2023. – С. 34–36.
5. Природа та війна: як російська агресія вплинула на довкілля // Слово і Діло [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2022/11/08/infografika/suspilstvo/pryroda-ta-vijna-yak-rosijska-ahresiya-vplynula-dovkillya> (дата звернення: 10.02.2025).
6. Природа та війна: як військове вторгнення Росії впливає на довкілля України // Екодія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/pryroda-ta-vijna.html> (дата звернення: 10.02.2025).
7. Динаміка забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва // Шифр «Моя атмосфера». – Харків, 2020/2021. – С. 11–16. – Режим доступу: <http://surl.li/rrosg>
8. Grynychshyn N. N. Якість атмосферного повітря за вмістом твердих мікрочастинок (РМ 2,5) у містах України в умовах карантину та воєнного стану // Вісник Львівського державного університету безпеки

- життєдіяльності. – 2023. – Вип. 27. – С. 6–15. – DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.01>
9. Квітко А. Що з повітрям у Миколаєві та як формальдегід впливає на здоров'я? Пояснюємо // НикВести [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nikvesti.com/articles/problema-zabrudnennya-povitrya-formaldegidom-mykolaiv-pokrashchennya-povitrya-2024> (дата звернення: 17.02.2025).
10. IQAir. 2023 World Air Quality Report [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iqair.com/world-air-quality-report> (дата звернення: 18.02.2025).
11. Air pollution clears in northern Italy after coronavirus lockdown, satellite shows // Reuters [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.reuters.com/article/us-health-coronavirus-italy-pollution/air-pollution-clears-in-northern-italy-after-coronavirus-lockdown-satellite-shows-idUSKBN2102X4> (дата звернення: 18.02.2025).
12. Європейські зелені виміри : навч. посіб. / О. П. Мітрясова, В. М. Смирнов, Р. Т. Марійчук, В. А. Чвир ; за ред. О. П. Мітрясової. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2024. – 474 с.
13. Екологічні науки : наук.-практ. журн. / Голов. ред. О. І. Бондар. – К. : ДЕА, 2018. – № 4(23). – 160 с.
14. Що потрібно знати про формальдегід // Екоклуб – природоохоронна громадська організація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecoclubrivne.org/formaldehyde-facts/> (дата звернення: 20.04.2025).
15. Суха Н., Григор'єва Л., Алексєєва А. Індикативні вимірювання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва // Проблеми хімії та сталого розвитку. – 2022. – № 2. – С. 69–76. – DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-9>
16. Доценко Л. В., Демиденко А. С. Порівняльний аналіз методів визначення рівня забруднення атмосферного повітря // Екологічна безпека. – 2014. –

- Вип. 2. – С. 71–74. – Режим доступу:
http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez_2014_2_14
17. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97#Text> (дата звернення: 28.02.2025).
18. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : Наказ МОЗ України від 14.01.2020 № 52 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text> (дата звернення: 28.02.2025).
19. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Полімерні та полімервмісні матеріали, вироби і конструкції, що застосовуються у будівництві та виробництві меблів. Гігієнічні вимоги" : Наказ МОЗ України від 29.12.2012 № 1139 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0087-13#Text> (дата звернення: 28.02.2025).
20. National Research Council et al. Formaldehyde – an assessment of its health effects. – 1980.
21. Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. – NASA, 1989. – Режим доступу:
<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19930073077/downloads/19930073077.pdf>
(дата звернення: 04.03.2025).
22. Тарабан Є. В. Аналіз заходів зі зменшення канцерогенного ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря формальдегідом. – 2020.

- 23.Сніжко С. І., Шевченко О. Г., Данілова Н. О. Оцінка сучасного рівня та тенденцій забруднення формальдегідом атмосферного повітря міст України // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – Вип. 15. – С. 5–15.
- 24.Savchuk S., Kalynych I., Prodanets I. Creation of ZAKPOS active network reference stations for Transcarpathian Region of Ukraine // Int. Symp. Global Navigation Satellite Systems, Spacebased and Ground-based Augmentation Systems and Applications, Berlin, 11–14 November 2008. – EUPOS Presentations.
- 25.Якість повітря у Миколаївській області онлайн: карта моніторингу якості повітря – SaveEcoBot [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.saveecobot.com/maps/mykolaivska-oblast> (дата звернення: 11.03.2025).
- 26.Khoziainova, O., Mitryasova, O. Formaldehyde Atmospheric Air Pollution in Mykolaiv City Access to Water During Armed conflicts: Environmental and Humanitarian challenges // Proceedings of the International Conference «European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects», June 5–7, 2025, Mykolaiv. Mykolaiv : PMBSNU, 2025. P. 37. ISBN 978-617-8176-45-7 <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/2803>

ДОДАТКИ

Таблиця 1

Стан атмосферного повітря м. Миколаєва за 2015-2024 роки-2024 роки

ГДК, мг/м ³	Середньомісячні концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі, мг/м ³											
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
2015 рік												
0,003	0,009	0,005 – 0,010	0,006 – 0,013	0,009 – 0,014	0,012 – 0,025	0, 0168 – 0,0309	0,012 – 0,024	0,012 – 0,018	0,013	0,008- 0,016	0,007- 0,016	0,004 – 0,012
2016 рік												
0,003	0,004 – 0,010	0,011	0,007 – 0,016	0,008- 0,019	0,008 - 0,020	0,007 - 0,016	0,012- 0,022	0,011- 0,020	0,010- 0,016	0,011	0,007 - 0,013	0,006 - 0,011
2017 рік												
0,003	0,006 – 0,009	0,004 – 0,006	0,008 – 0,013	0,007 – 0,014	0,009 – 0,016	0,017 – 0,025	0,011 – 0,023	0,010 – 0,017	0,011 – 0,019	0,011 – 0,019	0,010 – 0,017	0,011 – 0,019
2018 рік												
0,003	0,007 – 0,012	0,007 – 0,011	0,009 – 0,015	0,010 – 0,017	0,012 – 0,021	0,013 – 0,021	0,014 – 0,022	0,010 – 0,017	0,011 – 0,019	0,011 – 0,020	0,009 – 0,016	0,010 – 0,016
2019 рік												
0,003	0,009 – 0,014	0,012 – 0,018	0,016– 0,021	0,016– 0,020	0,016- 0,024	0,016- 0,025	0,018- 0,027	0,018- 0,030	0,014- 0,022	0,013- 0,022	0,013- 0,021	0,008- 0,012
2020 рік												
0,003	0,010– 0,015	0,009- 0,014	0,010- 0,015	0,01- 0,013	0,007- 0,01	0,11- 0,015	0,013- 0,018	0,013- 0,016	0,012- 0,017	0,014- 0,018	0,012- 0,016	0,011- 0,016
2021 рік												
0,003	0,013– 0,018	0,009- 0,012	0,014- 0,017	0,009- 0,013	0,009- 0,014	0,008- 0,009	0,011- 0,017	0,011- 0,013	0,009- 0,012	0,011- 0,015	0,013- 0,014	0,011- 0,013

2022 рік												
0,003	0,008– 0,011	0,009– 0,012	0,017– 0,018	0,009– 0,010	0,014– 0,019	0,015 - 0,019	0,018– 0,021	0,015– 0,018	0,013– 0,016	0,012– 0,014	0,012– 0,020	0,011– 0,014
2023 рік												
0,003	0,012– 0,015	0,011– 0,014	0,011– 0,015	0,013– 0,017	0,011– 0,012	0,014– 0,017	0,014– 0,017	0,014– 0,019	0,015– 0,019	0,011– 0,015	0,014– 0,020	0,013– 0,016
2024 рік												
0,003	0,010– 0,012	0,010– 0,012	0,005– 0,007	0,007– 0,008	0,006– 0,007	0,007– 0,008	0,008– 0,010	0,010– 0,011	0,009– 0,010	0,010– 0,011	0,009– 0,010	0,008– 0,009