

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**До захисту допустити:
Зав. кафедри**

«__» _____ 2020 р.

Кваліфікаційна робота
за освітнім ступенем «Магістр» на тему:
«Порівняльний аналіз даних систем моніторингу атмосферного повітря»

Студента економіко-правового факультету
спеціальності «Екологія»
освітнього ступеня «Магістр»
Куталовського Руслана Вікторовича
Науковий керівник:
Пастернак Олена Миколаївна, к. хім. н.,
доцент кафедри раціонального
природокористування та охорони
навколишнього середовища
Рецензент:
Морева Вікторія Володимирівна, к.х.н.,
доцент, доцент кафедри екологічного
менеджменту ДонДУУ

Кваліфікаційна робота захищена
з оцінкою _____
Секретар ЕК _____
«__» _____ 2020 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ СКЛАДУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА СКЛАДОВІ ЕКОСИСТЕМИ.....	6
1.1. Атмосферні газоподібні речовини та аерозольні частинки, які впливають на клімат та погоду.....	6
1.2. Взаємодія поллютантів атмосфери з природними та антропогенними екосистемами.....	13
1.3. Вплив на здоров'я людини та соціальні аспекти життя.....	20
Висновки до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	30
2.1. Інструментальні методи вимірювання параметрів атмосферного повітря	30
2.2. Нормування якості повітря населених пунктів.....	41
2.3. Інтегральні показники якості атмосферного повітря.....	47
Висновки до розділу 2.....	59
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	60
3.1. Розрахунок індексу забруднення атмосферного повітря монопрофільного міста.....	60
3.2. Оцінка якості атмосферного повітря на межі санітарно-захисних зон підприємств.....	71
3.3. Порівняння інтегральних індексів якості атмосферного повітря м. Маріуполь.....	75
Висновки до розділу 3.....	82
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87

ВСТУП

Актуальність досліджуваної проблеми. Згідно даних Центральної геофізичної обсерваторії України (станом на 2019 р.) місто Маріуполь знаходиться на 1 місці в рейтингу міст з найбільш забрудненим повітрям. На рівень забруднення атмосфери в різних містах і регіонах впливають різні фактори, основні з яких викиди забруднювальних речовин та парникових газів від автотранспорту та промисловості. Загальний об'єм викидів від стаціонарних джерел в атмосферне повітря міста збільшується протягом 2017 – 2019 років. Серед стаціонарних джерел «забруднювачами» вважають підприємства металургійної галузі.

Географічне розташування Маріуполя обумовлює особливі кліматичні умови. Протягом року вводять режим несприятливих метеорологічних умов, який заважає розсіюванню шкідливих домішок в повітрі, так званий режим «смогу», який супроводжується перевищенням гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин в атмосфері.

В місті функціонує система моніторингу атмосферного повітря на двох рівнях (місцевому, регіональному), які фіксують концентрації основних забруднювальних речовин згідно переліку.

У зв'язку з розміщенням промислових об'єктів в межах міста актуальним залишається питання якості атмосферного повітря пов'язане з викидами промислових підприємств. Масштаби негативного впливу на атмосферне повітря регулюються та контролюються на всіх рівнях, але якість атмосферного повітря не покращується. Тривалі викиди забруднювальних речовин, чинять негативний вплив на здоров'я людини, на екологічну систему міста. Дослідження комплексної інтегральної оцінки рівня забруднення атмосферного повітря є актуальним, тому що саме цей показник використовуються в якості індикатора оцінки сталого розвитку міста.

Метою досліджень порівняння інтегральних показників якості атмосферного повітря міста.

Завдання магістерської роботи :

- узагальнити досвід впливу складу атмосферного повітря на глобальні зміни клімату;
- узагальнити вплив антропогенного забруднення атмосферного повітря на складові природних та антропогенних екосистем;
- провести аналіз контактних і дистанційних методів вивчення якості атмосферного повітря; проаналізувати методи оцінки рівня забруднення атмосферного повітря;
- вивчити інформаційні ресурси, оціночні критерії та узагальнюючі показники якості атмосферного повітря, які застосовуються в різних країнах;
- розрахувати індекс якості повітря м. Маріуполь при використанні даних регіональних та локальних систем моніторингу атмосферного повітря;
- провести порівняльний аналіз інтегральних показників якості атмосферного повітря.

Об'єктом дослідження атмосферне повітря монопрофільного міста.

Предметом досліджень індекси якості атмосферного повітря, згідно даних Автоматизованої системи моніторингу довкілля у Донецькій області, Департаменту екології та природних ресурсів Донецької області.

При написанні кваліфікаційної роботи було опрацьовано міжнародні та національні нормативно-правові акти, наукові публікації з даної тематики. Особливої уваги заслуговують праці: Ю. І. Посудін, О. О. Мислюк, С. В. Какарека, С. М. Соколов, доповіді про стан навколишнього природного середовища Донецької області, доповіді комітету з атмосферних наук та клімату, аналітичні звіти National Oceanic and Atmospheric Administration National Climatic Data Center, Environmental Protection Agency, European Environment Agency.

Методи дослідження: обробка та аналіз даних моніторингу атмосферного повітря проводились розрахунковими, статистичними та графічними методами.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що проведено порівняльний аналіз даних моніторингу атмосферного повітря за різними моделями індексу якості атмосферного повітря.

Апробація. Матеріали кваліфікаційної роботи були апробовані на Всеукраїнській науково-практичній заочній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Екологія, природокористування та охорона навколишнього середовища: прикладні аспекти» (Маріупольський державний університет, 25 травня 2020 р. м. Маріуполь); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Особливості інтеграції країн у світовий економічний та політико-правовий простір» (Маріупольський державний університет, 20 листопада 2020 року м. Маріуполь)

РОЗДІЛ 1

ВПЛИВ СКЛАДУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА СКЛАДОВІ ЕКОСИСТЕМ

1.1. Атмосферні газоподібні речовини та аерозольні частинки, які впливають на клімат та погоду

Глобальна людська популяція зросла з 6,1 до 7,1 мільярдів за 15 років XXI століття, за прогнозами, до кінця століття вона досягне 11,2 млрд. Довкілля змінюється прискореними темпами під впливом діяльності людства для забезпечення власних потреб. Промислова діяльність, що підтримує підвищення рівня життя, змінила кількість та якість товарів, змінюються джерела енергії та місця видобутку корисних копалин, атмосферні викиди. Зміни у сільськогосподарській практиці, урбанізації та інших антропогенних діях у відповідь на збільшення чисельності населення призвели до зміни земельного покриття та землекористування по всьому світу. В останні десятиліття цей період отримав назву «антропоцену», ери, коли людська діяльність чинить незворотний вплив на земну систему.

Зміна клімату є однією з найбільших екологічних проблем, що стоять сьогодні перед суспільством. Збільшення кількості в атмосфері парникових газів штучного та природного походження (карбон діоксид, метан, нітроген оксиди, сульфур оксид та інші сполуки) і аерозольних частинок внаслідок людської діяльності змінило клімат із глибокими наслідками для суспільства. За даними Всесвітньої метеорологічної організації (2019 р.) середня глобальна температура Землі обумовлена природним парниковим ефектом зросла на 1,1 °C з доіндустріальної ери (1880 – 1900 рр). В таблиці 1.1 наведено загальносвітовий сукупний річний показник аномалії температури суходолу та океану, сімнадцять найтепліших років з 1880 року відносяться до XXI століття.

Таблиця 1.1

Температурна аномалія (°C) найтепліших років [1]

рік	температурна аномалія, °C	рік	температурна аномалія, °C	рік	температурна аномалія, °C
2016	0,99	2014	0,74	2012	0,62
2019	0,95	2010	0,7	2003(2006)	0,61
2015	0,93	2013	0,66	2007	0,61
2017	0,91	2005	0,65	2002	0,60
2018	0,83	2009	0,63	2004(2011)	0,57

Незважаючи на важливість цієї тенденції, зміна середньої глобальної температури є лише одним із показників зміни клімату. Інші наслідки зміни клімату включають підвищення рівня моря, збільшення частоти сильних опадів та значні сезонні втрати льоду в Арктиці. Екстремальні кліматичні зміни, можуть спричинити великі витрати для економіку, посилити зміну клімату. Було підраховано, що за період 1980–2011 рр. посуха та спекотні хвилі коштують американській економіці загалом 210 млрд. доларів, а повені - 85 млрд. доларів [2]. Екстремальні кліматичні події також мають наслідки для глобальної продовольчої безпеки. Посуха в США в 2012 році призвела до зниження врожаю кукурудзи на 21 % порівняно з попередніми п'ятьма вологими роками, що призвело до зростання ціни на кукурудзу на 54 % [3]. Наведені дані підкреслюють той факт, що регіональний вплив на клімат має глобальний вплив на глобальну економіку.

Зміни температури (таблиця 1.1.) зумовлені збільшенням викидів парникових газів, включаючи карбон діоксид, метан, нітроген оксиди та озон. Парникові гази поглинають інфрачервоне випромінювання, і збільшення їхнього вмісту в приземних шарах атмосфери внаслідок людської діяльності спричинило порушення теплового балансу атмосфери, що називається радіаційним впливом. Радіаційний вплив порушення енергетичного балансу системи Земля – атмосфера, що відбувається під впливом парникових газів

або зміни в випромінюванні Сонця. Позитивний радіаційний вплив має тенденцію до нагрівання поверхні, а негативний до охолодження поверхні.

Аерозольні частинки розсіюються і поглинають сонячне випромінювання, надаючи прямий вплив на клімат. Аерозольні частинки також мають опосередкований вплив на клімат через свій вплив на хмари, що може призвести або до потепління, або до охолодження кліматичної системи, хоча загальний глобальний вплив – охолодження.

Зміни клімату можуть вплинути на екосистеми, що призведе до змін викидів газів і частинок в атмосферу [4, 5]. Яскравим прикладом є Арктика, яка пережила найбільше потепління регіонів з доіндустріальної ери. Продовження потепління в Арктиці може призвести до збільшення викидів метану з вічної мерзлоти, що буде безпосередньо змінювати кліматичну систему, оскільки метан є парниковим газом. Збільшення атмосферного метану призведе до збільшення тропосферного озону та водяної пари стратосфери, які також є парниковими газами і відіграють важливу роль у хімії тропосфери та стратосфери, відповідно [6, 7]. Під час останнього льодовикового періоду концентрація атмосферного пилу була в два-п'ять разів вищою, ніж в міжльодовиковий період [8]. Крім того, пил, чорне вугілля (сажа) та органічний вуглець, що осідає на снігу та льодах, зменшують альbedo, що призводить до потепління поверхні та швидшого танення [9].

Зміни клімату впливають на погодні умови, а також на міграцію забруднення, що в свою чергу вплине на якість повітря. Зміни в структурі та інтенсивності конвекції впливають на забруднення верхньої тропосфери та нижньої стратосфери. Подібні зміни також впливають на частоту блискавок, які є важливим джерелом NO_x [10]. Зміни концентрації NO_x матимуть домінуючий вплив на кількість озону у верхній тропосфері, де озон найбільше впливає на клімат.

Існує також значна регіональна та сезонна мінливість радіаційного впливу парникових газів [11, 12]. Було висловлено припущення, що контроль над кількістю короткоживучих забруднень клімату, які живуть в атмосфері

менше 20 років, може забезпечити зменшення глобальне потепління. В роботі [13] показано, що контроль концентрації метану та карбон діоксиду може зменшити середнє глобальне потепління приблизно до 0,5 °C до 2050 року. Початкова увага була зосереджена на метані, тропосферному озоні та карбон оксиді. Крім того, метан є попередником озону тропосфери, а озон і карбон оксиді – забруднення повітря. Зменшення атмосферного надлишку цих короткочасних забруднень було би корисно для покращення якості повітря.

Тверді частинки – також відомі як частки атмосферних аерозолів, атмосферні тверді частинки, тверді частинки або зважені тверді частинки (ТЧ або РМ) – є мікроскопічними частинками з твердої або рідкої речовини зваженої в повітрі. Термін аерозоль зазвичай відноситься до суміші твердих частинок/повітря, а не тільки до твердих частинок. Джерела твердих частинок можуть бути природними або антропогенними. Вони впливають на клімат та опади, що негативно позначається на здоров'ї людини, крім прямого вдихання.

Діаграма (рис.1.1) показує типи та розподіл розмірів атмосферних твердих частинок у мікрометрах. Типи атмосферних частинок включають зважені тверді частинки; грубі та респірабельні частки; інгаляційна грубі частинки, позначено ТЧ10, які є грубими частинками з діаметром 10 мікрометрів (мкм) або менше; дрібні частинки, позначені ТЧ2,5, діаметром 2,5 мкм або менше; кіптява.

Моделювання, супутникове дистанційне зондування, лабораторні та польові вимірювання протягом останніх двох десятиліть зосереджувались на розумінні впливу аерозольних частинок на хмари та глобальний клімат. Протягом цього часу деякі наукові прогалини були усунені, і були виявлені додаткові процеси, які все ще не мають кількісної оцінки. Як і у випадку з багатьма складними системами на проміжних етапах розуміння, цей прогрес ще не зменшив загальну величину невизначеності, залишивши серйозні недоліки у спроможності проектувати майбутній клімат [14]. Джерело невизначеності полягає у нерозумінні природних та антропогенних джерел глобальних аерозольних частинок, їх синергії та хімічних перетворень, які

впливають на те, як частинки поглинають та розсіюють світло, а також як частинки забирають воду та їх здатність служити центрами хмари та льоду [15, 16, 17].

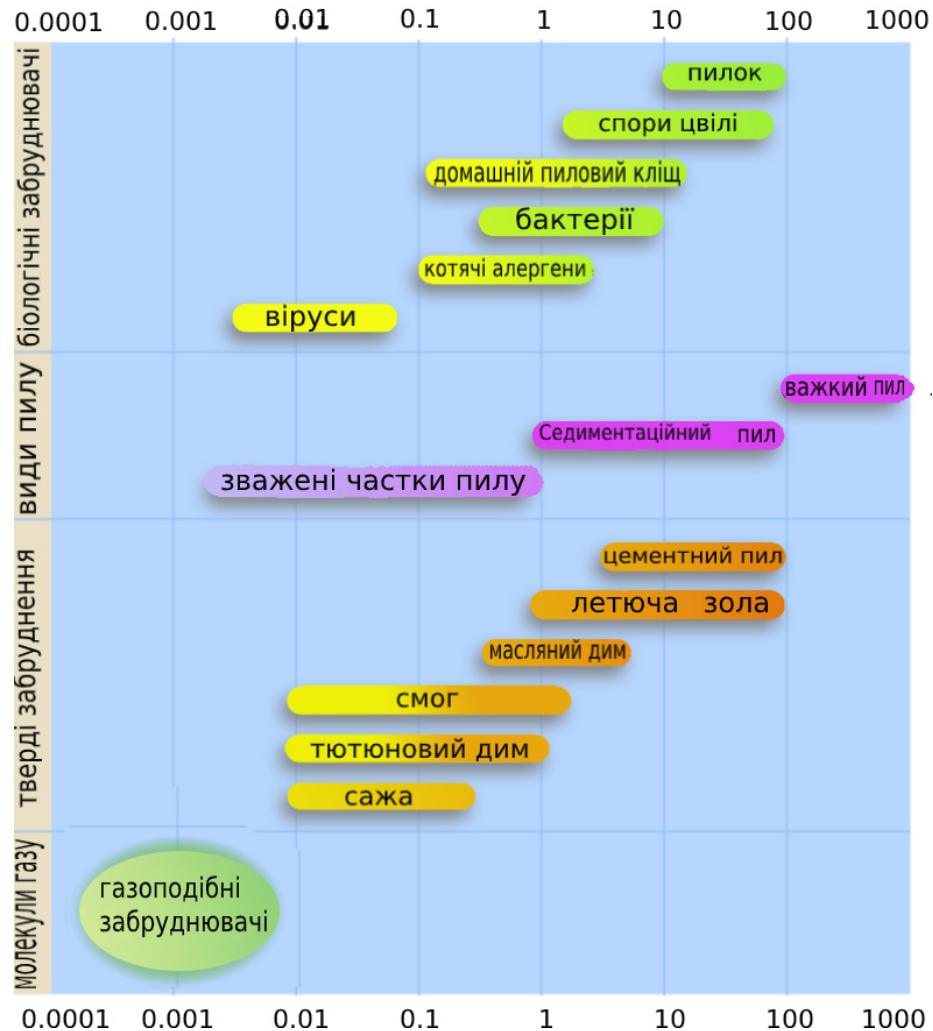


Рис. 1.1. Типи та розподіл розмірів атмосферних твердих частинок у мікрометрах [18].

В роботі [19] показано, що частинки аерозолі викликають зміни на місцевому рівні, які не мають відбиття в глобальному масштабі, такі як вплив на азіатський літній мусон, характер опадів у Південно-Східній Азії, мінливість Північної Атлантики, еволюція тропічних циклонів та активізація опадів та посилення опадів. Змінювана чисельність атмосферних частинок над Європою та Північною Америкою пов'язана зі змінами клімату в цих регіонах [20, 21]. В роботі [22] підраховано, що за період 1970 – 1990 рр. атмосферні

частинки призводили до середньорічного охолодження центральних та східних частин Сполучених Штатів на $0,5 - 1,0$ °C, компенсуючи частину потепління, яке викликане парниковими газами, та середньорічне зменшення опадів $0,2$ мм/добу вздовж східного узбережжя.

В роботі [23] показано, що підвищення концентрації антропогенних аерозольних частинок може змінити характер дощів, сприяючи посухам. Велика кількість антропогенних аерозольних частинок над Азією затримує настання літніх мусонів і просторово змінює схему опадів у Південно-Східній Азії [24, 25, 26]. Запропоновано також взаємодію аерозольних частинок і хмар для модуляції мінливості Північної Атлантики [27, 28], а також Тихоокеанського десятирічного коливання. Спалахи пилу в Сахарі можуть впливати на організацію та еволюцію тропічних циклонів.

Непряний вплив аерозольних частинок на клімат та погоду залежить від мікрофізичних властивостей частинок. Збільшення ядер конденсації хмар призводить до більшої концентрації менших крапель хмари, що збільшує відбиття сонячної радіації та зменшує поверхневий нагрів. Частинки також змінюють ефективність опадів хмар, зменшуючи швидкість, з якою хмарні краплі злипаються в краплі дощу, що призводить до зменшення утворень дощу та більшого часу існування хмар. Хоча деякі модельні дослідження показали, що атмосферні частинки можуть пригнічувати атмосферні опади, інші дослідження демонструють незначний вплив від частинок і пояснювали цю відсутність впливу змінами в метеорології. Інші дослідження показали, що частинки, які утворюються під час спалювання біомаси, активізують конвекцію та посилюють утворення потужних вітрів. Пил та біочастинки можуть змінити мікрофізику хмар, сприяючи утворенню льоду, що, в свою чергу, може змінити ефективність опадів хмар. Діапазон змін хмарності від модельних досліджень підкреслює недостатнє розуміння впливу складу та розміру частинок на взаємозв'язок між складом атмосфери, кліматом та погодою. Низький рівень обґрунтованості обертається великою

невизначеністю наслідків геоінженерії шляхом навмисного введення частинок у морські хмари.

Зміни клімату, починаючи з доіндустріальної ери, були пов'язані зі зміною частоти екстремальних погодних явищ, що спричиняє соціальні витрати. Можна оцінити підвищену ймовірність виникнення екстремальних подій, таких як урагани, спекотні хвилі, рясні опади, тропічних та наземних тайфунів, повені та посухи, через зміну складу атмосфери [29].

Прогнозується, що у майбутньому збільшаться ймовірності хвиль спеки в західній частині Північної Америки та Центральній Азії, спалахів холоду у східній частині Північної Америки та посух у центральній частині Європи та Центральній Азії. Було підраховано, що в 2003 році в Європі було понад 70000 смертей у порівнянні з контрольним періодом за п'ять років до цього через сильну спеку того року. Змінна атмосфера, зіграла свою роль у сильній спеці на південному заході США в 2013 році, яка спричинила госпіталізацію, скасування польотів та смертельні пожежі [30].

Інформація про мікро та макроскладові атмосферного повітря відіграли ключову роль у наданні інформації для розробки первинного Монреальського протоколу, а також інформації, що призвела до його поправок, які розширили набір речовин, що руйнують озоновий шар, і прискорили терміни їх поступового припинення. Зростаючі тенденції в атмосферних концентраціях хлорфторвуглеводнів змінилися у період 1994 – 2002 рр. у відповідь на ці міжнародні заходи контролю. Науково обґрунтовано, що зменшення атмосферних концентрацій хлорфторвуглеводнів, дозволить запобігти ряду несприятливих наслідків, включаючи мільйони смертей від раку шкіри, й антарктична озонова діра зменшується [31]. Контроль за викидами також приборкав внесок хлорфторвуглеводнів у глобальні зміни клімату, оскільки вони також є парниковими газами. За даними всесвітньої метеорологічної організації (2014), незважаючи на те, що вона рухається позитивним шляхом до зменшення, очікується, що антарктична озонова діра деякий час продовжуватиме впливати на регіональний клімат (наприклад, на

температуру, вітри та опади) у Південній півкулі. Результати досліджень складу атмосфери історично створили міцну основу для наукового розуміння проблем, що впливають на добробут людей та глобальне життя. Це розуміння дозволило виявити основні причини основних проблем та розвинути прогностичні можливості, що забезпечують науково обґрунтовані стратегії управління. Дослідження продовжують інформувати про постійну оцінку екологічних проблем, оскільки вони впливають на країни, де рівень викидів багатьох забруднювальних речовин швидко зростає.

1.2. Взаємодія полутантів атмосфери з природними та антропогенними екосистемами

Наземні та морські екосистеми підтримують суспільство шляхом забезпечення продуктами харчування та енергією та відіграють важливу соціально-культурну роль. Динамічні компоненти екосистеми Землі постійно реагують на мінливі умови, в тому числі в атмосфері. Екосистеми засвоюють з атмосфери елементи, що підтримують життя, такі як Карбон, Оксиген, Нітроген та мікроелементи, через процеси засвоєння в біогеохімічних циклах, в свою чергу, вносять вклад в атмосферу та впливають на клімат через викиди газів та частинок [32]. Як результат, зміни в складі атмосфери впливають на ключові екосистеми, включаючи задовільний стан лісів, сільськогосподарських угідь та океанів. Взаємодія з складовими атмосфери може впливати на якість екосистеми [33].

Природні екосистеми підтримують життя на Землі. Антропогенні екосистеми, такі як посіви, змінюються людьми для збільшення та модифікації виробництва їжі та енергії, і вони забезпечують їжу, енергію та інші основні та корисні послуги. Багато атмосферних сполук в газовій та твердих фазах осідають з атмосфери на поверхню Землі шляхом вологого або сухого осадження. Пошкодження екосистеми через осадження сполук Сульфуру та Нітрогену, що утворюються при спалюванні викопного палива, або очищення

земель для сільського господарства може спричинити каскад екологічних наслідків через газообмін частинками, які ініціюють сторонні хімічні реакції в атмосфері. Оскільки природні та антропогенні екосистеми настільки тісно пов'язані з атмосферою, атмосферні хімічні реакції та хімічний склад відіграють центральну роль у розумінні того, як екосистеми реагують на глобальні зміни та впливають на кліматичні зміни.

Хоча продуктивність екосистем переважно залежить від кліматичних умов та концентрації карбон діоксиду, хімічні реакції в атмосфері створюють сполуки, які також впливають на продуктивність екосистеми. Обмін реакційноздатним Нітрогеном, органічними та неорганічними сполуками між екосистемами та атмосферою може потенційно завдати шкоди екосистемам або принести їм користь, залежно від хімічної сполуки. Наприклад, такі окиснювачі, як приземний озон, пошкоджують тканини рослин, сповільнюють ріст. Озон може засвоюватися рослинами, знижуючи продуктивність природних лісових екосистем [34] та керованих екосистем, таких як агропромислові угіддя. Це може мати значний вплив на рослинництво: наприклад, одне дослідження підрахувало, що глобальні втрати врожаю зернових через вплив озону у 2000 р. становили від 11 до 18 млрд дол. [35].

Високий рівень озону пошкоджує клітини рослин, погіршуючи їх розмноження та зростання рослин, тим самим зменшуючи урожайність сільськогосподарських культур, ріст лісів та біорізноманіття. У багатьох районах центральної та південної Європи рослини піддаються ризику як результат впливу поточного рівня озону, який може змінити склад рослинних спільнот і змінити цвітіння та виробництво насіння у деяких видів [36].

Зміна кліматичних умов і збільшення у викидах вуглекислого газу та інших забруднювальних речовин такі як реакційноздатний нітроген, модифікують реакції рослинності на озон. Крім впливу зростання рослин, ці модифікатори впливають на кількість вмісту озону, зайнятого листям, змінюючи, таким чином, величину впливу на ріст рослин, урожайність культур та екосистему послуги.

Стандарти, встановлені ЄС щодо захисту рослинності з високих концентрацій озону 6(18) мг/(м³·годину), критичний рівень для лісів 10 мг/(м³·годину). На рис.1.2 наведено карту накопичення АОТ40 - сумарна (акумулятивна) кількість озону над граничною величиною 40 ppb (80 мкг/м³), АОТ40 інтегральна функція, де функція max дозволяє включати в розрахунок лише концентрації озону, які перевищують 40 ppb. Інтегрування виробляється за визначеним інтервалу часу, а саме, для періоду росту та тільки для денних годин з 8.00 до 20.00 годин (за центральноєвропейським часом). Інформація по Україні відсутня.

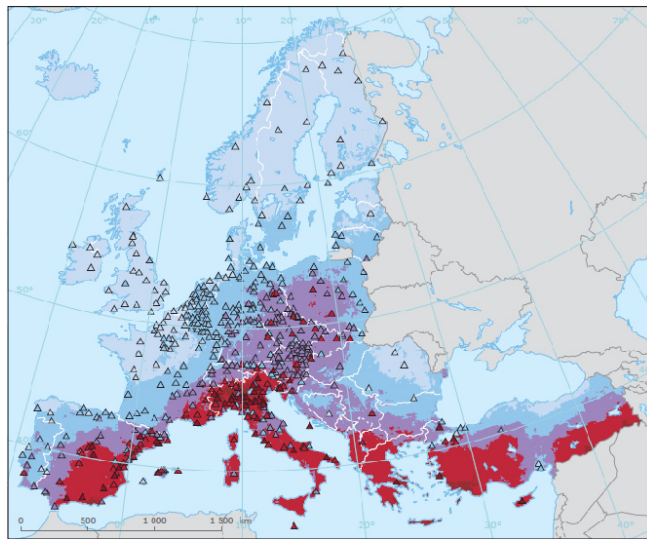


Рис. 1.2. Індикатор АОТ40 для рослинності сільськогосподарських районів за 2016 рік [36] (синій – червоний : min – max)

В 2000 року значення АОТ40 18000 мкг/(м³·годин) були перевищені у значній частині (приблизно 43 %) європейських сільськогосподарських районів, а в 2016 році приблизно на 15% усіх сільськогосподарських угідь.

Відповідно до сучасних наукових знань, так званий фітотоксичний ефект дози озону – це кращий показник шкоди озону на рослинність. Методологія оцінює кількість озону, що насправді потрапляє в рослину через пори на листках поверхні. Ця сума залежить від відкриття та закриття пор при різних умовах температури, вологості та інтенсивності світла. Втрати врожаю пшениці зменшились суттєво для АОТ40 між 1990 і 2010 роками; однак при використанні методики, пов'язаної з потоком, тенденція

набагато менша і незначна, що призводить до втрати врожаю сільськогосподарських культур близько 13-14% в Європі.

Такі поживні елементи, як Нітроген і Фосфор, що осідають на поверхні, можуть принести користь екосистемам, якщо тільки антропогенне забруднення не спричиняє надлишку, який може бути шкідливим, наприклад випадання кислотних дощів, евтрофікація водних систем. Підвищення концентрації Нітрогену також може змінити продуктивність екосистем, впливаючи на біологічне різноманіття, кругообіг поживних речовин і швидкість росту рослин. Атмосферне осадження мінерального пилу є важливим джерелом поживних речовин заліза та фосфору в багатьох регіонах відкритого океану. Відомо, що токсичні сполуки, наприклад, ртуть, депонуються в наземних та морських екосистемах. Хоча значна частина відкладень важких металів, таких як ртуть, свинець та кадмій, безпосередньо не впливає на продуктивність, вона може вплинути на якість виробленої харчової продукції.

Багато складових антропоєкосистем відіграють активну роль в атмосферних хімічних процесах через викиди газів і частинок, які можуть впливати як на склад тропосфери (леткі органічні сполуки) так і на стратосфери (нітроген оксид). Розуміння цього складного двостороннього обміну складовими між атмосферним резервуаром та екосистемами є необхідним для того, щоб визначити, як атмосферні фізико-хімічні процеси впливають на екосистеми. Наприклад, вважається, що органічні форми Карбону та Нітрогену, які окиснюються, реагують та термічно нестабільні, мають важливе значення для біогеохімічних циклів Карбону та Нітрогену в біосфері.

У багатьох регіонах світу елементний та речовинний склад атмосфери визначаються наземними та морськими екосистемами. Наземна рослинність виділяє значну кількість летких органічних сполук. Біологічно вироблені летких органічних сполук є ключовими факторами утворення тропосферного озону, і, залежно від шляху окиснення, продукти окиснення летких органічних

сполук утворюють або продукують вторинні органічні аерозольні частинки. Екосистеми виробляють багато видів біочастинок, починаючи від рослинних залишків, пилку, грибів та бактерій, які можуть окиснюватися (NO), і ці викиди становлять 15 – 25 % NO_x у атмосфері.

Концентрації нітроген оксиду зростали в індустріальну епоху завдяки застосуванню добрив в керованих екосистемах. За оцінками, виробництво продуктів харчування на 80 % збільшує утворення атмосферного нітроген оксиду. Спалення наземної рослинності, яке відбувається природним шляхом або спалюється людиною, може виділяти в атмосферу велику кількість нітроген оксидів, карбон оксиду та аерозольних частинок, а також впливає на клімат та якість повітря.

Забруднення повітря призводить до погіршення стану довкілля та впливає на природні екосистеми та біорізноманіття. Приземний озон може пошкодити сільськогосподарські культури, ліси та інша рослинність, погіршуючи їх ріст і впливаючи на біорізноманіття. Осадження сполук нітрогену може спричинити евтрофікацію, надлишок поживних речовин. Сполуки сульфуру та нітрогену підвищують рівень *pH*, тобто посилюють кислотність. Евтрофікація, підкислення можуть впливати на наземні та водні екосистеми, можуть привести до змін у видовому біорізноманітті та інтродукції нових видів.

Підкислення також може призвести до підвищення концентрацій токсичних металів у воді або ґрунтах, що збільшує ризик поглинання в харчовому ланцюзі. Токсичні метали та стійкі органічні сполуки, крім токсичності для довкілля, мають тенденцію до біоаккумуляції у тварин і рослин і до біомагніфікують, маючи на увазі, що концентрації в тканинах організмів збільшуються на послідовно вищих рівнях в харчовий ланцюг.

Подібно до наземних екосистем, океан є важливим природним джерелом багатьох газів і частинок, які можуть впливати на склад атмосфери. Морські викиди включають парникові гази (наприклад, нітроген оксид), галогени, леткі органічні сполуки, біочастинки, первинні органічні аерозольні частинки

карбону та сполуки Сульфуру, такі як диметилсульфід та органосульфати [37]. Зазвичай вважається, що викиди з морських екосистем менші за наземні, однак над океанами проводилося набагато менше вимірювань, тому невизначеність морських викидів залишається досить великою [38]. Оскільки ці викиди відбуваються у віддалених регіонах, на які не можуть сильно впливати наземні викиди, вони можуть мати важливий вплив на хімічний склад газової фази та утворення аерозолі в цих регіонах.

На екосистеми дедалі частіше впливають численні збурення та стресові фактори, включаючи зміни в землекористуванні, забруднення води та кліматичні зміни. Знищення середовища існування, конкуренція з боку інвазивних видів, нежиттєздатна експлуатація видів з метою отримання економічної вигоди та зміна клімату вже збільшили рівень вимирання та вплинули на ареали видів та міграційні структури [39]. Оскільки вплив забруднення повітря та відкладення поживних речовин та забруднювальних речовин може бути значним, терміново потрібно покращити розуміння взаємодії хімічного складу атмосфери на природні та керовані екосистеми.

Наявність прісної води є головним фактором для здоров'я людини, а також для виробництва їжі та енергії. У багатьох регіонах світу недостатньо опадів, а отже зрошення потрібно використовувати для поливу сільськогосподарських культур. В даний час 70 % світового споживання прісної води використовується для сільського господарства, а до середини століття очікується 20 % збільшення споживання води для сільського господарства. Збільшення попиту на прісну воду для сільського господарства та тваринництва разом із іншими видами використання, такими як виробництво енергії, суттєво додасть впливу на невідновлювані джерела підземних вод. Кругообіг води вже змінюється через зміни клімату Землі, зумовлені збільшенням концентрації парникових газів. Наприклад, кількість дощів, які випадають під час найсильніших 1 % штормів, зросла майже на 20 % за останні 50 років. У 2015 році відбулося десять погодних та

кліматичних катастроф із втратами на суму понад 1 мільярд доларів по кожній, включаючи посуху та повені.

Склад атмосфери відіграє ключову роль у впливі на кругообіг води, виконуючи роль каналу для утворення та транспортування аерозольних частинок, які діють як центри конденсації хмар. Динаміка атмосферного транспорту, утворення хмар, погода і процеси опадів відіграють певну роль у контролі надходженням прісної води на поверхню Землі.

Завдяки своїй здатності нагрівати або охолоджувати атмосферу та хмари атмосферні аерозольні частинки відіграють важливу роль у впливі на кількість, тип та місце розташування опадів. Існує припущення, що в регіонах з високим рівнем забруднення кількість опадів може бути зменшена через наявність занадто великої кількості ядер хмар, які утворюють краплі, достатньо малі, щоб стримувати утворення дощу. На відміну від них, деякі аерозольні частинки можуть утворювати лід у хмарах із змішаною фазою, що може призвести до збільшення кількості опадів.

Збільшення часток, які виконують роль ядер льоду, може мати пропорційно більший вплив на опади, ніж відповідні зміни в ядрах конденсації хмар, хоча це значною мірою залежить від термодинамічного та динамічного стану хмар, про які йде мова. Лише невелика частина наявної вологи в хмарах перетворюється на опади, які досягають поверхні. Аерозольні частинки можуть призвести до перерозподілу водних ресурсів з більш екстремальними подіями, такими як повені та посуха. Цей зсув означає менше води в регіонах, де водойми можуть захоплювати воду з більшим стоком в інших регіонах, що призводить до поганої якості води.

Таким чином загальний вплив аерозольних частинок на утворення та перерозподіл опадів є дуже невизначеним, що наголошує на необхідності вдосконалення розуміння джерел та властивостей аерозольних частинок, що впливають на опади.

1.3. Вплив на здоров'я людини та соціальні аспекти життя

Багато мікроскладових газів і частинок, що викидаються в атмосферу або утворюються в атмосфері, впливають на здоров'я людини. В роботах ХХ століття вже було зазначено, що забруднення повітря негативно впливає на фізичне та психічне здоров'я людини. Одним з найдраматичніших епізодів є Лондонський смог у 1952 року, який призвів до 4500 смертей під час епізоду, та у подальшому 13500 смертей.

Відома робота Evelyn J. «Fumifugum» датована 1661 роком, яка є однією з найстаріших робіт, які пов'язані з забрудненням повітря. В роботі описується проблема, пропонується рішення та засоби покращення повітря в Лондоні. В роботі описано «морське вугілля», яке отримало таку назву, тому що воно прибуло морем з Ньюкасла. При горінні він видавав жахливий запах через велику кількість сірки в його складі. При згорянні «морського вугілля» виділялись сульфур діоксид, карбон діоксид, нітроген оксиди, сажа і тверді частинки органічної речовини в атмосферу. Автор передбачає, що спалювання деревини, особливо ароматичної деревини, буде менш шкідливим для легких, і рекомендує перемістити деякі з найбільш забруднювальних галузей промисловості Лондона за межі столиці, зокрема, спалювання вапна і пивоваріння. Пропозиції актуальні для мов сьогодення, за винятком використання деревини.

За даними ВООЗ одна з восьми смертей на глобальному рівні в даний час пояснюється забрудненням зовнішнього та внутрішнього повітря разом, а дослідження 2014 року оцінює 3,3 мільйона передчасних смертей щорічно через забруднення атмосферного повітря у всьому світі [40]. Загальні витрати на вплив деяких забруднень повітря на здоров'я в США, за оцінками, становлять від 71 до 277 млрд. доларів щороку, причому більшість із них є наслідками шкідливого впливу на здоров'я та ранніх смертей. За даними ЕРА (2013 р.) діти особливо сприйнятливі до наслідків забруднення повітря через надмірне надходження у зв'язку з прискореним диханням і більшому часу,

який проводять на свіжому повітрі; вони також мають більш сприйнятливую метаболічну, імунну та легеневу системи.

Агентство з охорони навколишнього середовища визначило перелік небезпечних забруднень повітря, знайдених у приміщеннях та на відкритому повітрі, які, як відомо, є канцерогенними або викликають інші серйозні наслідки для здоров'я, починаючи від подразнення очей та шкіри та тих, що чинять вплив на репродуктивну, неврологічну та дихальну системи. Газоподібні забруднення – карбон оксид, нітроген оксиди та сульфур(IV) оксид, які безпосередньо викидаються в атмосферу (зокрема, при спалюванні викопного палива), спричиняють цілий ряд шкідливих наслідків для здоров'я. До них відноситься астма, кашель, серцево-судинний, серцевий та респіраторний стрес та смертність. Озон, який утворюється в результаті реакцій нітроген оксидів та летких органічних сполук у присутності сонячного світла, також має несприятливі наслідки для здоров'я (EPA, 2013), включаючи передчасну серцеву та дихальну смертність, збільшення кількості відвідувань лікарні, частоти та тяжкості астми, зниження розвитку легенів у дітей [WHO, 2013] та інші можливі наслідки для репродуктивного [41] та когнітивного здоров'я. Тверді частинки також є критерієм забруднення. Частинки мають широкий діапазон розмірів та хімічного складу в залежності від джерел та процесів видалення з атмосфери. Тверді частинки пов'язані з низкою наслідків для здоров'я, включаючи астму, серцево-легеневу хворобу, рак легенів, проблеми з репродуктивним здоров'ям (WHO, 2005), та збільшення смертності [42]. Недавні дослідження свідчать про зв'язок атмосферних частинок з нейродегенеративними захворюваннями, такими як хвороба Альцгеймера та Паркінсона, інсульт, аутизм [43]. Існує припущення, що частинки діаметром <100 нм можуть мати непропорційний вплив на здоров'я. Частинки можуть мати особливо несприятливий вплив на дітей, включаючи затруднення розвитку функції легенів. Задokumentовано загострення та збільшення частоти астми та запалення дихальних шляхів та підвищений ризик бронхіту та хрипів у дітей, а також запропоновано вплив на нервовий

розвиток у дітей. Недавні дослідження показали зв'язок між атмосферним вітром і хворобою Кавасакі (гострий системний васкуліт) в трьох країнах. Розуміння складу атмосферних частинок є ключовим для розуміння наслідків для здоров'я.

Вважається, що активні форми кисню відіграють ключову роль у запаленні легенів, окислювальному стресі, дисфункції судин, атеросклерозі та раку легенів [44]. Активні форми кисню включають вільні радикали, такі як гідроксид радикали, гідропероксильний радикал, супероксид аніон, пероксинітриди, гідроген пероксид та органічні пероксиди, і можуть з'являтися як у газовій, так і в аерозольній фазах.

Вплив підвищеного рівня забруднень повітря може відбуватися в приміщенні, де люди зазвичай проводять приблизно 90 % свого часу. Особливою проблемою у країнах, що розвиваються, є викиди газів і частинок, що спалюються під час процесів горіння, які використовуються для готування їжі та опалення [45].

Важко відокремити вплив газів і частинок на здоров'я людини, ймовірно, існує синергетичний ефект між газами та частинками; крім того, деякі сполуки знаходяться в двох фазах і рухаються між ними. Подальша складність досліджень виникає внаслідок того, що багато газів і частинок, що спричиняють значні наслідки для здоров'я, безпосередньо не виділяються, а утворюються внаслідок атмосферних хімічних реакцій. Без знань про природу та хімічні перетворення газів і частинок, а також про те, яким шляхом вони потрапляють, утворюються та змінюються в атмосфері неможливе надійне управління якістю повітря з метою мінімізації впливу на здоров'я людини.

Міжнародне агентство з дослідження раку (International Agency for Research on Cancer, IARC) у складі ВООЗ ООН відносять частинки в повітрі до 1 групи канцерогенів, тобто їх канцерогенна дія доведена. Тверді частинки є найбільш шкідливою формою забруднення повітря через їх здатність проникати глибоко в легені, кров і мозок, викликаючи проблеми зі здоров'ям, включаючи серцеві напади, респіраторні захворювання і передчасну смерть

[46]. В роботі [47] 2013 року приведені результати дослідження за участю 312944 чоловік в дев'яти європейських країнах, які показали, що не існує безпечного рівня твердих частинок і що при кожному збільшенні концентрації $ТЧ_{10}$ на 10 мкг/м^3 поява збільшення виникає рака легенів зростає на 22 %. Частинки меншого розміру $ТЧ_{2,5}$ особливо шкідливі: на 36 % збільшувалася кількість випадків раку легенів на 10 мкг/м^3 , оскільки вони можуть проникати глибше в легені. Вплив $ТЧ_{2,5}$ у всьому світі призвело до 4,1 мільйонів смертей від серцевих захворювань та інсульту, раку легенів, хронічних захворювань легенів і респіраторних інфекцій в 2016 році. В цілому, тверді частинки в навколишньому середовищі посідають шосте місце за значимістю серед факторів ризику передчасної смерті.

Погрози безпеці країни, які потенційно дестабілізують, можуть вплинути на військові чи дипломатичні місії, таким чином, викликати занепокоєння щодо національної безпеки. До урядових структур, зацікавлених у національній безпеці, належать військові, розвідувальні служби, міжнародний розвиток та дипломатичний корпус. Їх стурбованість є глобальною і включає, серед іншого, нестачу їжі та води, пандемічну хворобу, біженців, зіткнення з приводу ресурсів та руйнування викликані природними катаклізмами. Вони можуть посилюватися повільною деградацією навколишнього середовища через погану якість повітря або води, або вони можуть спричинити руйнування соціальної функції та управління внаслідок стихійних лих, таких як землетруси, цунамі, вулкани, повені чи урагани. Змінена атмосфера не тільки безпосередньо впливає на здоров'я людей, продуктивність сільського господарства та стан довкілля, але також суттєво сприяє зміні клімату. Зміна клімату може спричинити зміну водних ресурсів, а також частоту та силу екстремальних погодних явищ, таких як урагани, штормові сплески та хвилі спеки. Усі ці зміни можуть мати важливий вплив на національну та глобальну стабільність та безпеку. Дослідження атмосферного повітря можуть покращити достовірність кліматичних моделей, що може покращити здатність передбачати ці зміни.

Порушення наслідків Чорнобильської катастрофи вимагало точного хімічно-транспортного моделювання, а хімічні властивості бойових речовин визначатимуть їх деградацію та дисперсію. Важливо, щоб найкращі сучасні знання про атмосферне повітря були включені в оцінки складних питань національної безпеки, і оскільки виявляються нові дослідження, які є життєво важливими для розуміння національної безпеки, вони включаються як центральна частина досліджень хімічних процесів атмосфери.

Забруднення повітря продовжує надавати значний вплив на здоров'я європейського населення, зокрема в міських районах. Найбільш серйозні забруднювачі для здоров'я людини є тверді частки, нітроген діоксид та приземний рівень озону. Деякі групи населення більше страждають від забруднення повітря, ніж інші, оскільки вони є більш схильними до впливу забруднень довкілля, а саме літні люди, діти, люди з хронічними хворобами. Забруднення повітря має значні економічні наслідки, скорочуючи життя, збільшуючи медичні витрати та зниження продуктивності через втрачені робочі дні. Оцінки наслідків для здоров'я, які можна пов'язати з впливом забруднення повітря вказують, що ТЧ_{2,5} у 2016 р. відповідали за близько 412000 передчасних смертей [48] від довготривалого впливу в Європі (понад 41 країна), з яких близько 374000 були в ЄС-28. Передбачуваний вплив нітроген діоксиду та концентрації озону на населення в 41 європейській країні у 2016 р. близько 86100 передчасних смертей на рік, що майже в 5 разів менше реальних показників.

Енергетика та промисловість є основною частиною суспільного життя та розвитку. Світові енергетичні потреби постійно змінювались із збільшенням чисельності населення та вдосконаленням технологій. Джерела енергії, від біопалива до викопного палива до альтернативних видів енергії, розширились із збільшенням світового попиту на енергію. Розвідка та розробка джерел енергії зазвичай створює відходи в атмосфері, гідросфері, що погіршує людське та природне середовище. Крім того, виробництво енергії, особливо з використанням викопного палива, забруднює навколишнє

середовище, що надихає на розвиток систем, створених для отримання чистого повітря та чистої води. Після досвіду Лос-Анджелеса з фотохімічним смогом, суспільство зрозуміло, що продукти згоряння та інші хімічні речовини, що виділяються промисловістю, можуть швидко забруднювати повітря, роблячи його нездоровим, погіршує видимість, і загалом змінює міські та сільські екосистеми.

Контроль енергетичних та промислових викидів у поєднанні з дослідженнями атмосферних хімічних реакцій та процесів видалення дозволило суспільству очистити повітря у багатьох міських районах. Збільшення потреб у енергії призведе до збільшення вимог щодо контролю викидів газів та частинок від цих процесів.

Накопичення карбон діоксиду та метану з викопного палива є основним фактором, що сприяє змінам клімату (IPCC, 2014). Спостерігаються збільшені викиди метану та інших газів, таких як етан, а також підвищений рівень атмосферних поліциклічних ароматичних вуглеводнів поблизу добування сланцевого газу шляхом гідророзриву пласта.

Хімічна промисловість розробила технології, такі як синтетичні хлорфторвуглеводні, які спочатку виявились безпечними, але пізніше були пов'язані зі стратосферною втратою озону із пов'язаним із цим збільшенням раку шкіри, а також зі зміною клімату (IPCC, 2014). Дослідження в галузі складу атмосферного повітря повинні йти поруч з масштабами розвитку нових технологій в енергетичному секторі та інших галузях промисловості з метою найкращого захисту складових екосистем.

Екологічна справедливість описується ЕРА як «чесне ставлення та суттєва участь усіх людей незалежно від раси, кольору шкіри, національного походження чи доходу щодо розробки, впровадження та застосування екологічних законів, положень та політики». Систематична інтеграція поглядів усіх спільнот дасть змогу керувати системою Землі таким чином, щоб було вигідно для всіх її мешканців. Більш тісний зв'язок досліджень складу атмосферного повітря з тими, хто використовує інформацію та безпосередньо

постраждав від забруднення, зміцнить програму досліджень та зробить її більш корисною для громад.

Питання справедливого ставлення базується на тому, що соціальні наслідки зміни складу атмосфери, такі як кліматичні зміни, розподіляються неоднаково. Дослідження цих ефектів розподілу виявляють, що негативний вплив на довкілля непропорційно падає на населення з низьким рівнем доходу. Дослідження екологічної справедливості вивчають фізичні, соціальні, економічні та справедливі наслідки розподілу впливу, а не лише середні наслідки для всієї популяції. Дослідження складу атмосфери можуть сприяти кращому розумінню екологічної справедливості шляхом використання широко розповсюдженого моніторингу та моделювання для характеристики просторового розподілу забруднення та його наслідків, а також шляхом інтеграції цього аналізу із соціально-економічною характеристикою. Нерівний розподіл низької якості повітря повинен бути ключовою складовою оцінки майбутнього розвитку та зміни клімату.

Проблема заснована на зростаючому визнанні того, що залучення та інтеграція місцевих знань та перспектив є ключовою складовою сталого розвитку. Підходи мають на меті виявити та інтегрувати принципи та практики, що закладені у місцевому контексті та культурі, а не ті, що визначені більш глобально дослідницьким співтовариством. Наприклад, громади можуть знати про вплив погіршеної якості повітря на популяції та екосистеми, або про те, як місцеві дії змінюють викиди чи вплив, способами, не очевидними для дослідницького співтовариства [49]. Залучення громади може надати ключові знання про забруднення повітря в приміщеннях, на яке впливають індивідуальні або громадські практики паління, приготування їжі та пов'язаних з ними заходів. Знання корінних народів можуть також описати умови та практики, що регулюють вирубування лісів та спалення біомаси. Інтеграція наукових та громадських знань може забезпечити поліпшення якості життя обох спільнот та наукового розуміння складу атмосфери.

Щоб зрозуміти забруднення, вплив та реакцію на масштаби громади, а отже, сприяти досягненню, ключову інформацію можна знайти в неприродничих системах знань. Хоча спільні дослідження часто мотивовані генеруванням знань та науковою репутацією, такі переваги можуть бути не привабливими для учасників поза традиційним науковим співтовариством. Крім того, інновації та досягнення можна знайти в таких наукових напрямках, як психологія, соціологія та етика, які віддалені від хімічного складу атмосфери набагато більше, ніж типові, такі як моделювання стану стану навколишнього середовища.

Розвиток майже завжди пов'язаний з індустріалізацією, транспортуванням та розширенням антропогенної діяльності, яка забруднює повітря та воду, спричиняючи погіршення здоров'я людини та погані умови життя. Розуміння хімічних аспектів забруднення виявилось важливим для створення здорових та стійких спільнот у мінливому світі.

У вересні 2015 року Організація Об'єднаних Націй оприлюднила перелік 17 Цілей сталого розвитку (ЦУР), кожна з яких підтримується кількісними та якісними цілями, які мають бути досягнуті до 2030 року. Багато цілей були розроблені на основі складних геологічних наук загалом та атмосферних напрямків зокрема.

Дослідження забруднення атмосфери повинні відігравати важливу роль у сталому розвитку шляхом мінімізації екологічних ризиків від впливу, підготовки до екстремальних подій, демонстрації соціальних шляхів із меншим впливом та за допомогою міжнародної співпраці.

Розуміння джерел, ролі та транспорту хімічних речовин в атмосфері може призвести до кращого виявлення небезпек та управління викидами (ціль 12) та зменшення кількості смертей та захворювань від небезпечних хімічних речовин та забруднення повітря (ціль 3). Забруднення повітря в приміщеннях є основною причиною смертності дітей до п'яти років, яку можна запобігти (ціль 3), небезпека якої зменшиться завдяки забезпеченню відновлюваною енергією (ціль 7).

Цілі сталого розвитку закликають зменшити вплив населення на екстремальні події, що часто пов'язано з бідністю (ціль 1), розвиток систем виробництва продуктів харчування, стійких до кліматичних змін (ціль 2), та посилення стійкості до кліматичних факторів небезпеки (ціль 13). Вони також сприяють управлінню національними та глобальними ризиками для здоров'я (ціль 3). Склад атмосфери може забезпечити розуміння того, як споживання енергії та сільськогосподарська діяльність впливають на забруднення атмосфери, суходолу, прибережних та океанічних вод.

Демонстрація соціальних шляхів із меншим впливом: краща якість повітря та безпечний громадський транспорт у містах (ціль 11), де зараз утворюються концентровані забруднювальні речовини; більший акцент на відновлюваній енергетиці та енергоефективності (ціль 7) та модернізації галузі для досягнення ефективності (ціль 9). Ці тенденції можуть бути включені в майбутні сценарії забруднень повітря та парникових газів, щоб продемонструвати екологічні витрати та переваги кожного курсу дій. Наукова характеристика системи Землі є частиною забезпечення «того, що люди скрізь мають відповідну інформацію та обізнаність щодо сталого розвитку та способу життя в гармонії з природою» (ціль 12).

Міжнародне співробітництво: для того, щоб наукові дослідження проходили в тандемі та були корисними для сталого розвитку, наукові партнерства повинні перетинати національні кордони, а вчені, практики та політики повинні інтегрувати свої різномірні форми знань. Прийняття рішень за участю (ціль 16), розширений обмін знаннями та розбудова потенціалу (ціль 17) – все це частина міжнародних ініціатив.

Висновки до розділу 1

Огляд літературних джерел відбиває вплив змін складу атмосфери на нагальні суспільні проблеми, такі як клімат та погода, здоров'я людини, соціальні аспекти, природні та антропогенні екосистеми. Оскільки суспільство

приймає рішення, які впливатимуть на атмосферне середовище, підготовка до майбутнього безпечного життя повинна включати прогнозовану основу, яка є достатньо надійною, щоб формувати прогнози про вплив на навколишнє середовище – місцевий, регіональний чи глобальний. У свою чергу, ці прогнози повинні базуватися на фундаментальних знаннях кількісного та якісного хімічного складу атмосфери.

Антропогенна діяльність людини впливає на забруднення атмосферного повітря. Наслідки недбалого ставлення до довкілля призвели до погіршення стану атмосферного повітря, що негативно впливає на світову економіку. Приземний озон може пошкодити сільськогосподарські культури, ліси та іншу рослинність, погіршуючи їх ріст і впливаючи на біорізноманіття. Осадження сполук нітрогену може спричинити евтрофікацію, надлишок поживних речовин. Сполуки сульфуру та нітрогену підвищують рівень кислотності. Евтрофікація, підкислення можуть впливати на наземні та водні екосистеми, можуть привести до змін у видовому біорізноманітті та інтродукції нових видів. Підкислення також може призвести до підвищення концентрацій токсичних металів у воді або ґрунтах, що збільшує ризик поглинання в харчовому ланцюзі. Токсичні метали та стійкі органічні сполуки, крім токсичності для довкілля, мають тенденцію до біоаккумуляції у тварин і рослин і до біомагніфікують, маючи на увазі, що концентрації в тканинах організмів збільшуються на послідовно вищих рівнях в харчовий ланцюг.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

2.1. Інструментальні методи вимірювання параметрів атмосферного повітря

Повітря на сьогоднішній день являє собою провідний об'єкт довкілля, з яким пов'язано найбільша частина всіх негативних впливів навколишнього середовища на здоров'я людини [50, 51, 52].

Згідно експертам з Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) близько 72 % випадків передчасної смерті обумовлені забрудненням атмосферного повітря, серед яких близько 70 % від ішемічної хвороби серця та інсультів, 14 % хронічні хвороби легенів і гострі інфекції дихальних шляхів та респіраторні захворювання, 14 % рак легенів [53, 54].

Забруднення атмосферного повітря, за даними ВООЗ в 2012 році, є канцерогенними для людини, а наявність твердих частинок в повітрі тісно пов'язана з підвищенням захворюваності на рак легенів. За даними Інформаційного бюлетеня ВООЗ за 2016 спостерігається зв'язок між забрудненням атмосферного повітря та захворюваністю на рак сечовивідних шляхів і сечового міхура.

Ступінь забруднення атмосфери залежить від кількості викидів шкідливих речовин і їх хімічного складу, від метеорологічних умов, що визначають перенос, розсіювання викидаються речовин і від висоти, на якій здійснюється викиди.

Спостереження за забрудненням атмосфери, що проводяться як складова частина державного моніторингу довкілля, здійснюються суб'єкти державної системи моніторингу довкілля, зокрема, представниками Міністерство природи та охорони довкілля (Державна екологічна інспекція), Державна служба надзвичайних ситуацій (Державна гідрометеорологічна

служба), Міністерство охорони здоров'я (санітарно-епідеміологічна служба), Центральної геофізичної обсерваторії та громадськістю [55].

Для того щоб отримати об'єктивну інформацію про стан і про рівні забруднення навколишнього середовища необхідно використовувати надійні засоби та методи екологічного контролю, які ділять на: контактні, безконтактні (дистанційні) та біологічні, а показники – на структурні та комплексні.

Найбільш інформативними є структурні вимірювальні показники, так як вони надають безпосередню інформацію про об'єкт навколишнього середовища, а також всю необхідну інформацію про забруднення (концентрація забруднювальної речовини, різні коефіцієнти забруднення, рівень і ступінь забруднення). За межами країни методи екологічного моніторингу поділяють за видами викиду на три типи: 1) методи пов'язані з плановими викидами, 2) методи для неорганізованих викидів, 3) методи для випадкових викидів [56].

В роботі [57] описані основні види хімічних, фізико-хімічних та фізичних методів аналізу параметрів атмосферного повітря. До хімічних методів відносять: гравіметричний і титрометричний; до фізичних: магнітну спектроскопію, мас-спектрометрію, рентгеноспектральний аналіз; до фізико-хімічним: спектральні, електрохімічні, хроматографічні.

Найбільш часто використовуються методи спектральний, хроматографічний, електрохімічний. Всі методи включають в себе пробопідготовку, проведення аналізу, збір, обробку та інтерпретацію результатів.

Відбір проб, підготовка проб з їх подальшою консервацією і транспортуванням, зберігання проб, підготовка до аналізу входять в процедуру контактних методів. Для того щоб результати були репрезентативними необхідно вибрати оптимальний метод відбору проб, також важливо місце відбору проб і чистота пробовідбірника і тари для її зберігання. Підготовка проб в основному йде шляхом концентрування, також

існує метод хімічної модифікації досліджуваного речовини. Концентрування йде двома шляхами: сорбція на твердих поверхнях або екстракція розчинником і методом зменшення обсягу проби (шляхом випарювання, виморожування або сумісним осадженням) [Посудін Ю.І., 2012].

Відбір проб повітря здійснюється згідно ДСТУ на спеціальних постах (стаціонарні, маршрутні, пересувні (підфакельні)). На стаціонарних постах здійснюється регулярний відбір проб повітря і призначений для безперервної реєстрації вмісту забруднювальних речовин в атмосфері. Маршрутні пости призначені також для регулярного відбору проб, якщо немає можливості встановити стаціонарні пости в тих чи інших точках місцевості або в разі вилучення проб повітря в окремих районах. Пересувні (підфакельні) пости служать для відбору проб безпосередньо під димовим (газовим) факелом для подальшого виявлення зони впливу даного джерела.

Одночасно з відбором проб проводиться вимірювання деяких метеорологічних параметрів: температура повітря, швидкість і напрям вітру, атмосферний тиск, відносна вологість. Існує кілька режимів відбору проб: разовий - триває 20-30 хвилин; дискретний - при якому в один поглинаючий прилад або на фільтр протягом доби через рівні проміжки часу відбирається кілька проб (3-8 разових проб); добовий - проби відбираються безупинно протягом доби (ДСТУ відбір проб).

Відбір проб повітря ділять на дві великі групи: аспіраційні спосіб відбору проб і методом заповнення посудини обмеженої ємності. Аспіраційні способи відбору проб повітря - засновані на протягуванні певного об'єму повітря через поглинальне середовище (сорбент або розчин) або спеціальні фільтри, це залежить від стану, властивостей і якості вимірюваного речовини. Для цього необхідно мати прилад з поглинальним середовищем або патрон з фільтром, аспіратор і реометр (ротаметр).

Газоподібні речовини легше розчинити в рідких розчинах, розчини підбирають в залежності від того в якій мірі дана речовина розчиняється і

здатне реагувати з сорбентом, в деяких випадках також застосовується тверді поверхні, здатні утримувати в собі газоподібну речовину.

Як рідкі поглиначів часто використовують: дистильовану воду, органічні розчинники, спирти, і спеціальні поглинальні суміші, якими наповнюються поглинальні прилади. До твердих поглинальних середовищ відносяться зернисті сорбенти - силікагель, активоване вугілля. Для вимірювання токсичних речовин, тверді сорбенти поміщають в поглинальні прилади або спеціальні трубки. Для дослідження аерозолів використовують спеціальні фільтри (аналітичні фільтри аерозольні) з тонких волокон.

Для протягування досліджуваного повітря через поглинальне середовище використовують спеціальні прилади: водяний аспіратор, електроаспіратори, пирососи.

Найпростішим приладом є водяний аспіратор, влаштований за принципом сполучених посудин. Обсяг води дорівнює кількості повітря, протягнутого через насиченість прилад. Швидкість протягування такого аспіратора в середньому дорівнює 1-2 л/хв.

Електроаспіратори працюють за таким же принципом, що і водні аспіратори, але на відміну від простого водяного аспіратора забезпечені декількома реометрами для визначення швидкості продування повітря (швидкість 10-100 л/хв). Також електроаспіратори дозволяють відбирати кілька проб одночасно.

Відбір проб в судини обмеженої ємності використовується, якщо концентрація досліджуваної речовини в повітрі дуже висока і для визначення даної речовини немає необхідності відбору великого обсягу повітря. Відбір проб в скляні ємності: судини наповнюються рідиною, яка не здатна реагувати і розчиняти речовину, що визначається. В якості рідини використовують насичений розчин хлористого натрію, воду. Дану рідину виливають в місці відбору проб, а отвори в судинах закривають.

Відбір проб вакуумним способом: відбір проводиться в бутлі і газові піпетки об'ємом в 1-2 літри. Видалення повітря з посудини проводиться за

допомогою вакуумного насоса, ступінь розрядження повітря визначається відкритим ртутним манометром або вакуумметром. Відбір проб обмінним способом: скляну ємність приєднують до аспіратор і прокачують через нього десятикратний обсяг повітря зі швидкістю 2 л/хв. Потім після відбору проб посудину від'єднують від аспіратора, крани закривають, а гумові трубки затискають.

Дистанційні методи засновані на використанні двох властивостей зондуючих (електромагнітних, гравітаційних, акустичних) полів: взаємодіяти з досліджуваним об'єктом и переносити отриману інформацію на датчик. Дистанційні методи екологічного контролю діляться на активні та пасивні. Активні методи засновані на використанні відбитих променів від об'єктів дослідження, спрямованих на ці об'єкти спеціальними випромінювачами (радіаційній передавача, лазер), а при пасивних методах відбувається реєстрація відображених, випромінювання або зондуючих полів, створеним самим об'єктом вивчення. Методами аерокосмічного дослідження є оптичні відеозйомки, радіотеплові, радарні, інфрачервоні, радіолокаційні зйомки. Геофізичні методи застосовуються для вивчення складу, будови и стану гірських порід, в яких в певних умовах можуть розвиватися небезпечні геологічні процеси.

В екологічному моніторингу широко застосовується інформація, яка отримана зі супутників. Вільний прийом інформації з супутників на Землі здійснюється Всесвітньою метеорологічною організацією згідно з концепцією «Відкритого неба». На наземних станціях виробляється прийом, демодуляція, первинна переробка та підготовка супутникової інформації до їх подальшого введення на персональний комп'ютер.

Фахівці з дистанційного зондування Землі працюють з даними NASA і ESA, так як вони надають знімки у високій якості, а інформація доступна і відкрита для кожного. За допомогою Google Maps можна побачити актуальну інформацію, але сервіс «зшиває» знімки за різні дати: дані по великих

населених пунктах оновлюються приблизно раз на рік, а по іншим територіям раз в п'ять років.

Супутникові знімки можуть бути різної детальності: високого і низького дозволу. Знімки високої роздільної здатності використовують для моніторингу локальних проблем, наприклад, зони вирубки поблизу міст, а низького дозволу - для більшого охоплення території, наприклад, зони пожеж. Супутникові знімки можуть бути виконані як у видимій частині спектру, так і в ультрафіолетовій, інфрачервоній і інших частинах діапазону, таким чином при накладенні знімків різного спектру можна побачити різні деталі і нюанси. Завдяки супутникам можна отримати дані про погоду, повенях, пожежах, опадах і багатьох інших явищах антропогенного і природного характеру, в тому числі забруднення повітря, зміна клімату (рис.2.1).



Рис. 2.1. Концентрації карбон діоксиду (ppm) за 2002-2017 рік на прикладі території України за даними супутника NASA.

Основні антропогенні джерела забруднення атмосферного повітря: автотранспорт, теплові електростанції, металургійні підприємства, хімічні підприємства. На поширення забруднення впливають атмосферні умови, такі,

як тиск повітря, швидкість і напрям вітру, вертикальний розподіл температури. За даними супутника можна картографувати забруднення атмосферного повітря нітроген діоксидом, який також є і індикатором вмісту нітроген оксиду. Нітроген діоксид утворюється при окисненні нітроген оксиду, який в свою чергу утворюється з атмосферного азоту і кисню при високих температурах, відповідно надходження цієї сполуки в атмосферу пов'язано зі спалюванням викопного палива. У природі сполука утворюється в основному під час грозових розрядів або при розкладанні біомаси. Однак величини утворення природного нітроген діоксиду невеликі, що дозволяє легко картографувати антропогенне забруднення NO_2 (рис.2.2)

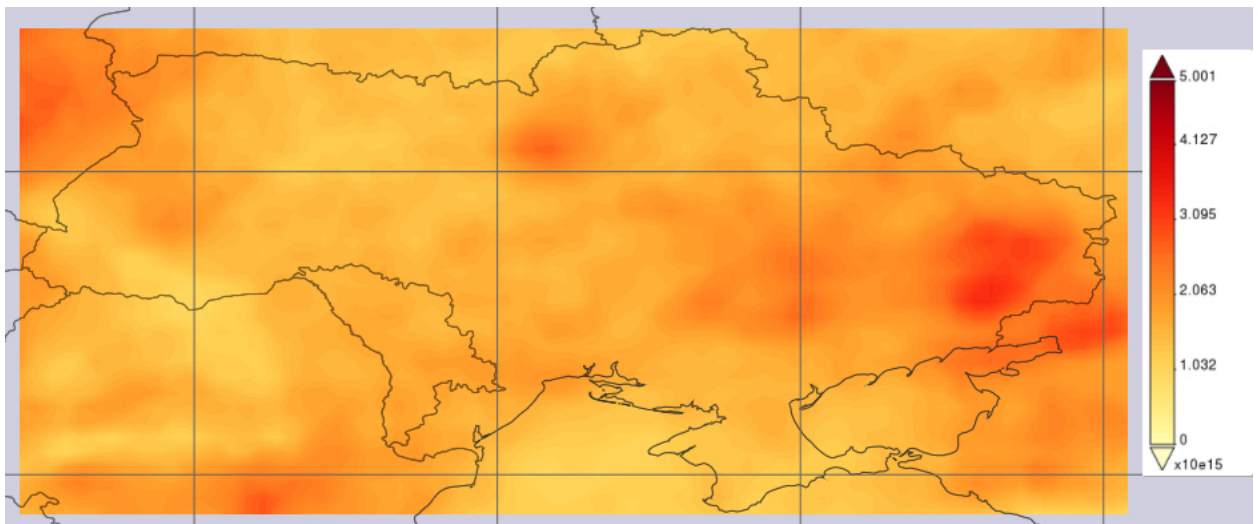


Рис. 2.2. Усереднені концентрації нітроген діоксиду (од/см^2) за 2019 – 2020 рік на прикладі території України за даними супутника NASA.

Через контрастності природних і антропогенних джерел забруднення нітроген діоксид є найзручнішим атмосферним забруднювачем для картографування з космосу. Донецький регіон, м. Київ найбільше виділяється по забрудненню тропосфери діоксидом азоту через наявність промислових підприємств та величезну кількість автомобільного транспорту.

В 2017 році Європейським космічним агентством (ESA) запусканий космічний супутник Sentinel-5 Precursor (Sentinel-5P) з метою щоденного глобального спостереження за хімічним складом атмосфери Землі, вмістом і

розповсюдженням в ній основних забруднювальних речовин та парникових газів. Основне корисне навантаження супутника - сенсор TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument), що виконує збір даних в ультрафіолетовому (UV), видимому (VIS), ближньому (NIR) і середньому інфрачервоному діапазонах (SWIR). Просторова роздільна здатність сенсора варіюється від 1,8 до 28 км, але для більшості каналів становить 7×7 км. Тимчасовий дозвіл сенсора становить всього 1 день при глобальному охопленні. Дані показують вміст основних забруднювальних речовин та парникових газів: озон, нітроген діоксид, сульфур діоксид, карбон оксид, метан, формальдегід, аерозольного забруднення.

Sentinel-5P надає багато другорядних даних, таких, як частка хмар, альbedo поверхні, швидкість вітру. Оскільки просторову роздільну здатність даних Sentinel-5P невисока, то дослідження забруднення атмосфери можна проводити, починаючи з регіонального масштабу. Однак найбільш оптимальними є дослідження в масштабі країни, континенту або глобальні.

У зв'язку з екологічною ситуацією в сучасному світі, гігієнічні нормативи, створені для охорони здоров'я людини, а також для того щоб не допустити екологічної катастрофи в навколишньому середовищі, в більшості випадків не сприяють нормальному функціонуванню навколишнього середовища. Ефективними методами екологічного контролю на сьогоднішній день є біологічні методи - біоіндикація та біотестування (біотоксикологія). Біологічні методи екологічного контролю дозволяють діагностувати негативні зміни в природному середовищі при низьких концентраціях забруднювальних речовин (Посудін Ю.І., 2012).

Перевага даних методів полягає в тому, що вони відображають ступінь небезпеки в навколишньому середовищі для всіх живих організмів, і для людини. Біологічні методи є інтегральними і дозволяють в повній мірі оцінити стан навколишнього середовища, підсумовують всі без винятку біологічно важливі дані про навколишнє середовище, виявляють наявність комплексу забруднень, а також здатні вказати на місця і шляхи накопичення забруднень і

виявити можливі шляхи їх потрапляння в екологічні системи (Посудін Ю. І., 2012).

Об'єктом дослідження методів біоіндикації є вивчення організмів або співтовариства організмів-індикаторів в їх природних середовищах існування. Біоіндикатори група особин одного виду або спільноти, за наявності, станом і поведінкою яких можна з більшою вірогідністю визначати інформацію про властивості навколишнього середовища, в тому числі про присутність в ній забруднювача і його концентрації.

Методи біоіндикації можуть бути простими, це візуальний огляд, а також і складним, який включає в себе вивчення імунних та генетичних змін біоіндикаторів (організм-індикатор). Основні види методів біоіндикації:

- візуальний - визначення зовнішніх змін під дією забруднювального фактора (зміна забарвлення, крайове пожовтіння листя рослин, сповільнене зростання, слабкі стебла, утворенню гнилі, асиметрія пластини листової), використовується в сільськогосподарських культур

- популяційні і екосистемні - визначення популяційних або екосистемних показників: чисельність і біомаса окремих видів, наявність тих чи інших видів в даному співтоваристві, а також їх співвідношенням, розподіл за кількістю. Метод дуже популярний при вивченні водних екосистем, а також, біоти, яка мешкає в лісах, використовується в спільнотах в яких легко можна відстежити динаміку змін тих чи інших показників;

- патолого-анатомічний та гістологічний методи - відносяться до групи методів біоіндикації з більш достовірними даними, які дозволяють зробити, довгострокові прогнози щодо впливу тих чи інших речовин на середовище проживання біоіндикаторів;

- ембріологічний метод - вивчає вплив змін у навколишньому середовищі на розвиток живого організму на ранніх етапах розвитку (на етапі дроблення, формування зародкових органів). Як біоіндикатори виступають живі організми, здатні до швидкого розвитку і дає численне потомство (молюски, риби, комахи, земноводні);

- також існує ряд більш точних і трудомістких методів: імунологічні (основані на вивченні змін імунної системи живих організмів у відповідь на вплив несприятливого фактора); генетичні (аналіз генетичних змін, які проявляються у вигляді визначених мутацій при впливі забруднювальної речовини на біоіндикаторами).

За допомогою методів біоіндикації можна досліджувати забруднення навколишнього середовища забруднювальними речовинами, оцінити шкоду, яку завдасть той чи інший забруднювач, але для прояву змін потрібен час. Біоіндикатори не можуть бути універсальними, їх необхідно підбирати для кожного середовища самостійно, виходячи з властивостей цього середовища. Також метод біоіндикації малоефективний в холодну пору року. Методи біоіндикації широко використовуються [58, 59, 60, 61, 62], це пов'язано з тим, що ці методи маловитратні, не вимагають громіздких і дорогих приладів і простота методу є безперечними перевагами.

В основі біотестування лежать реакції тест-об'єкта (організму, який міститься в досліджувану середу) в лабораторних умовах. Цей метод дозволяє дати оцінку токсичних властивостей забруднювальної речовини на модельні живі організми. Біотестування має низку переваг: простота методу, доступність, універсальність, експресність та дешевизна. За допомогою тест-систем (тест-організмів) можна легко виявити залпові викиди з певного підприємства, можна отримати інформацію про шкоду забруднювальної речовини в лічені хвилини, не чекаючи, коли навколишнє середовище почне на неї реагувати. На відміну від інших методів (аналітичного і біохімічного моніторингу) біотестування дає можливість визначити рівень небезпеки цієї речовини.

При оцінці негативного впливу на біологічні об'єкти, тесторганізми вводяться в середовище, де присутня забруднювальна речовина. Важлива умова біотестування - використовувати генетично однорідні лабораторні культури. Ці культури отримують шляхом багаторазового дослідження впливів на них різних забруднювальних речовин. Генетично однорідні

культури тест-організмів дозволяють уникнути помилок при оцінці впливу забруднювача на ці організми, так як вони здатні давати схожу реакцію.

Розрізняють такі види біотестів: гострі біотести (*acute tests*), за показниками виживаності тривають від кількох хвилин до 24-96 годин; короткострокові (*short-termchronic tests*) тривають протягом 7 діб і закінчуються, як правило, після отримання першого покоління тест-об'єктів; хронічні тести (*ghronic tests*), поширюються на загальну плодючість, наприклад, ракоподібних, при цьому охоплюють три покоління.

На сьогоднішній день багато країн переходять на ферментативну систему оцінки якості навколишнього середовища, так як ця система дозволяє безпосередньо виявити вплив шкідливих речовин на організми або визначити на яку частину організму вони мають більший вплив.

Методи подібні, але біотестування здійснюється на рівні молекули, клітини або організму і характеризує всі можливі наслідки забруднення навколишнього середовища для біоти, а біоіндикація використовується на рівні організму, популяції або спільноти і дає характеристику довгострокової дії забруднення.

В Україні згідно нормативних документів [63, 64] для проведення фіксованих вимірювань забруднювальних речовин в атмосферному повітрі застосовуються методи оцінювання:

методом ультрафіолетової флуоресценції для вимірювання концентрації сульфур діоксиду згідно з ДСТУ EN 14212:2018 - (EN 14212:2012, IDT);

методом хемілюмінесценції для вимірювання концентрації нітроген діоксиду та нітроген монооксиду згідно з ДСТУ EN 14211:2018 - (EN 14211:2012, IDT);

метод вимірювання концентрації бензолу бензолу згідно з ДСТУ EN 14662-1:2018 (EN 14662-1:2005, IDT);

методом недисперсійної інфрачервоної спектроскопії для вимірювання концентрації карбон оксиду згідно з ДСТУ EN 14626:2018 (EN 14626:2012, IDT);

метод вимірювання вмісту Pb, Cd, As та Ni у фракції аерозольних частинок ТЧ10 згідно з ДСТУ EN 14902:2018 (EN 14902:2005, IDT);

гравіметричний метод вимірювання масової концентрації аерозольних частинок ТЧ10 або ТЧ2,5 згідно з ДСТУ EN 12341:2018 (EN 12341:2014, IDT);

метод фотометрії в ультрафіолетовій області спектра для вимірювання концентрації озону з ДСТУ EN 14625:2016 (EN 14625:2012, IDT).

З огляду літературних джерел видно, що інструментальні методи вимірювання, які впровадженні в сучасні автоматичні пункти спостереження атмосферного повітря, узгоджені з міжнародними стандартами, тобто отримані дані можуть бути інтегровані в європейську систему моніторингу атмосферного повітря. Методи біомоніторингу, дистанційного моніторингу використовуються в дослідницьких цілях в системі моніторингу довкілля України.

2.2. Нормування якості повітря населених пунктів

Якість повітря визначається як міра стану атмосферного повітря з точки зору задоволення вимог біотичних видів та потреб або намірів людини. Отримані фактичні дані спостережень за концентраціями забруднювальних речовин під час моніторингу повітря речовин порівнюються з нормативами якості атмосферного повітря. В області охорони атмосферного повітря нормативи встановлюються різними документами державного рівня: норми гдк, директиви. Історично склалося, що система екологічного та санітарно гігієнічних нормування, яка визначає якість атмосферного повітря і регламентує вплив на біологічні організми забруднювальних речовин, в основному орієнтується на кілька видів об'єктів - людини, тварин, рослини, дерева, а також біосферу в цілому.

В Україні протягом 2018 році спостереження за забрудненням атмосферного повітря проводилися в 39 містах, на 129 стаціонарних постах

мережі моніторингу гідрометеорологічних організацій. В атмосферному повітрі визначалось 22 забруднювальні речовини, включаючи вісім важких металів [65].

При цьому для запобігання негативним наслідкам в процесі нормування визначаються безпечні рівні впливу. Науково обґрунтовані безпечні рівні законодавчо затверджуються в кожній країні, завдяки чому вони переводяться в ранг національних санітарно-гігієнічних і екологічних нормативів. В Україні до гігієнічних нормативів допустимого вмісту речовин в атмосферному повітрі відносяться: гранично допустимі концентрації (ГДК), орієнтовні безпечні рівні дії (ОБРД), різні комплексні показники. ГДК забруднювальних речовин для оцінки якості атмосферного повітря є найбільш апробованою. ГДК встановлюються як для кожної речовини окремо, так і для спільної присутності певного поєднання шкідливих речовин в атмосферному повітрі [66].

Граничнодопустимі концентрації речовин в атмосферному повітрі населених місць регламентуються у вигляді максимально-разової та середньодобової ГДК (табл. 2.1).

Середньодобова гранично допустима концентрація (ГДКс.д.) - це концентрація шкідливої речовини в повітрі населених місць, яка не чинить на людину прямого або непрямого впливу при вдиханні. Дана концентрація розрахована на всі групи населення і на невизначено довгий період впливу, є санітарно-гігієнічним нормативом, що встановлює концентрацію шкідливого речовини в повітряному середовищі. Величина ГДКс.д. в даний час виступає в якості порогу норми для оцінки благополуччя повітряного середовища на урбанізованій території. У свою чергу, максимально-разова гранично допустима концентрація (ГДКм.р.) – це концентрація шкідливої речовини в повітрі населених пунктів яка при вдиханні протягом 20 – 30 хвилин не викликає рефлексних (відчуття запаху, світлової чутливості очей, зміна біоелектричної активності головного мозку) реакцій в організмі людини. Дану концентрацію встановлюють для тих речовин, які володіють більшою мірою

рефлекторним і подразнюючою дією. ГДКм.р. необхідні для попередження рефлекторних реакцій у людини при короткочасному впливі шкідливих атмосферних домішок. Величина ГДКм.р. використовується при встановленні науково-технічних нормативів – гранично допустимих викидів забруднювальних речовин.

Таблиця 2.1

Гранично допустимі концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі населених місць на території України []

	ГДКм.р., мг/м ³	ГДКс.д., мг/м ³	Клас шкідливості
Пил	0,5	0,15	3
Карбон оксид	5	3	4
Нітроген оксид	0,4	0,06	3
Нітроген діоксид	0,2	0,04	3
Сульфур оксид	0,5	0,05	3
Озон	0,16	0,03	1
Формальдегід	0,035	0,003	2

Важливою характеристикою є також клас небезпеки речовини. Згідно всі шкідливі речовини за ступенем впливу на організм людини поділяються на чотири класи небезпеки: 1 – надзвичайно небезпечні, 2 – високо небезпечні, 3 – помірно небезпечні, 4 клас – малонебезпечні. Залежно від показника шкідливості атмосферні забруднення поділяються на 3 групи: 1) переважно рефлекторного дії; 2) переважно резорбтивного дії; 3) рефлекторно-резорбтивної дії. Для речовин першої групи встановлюється тільки одна максимальна разова ГДК по рефлекторному дії, для речовин 2-ї групи – середньодобова ГДК і на додаток до неї максимальна разова концентрація на рівні 98 % ймовірності її появи в хронічному експерименті, для речовин 3-ї групи встановлюються максимальна разова ГДК по рефлекторній дії та середньодобова - по резорбтивної дії. Під рефлекторним дією розуміється

реакція з боку рецепторів верхніх дихальних шляхів: відчуття запаху, подразнення слизових оболонок, затримка дихання. Зазначені ефекти виникають при короткочасному впливі шкідливих речовин, тому рефлекторна дію лежить в основі встановлення ГДК максимально разова.

Під резорбтивною дією розуміють можливість розвитку загальнотоксичних, гонадотоксичних, ембріотоксичних, мутагенних, канцерогенних ефектів, виникнення яких залежить не тільки від концентрації речовини в повітрі, а й від тривалості його вдихання. Для попередження розвитку резорбтивної дії встановлюється ГДКс.д. або максимальна 24-годинна або середня за тривалий період (рік і більше). В даний час в Україні розроблено і затверджено гранично допустимі концентрації в атмосферному повітрі населених пунктів для 511 шкідливих речовин, а для більш ніж 1800 речовин прийняті орієнтовні безпечні рівні дії (ОБРД).

Слід розрізняти поняття ГДК (гранично допустимі концентрації) і граничні концентрації (цільові нормативи якості або граничні показники). У Європейському союзі нормування якості атмосферного повітря здійснюється шляхом встановлення саме стандартів якості, заснованих на граничних величинах або цільових показниках. У США використовуються первинні і вторинні стандарти якості атмосферного повітря. Первинними називаються стандарти якості атмосферного повітря, які підлягають дотриманню з метою охорони здоров'я населення, включаючи чутливі групи (люди, які страждають на астму, діти, люди похилого віку). Вторинними називаються стандарти, встановлені з метою захисту майна людей, включаючи скорочення видимості, збиток тваринам, урожаю, рослинам і будівлям. Допустимі норми або правила, які широко застосовуються в Сполучених Штатах та в більшості інших країн, щорічно видаються Американською конференцією гігієністів державної промисловості (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH), в ряді випадків вони називаються гранично допустимими концентраціями (TLVs (threshold limit value - величина допустимої межі)) [67].

Для людини розроблені референтні рівні впливу для майже 1000 хімічних сполук. Причому близько 20 % референтних концентрацій обґрунтовані з використанням клінічних та епідеміологічних даних. Для хімічних речовин, що забруднюють атмосферне повітря населених місць, референтні концентрації диференційовані в залежності від тривалості впливу (від 5 хвилин до 24 годин) і ступеня тяжкості можливих змін стану здоров'я чутливих підгруп. Важливим біологічним об'єктом, для якого здійснюється нормування якості повітря, є рослинність. У більшості випадків рослинність більш чутлива до шкідливих газів, ніж людина. Основою для визначення потенційного шкідливого впливу забруднення атмосфери на рослинність є безпечний рівень, який представляє собою фізичні показники забруднення повітря, нижче яких, відповідно до нинішнього рівня, не спостерігається значного негативного впливу на рослині об'єкти.

Всього ВООЗ дає рекомендації щодо 32 забруднювальних речовин (2000 р.). У звіті [68] ВООЗ розділив речовини на 4 групи по необхідності контролювати і переглядати стандарти:

1 група: зважені частинки (пил), озон, нітроген діоксид, сульфур діоксид, карбон оксид;

2 група: кадмій, хром, свинець, бензол, діоксин;

3 група: миш'як, магній, платина, ванадій, бутадієн, трихлоретилен акрилонітрил, сірководень, вінілхлорид, толуен, нікель;

4 група: ртуть, азбест, формальдегід, стірен, тетрахлоретилен, поліароматичні вуглеводні, сірковуглець, фториди, поліхлоровані біфеніли, 1,2-дихлоретан, дихлорметан.

Таблиця 2.2.

Стандарти якості повітря

Забруднювальна речовина	Час усереднення	МОЗ України, мг/м ³	ВОЗ, мг/м ³	ЕРА, мг/м ³	ЕЕА, мг/м ³

CO	15 хв	-	100	-	-
	30 хв	5	60	-	-
	1 год	-	30	40	-
	8 год	-	10	10	10
	24 год	3	-	-	-
NO ₂	30 хв	0,085	-	-	-
	1 год	-	0,2	-	0,2
	8 год	5,0			Не повинна бути перевищена більш, ніж 18 разів за рік
	24 год	0,04	-	-	0,125
	Середня за рік				Не повинна бути перевищена більш, ніж 3 рази за рік
O ₃	30 хв	-	0,04	0,1	0,04
	1 год	0,1	-	-	-
		6	-	0,23	-
	8 год	-	0,12	0,157	-
	24 год	0,03	-	-	-
SO ₂	10 хв	-	0,5	-	-
	30 хв	0,5	-	-	-
	1 год	-	-	-	0,350
	8 год	10,0		0,365	Не повинна бути перевищена більш, ніж 24 рази за рік
	24 год	0,05	0,125	-	0,125
					Не повинна бути перевищена більш, ніж 3 рази за рік
	Середня за рік		0,05	0,08	0,02
PM ₁₀	30 хв	-	-	-	-
	24 год	-	-	0,1	0,0
	Середня за рік	-	0,05	0,05	Не повинна бути перевищена більш, ніж 3 рази за рік
					0,02

Максимальне щоденне усереднене значення концентрації за вісім годин визначається за допомогою вивчення усереднених значень за години, розрахованих за допомогою даних, які вимірюються щоденно та оновлюються щогодини. Кожне усереднене восьмигодинне значення, розраховуються таким чином : перший період дня буде починатися в 17:00 попереднього дня і

закінчується в 01:00 наступного; останній розрахунковий період любого дня триває з 16:00 до 24:00.

Загальна оцінка небезпеки проводиться за характеристиками і параметрами зміни стану забруднення атмосферного повітря, за статистичними оцінками небезпечних подій, пов'язаних з перевищенням показників забруднення санітарних норм, за інтегральними показниками і комплексним характеристикам небезпеки сумішей речовин, які присутні в атмосферному повітрі. При цьому дані спостережень за концентраціями домішок на стаціонарних і маршрутних постах, а також під факелами промислових підприємств розглядаються як сукупність випадкових величин – одиничних разових показників забруднення атмосфери.

2.3. Інтегральні показники якості атмосферного повітря

Крім статистичних характеристик в різних країнах світу існує також безліч інтегральних та комплексних показників забруднення атмосферного повітря, наприклад, комплексний індекс забруднення атмосфери (КІЗА), індекс якості атмосферного повітря AQI (Air Quality Index), AQHI (Air Quality Health Index), загальний індекс якості повітря CAQI (Common Air Quality Index), індекси BELATMO.

В Україні для сумарної оцінки широко використовується комплексний індекс забруднення атмосфери:

$$\text{КІЗА} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{c_i}{\text{ГДК}_i} \right)^{k_i}$$

де n - число забруднювальних атмосфери речовин, що враховуються при визначенні індексу (зазвичай 5),

c_i – середньодобова (річна) концентрація i -ої домішки в повітрі, мг/м³;

k_i - показник шкідливості i -ої домішки, що залежить від класу небезпеки речовини (для речовин 1-го класу небезпеки дорівнює 1,5; для речовин 2-го - 1,3; третього - 1,0; четвертого - 0,85).

Розрахунок інституціями Гідрометслужби враховує ступінь забруднення атмосферного повітря за п'ятьма пріоритетними забруднювальними домішками. Комплексний ІЗА має чотири рівні: дуже високий – понад 14,0; високий – від 7,0 до 14,0; підвищений – від 5,0 до 7,0; низький – менше 5,0 [69]. В першому півріччі 2020 року дуже високий і високий рівень забруднення повітря був зумовлений здебільшого значними середніми концентраціями формальдегіду, нітроген діоксиду, фенолу, фтористого водню, карбон оксиду, завислими речовинами (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Комплексний індекс забруднення атмосферного повітря міст України
у першому півріччі 2020 р. []

№ з/п	Місто	КІЗА	№ з/п	Місто	КІЗА	№ з/п	Місто	КІЗА
1.	Маріуполь	14,3	14.	Львів	6,5	27.	Житомир	4,0
2.	Кам'янське	13,1	15.	Луцьк	6,4	28.	Біла Церква	4,0
3.	Одеса	13,0	16.	Суми	5,9	29.	Обухів	3,9
4.	Дніпро	12,4	17.	Рубіжне	5,9	30.	Чернігів	3,8
5.	Кривий Ріг	12,0	18.	Рівне	5,3	31.	Українка	3,6
6.	Київ	9,5	19.	Лисичанськ	5,0	32.	Бровари	3,5
7.	Миколаїв	8,3	20.	Слов'янськ	5,0	33.	Олександрія	3,4
8.	Херсон	7,8	21.	Ужгород	5,0	34.	Івано-Франківськ	3,4
9.	Черкаси	7,8	22.	Хмельницький	5,0	35.	Чернівці	3,3
10.	Запоріжжя	7,7	23.	Северодонецьк	4,8	36.	Харків	3,1
11.	Кременчук	7,1	24.	Полтава	4,2	37.	Світловодськ	2,8
12.	Краматорськ	6,8	25.	Кропивницький	4,1	38.	Ізмаїл	2,8
13.	Вінниця	6,7	26.	Тернопіль	4,0	39.	Горішні Плавні	1,4

Згідно даних таблиці у першому півріччі 2020 р. у м. Маріуполь рівень забруднення повітря оцінювався як дуже високий, у десяти містах України рівень забруднення характеризувався, як високий, у одинадцяти містах відмічався підвищений рівень забруднення, у сімнадцяти містах – низький (табл. 2.3).

За даними [70] для розрахунку КІЗА у місті Черкаси використано середньорічні концентрації пил, нітроген діоксид, амоніак, формальдегід, карбон оксид, отримані під час моніторингу атмосферного повітря, який здійснюється лабораторією спостережень за забрудненням атмосферного повітря Черкаського обласного центру з гідрометеорології.

КІЗА, як інтегральний показник, визначає не абсолютний, а відносний рівень забруднення атмосферного повітря досліджуваної території. При розрахунку КІЗА вважається, що всі забруднювальні речовини, які не перевищують ГДК не впливають на організм людини, а з підвищенням кількісного вмісту підвищується їх шкідливість, яка також залежить від класу небезпеки речовини. КІЗА може бути використано для порівняльного аналізу в різних містах, але за умови використання однакового набору вихідних даних. Проте використовуються модель розрахунку, в якій використовуються підіндекси, які мають максимальні перевищення за концентраціями. Недоліком є відсутність стандартизованого підходу до вибору переліку речовин.

Агентство з охорони навколишнього середовища США (United States Environmental Protection Agency, EPA) та його регіональні підрозділи на регулярній основі розраховують і публікують Індекс якості атмосферного повітря (Air Quality Index, AQI), що передбачено діючими нормативними актами [71]. Індексом якості атмосферного повітря є інтегральний інструмент, який розроблено для наочного подання інформації населення про забруднення повітря в простій формі. AQI розроблений для основних 5 забруднювальних речовин: озону, зважених часток (PM), карбон оксиду, сульфур діоксиду, нітроген діоксиду. В основі розрахунків підіндексів концентрацій забруднювальних речовин. Шкала індексів AQI, підрозділяється на 6 інтервалів в залежності від ступеня впливу забруднювальних речовин на здоров'я людини. Кожному інтервалу присвоєно колір в залежності від ступені забруднення. Інформація про AQI збирається регулярно і може спостерігатися в режимі реального часу на сайті [<https://gispub.epa.gov/airnow/>], а також

<https://aqicn.org/map/usa/>], що відповідає чинним нормативам США. На основі US AQI розроблено World AQI світовий індекс якості повітря [<https://waqi.info/>]

Розрахунок AQI включає в себе етапи: визначити максимальні концентрації по всіх вимірах для кожної контрольованої території і округлити величини; знайти інтервал, в який потрапляє дана концентрація (табл. 2.4); обчислити числове значення індексу по формулі AQI за формулою:

$$I = \frac{I_{high} - I_{low}}{C_{high} - C_{low}}(C - C_{low}) + I_{low}$$

I – значення індексу забруднення;

C – усереднена концентрація забруднювальної речовини;

C_{high} – межа інтервала, більша або рівна C ;

C_{low} – межа інтервала, менша C ;

I_{high} – значення AQI, яке відповідає C_{high} ;

I_{low} – значення AQI, яке відповідає C_{low} .

Таблиця 2.4

Інтервали концентрацій та AQI згідно чинним нормативам ЕРА []

O ₃ (ppb)	O ₃ (ppb)	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	CO (ppm)	SO ₂ (ppb)	NO ₂ (ppb)	AQI	AQI
$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$C_{low} - C_{high}$ (avg)	$I_{low} - I_{high}$	Category
0-54 (8-hr)	-	0.0-12.0 (24-hr)	0-54 (24-hr)	0.0-4.4 (8-hr)	0-35 (1-hr)	0-53 (1-hr)	0-50	Good
55-70 (8-hr)	-	12.1-35.4 (24-hr)	55-154 (24-hr)	4.5-9.4 (8-hr)	36-75 (1-hr)	54-100 (1-hr)	51-100	Moderate
71-85 (8-hr)	125-164 (1-hr)	35.5-55.4 (24-hr)	155-254 (24-hr)	9.5-12.4 (8-hr)	76-185 (1-hr)	101-360 (1-hr)	101-150	Unhealthy for Sensitive Groups
86-105 (8-hr)	165-204 (1-hr)	55.5-150.4 (24-hr)	255-354 (24-hr)	12.5-15.4 (8-hr)	186-304 (1-hr)	361-649 (1-hr)	151-200	Unhealthy
106-200 (8-hr)	205-404 (1-hr)	150.5-250.4 (24-hr)	355-424 (24-hr)	15.5-30.4 (8-hr)	305-604 (24-hr)	650-1249 (1-hr)	201-300	Very Unhealthy
-	405-504 (1-hr)	250.5-350.4 (24-hr)	425-504 (24-hr)	30.5-40.4 (8-hr)	605-804 (24-hr)	1250-1649 (1-hr)	301-400	Hazardous
-	505-604 (1-hr)	350.5-500.4 (24-hr)	505-604 (24-hr)	40.5-50.4 (8-hr)	805-1004 (24-hr)	1650-2049 (1-hr)	401-500	Hazardous

Метеорологічна служба Канади використовує для представлення результатів моніторингу повітряного середовища «Індекс якості повітря та здоров'я» (The Air Quality Health Index, AQHI) [72] розроблений в 2005 році, щоб допомогти населенню зрозуміти вплив якості повітря на здоров'я. Індекс використовується для прийняття рішень щодо скорочення короточасного впливу забруднення повітря за допомогою регулювання рівня активності

людини. AQHI особову увагу приділяє людям, чутливим до забруднення повітря.

Шкала значень AQHI змінюється від 0 до 10+. Значення шкали прямо вказує на можливий ризик для здоров'я населення. Розрахунок проводять на взаємозв'язку нітроген діоксид, озон, зважені частинки ТЧ₁₀, ТЧ_{2.5}. Перші моделі AQHI, враховували також сульфур діоксид, карбон оксид, але доведено що ці сполуки вносять незначний вклад прогнозування на стан здоров'я. Шкала (рис. 2.3) має такі рівні ризику: 1 – 3 низький рівень; 4 – 6 задовільний рівень; 7 – 10 високий рівень; вище 10 дуже високий рівень. AQHI розраховується на основі трьохгодинних концентрацій, нітроген діоксид та озон вимірюються в ppb, а тверді частинки в мкг/м³ за формулою [73]

$$AQHI = \left(\frac{1000}{10.4}\right) \times [(e^{0.000537 \times O_3} - 1) + (e^{0.000871 \times NO_2} - 1) + (e^{0.000487 \times PM_{2.5}} - 1)]$$

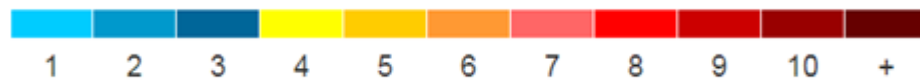


Рис. 2.3. Кольорова шкала «Індекс якості повітря та здоров'я» (AQHI)

На даний момент в системі моніторингу AQHI 122 міста Канади, замінив американський AQI. Дані знаходяться в відкритому доступі [74], а також повідомляються населенню за допомогою засобів масової інформації.

В рамках наукових проектів 2012 році в рамках ЄС-проекту було розроблено аналог американського AQI загальний індекс якості повітря CAQI (Common Air Quality Index), який надає інформацію про якість атмосферного повітря в європейських містах в порівняльному і зрозумілому вигляді. Індекс CAQI (Common Air Quality Index) являє собою розрахунок індексів для трьох часових шкал: годинного індексу, добового та річного індексу. Часовий і добовий індекси дозволяють оцінити короткострокові впливи забруднення атмосферного повітря на здоров'я. Річний індекс спрямований на оцінку довгострокового впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення. Дані індекси розраховуються і оновлюються щодня, публікуються у відкритому доступі на сайті <http://www.airqualitynow.eu/index.php>.

В роботі [75] відзначено, що запропоновані значення індексу $SAQI$ публікуються виключно для наочної демонстрації динаміки забруднення атмосферного повітря і не призначені для подальшої оцінки відповідності екологічної ситуації нормативним вимогам ЄС.

Погодинний (добовий) індекси $SAQI$ розраховуються за однією методикою, шкала від 0 до 100. Шкала має п'ять рівнів (класів) забруднення: 0 – 25 дуже низький рівень, 25 – 50 низький рівень, 50 – 75 середній рівень, 75 – 100 високий рівень, > 100 дуже високий рівень (Рис. 2.4).

Qualitative name	Index or sub-index	Pollutant (hourly) concentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		NO_2	PM_{10}	O_3	$\text{PM}_{2.5}$ (optional)
Very low	0–25	0–50	0–25	0–60	0–15
Low	25–50	50–100	25–50	60–120	15–30
Medium	50–75	100–200	50–90	120–180	30–55
High	75–100	200–400	90–180	180–240	55–110
Very high	>100	>400	>180	>240	>110

Рис. 2.4. Шкала загального індексу якості повітря $SAQI$ []

При розрахунку індексів $SAQI$ в першу чергу до уваги приймаються забруднювальні речовини: PM_{10} , O_3 , NO_2 . В якості додаткових розглядаються $\text{PM}_{2.5}$, CO , і SO_2 (якщо доступні дані у відкритому доступі). Розрахунок індексів виконується автоматично на підставі доступної інформації по станціях вимірювальної мережі. Окремо розраховуються індекси для дорожніх (дорожній індекс) і фонових (фоновий індекс) станцій. В роботі [76] описано три методологічні підходи до оцінки фонових концентрацій в атмосферному повітрі, які обумовлені різноманітними галузями застосування.

На першому етапі розраховують індекси для кожної речовини. Забруднювальна речовина з переважною концентрацією щодо нормативів обумовлює значення загального індексу. Річний загальний індекс якості повітря також розраховується для фонових і дорожніх умов і характеризує відхилення від нормативів і цільових показників якості повітря ЄС. Якщо індекс вище 1, то для одного або більше забруднювальної речовини нормативи

вмісту не виконуються; якщо індекс менше 1, то якість атмосферного повітря в цілому вкладається в нормативи.

Короткострокові та довгострокові впливи забруднювальних речовин на фізичний стан людини встановлюються санітарно-гігієнічними дослідженнями на базі державних науково-дослідних організацій. В різних країнах діють різні нормативи та стандарти, різні кліматичні та метеорологічні умови, різні стаціонарні та пересувні джерела забруднення, різні матеріально-технічні бази системи моніторингу, тому індекси якості повітря різні, але мають певні подібні структурні моделі. Розрахунок індексів якості повітря проводиться з використанням середніх значень концентрації забруднювальних речовин за визначений термін, які отримані з моніторингу атмосферного повітря або моделювання розповсюдження забруднення в атмосферному повітрі; визначається часова динаміка зміни концентрації забруднюючих речовин; для підіндексів якості атмосферного повітря визначаються діапазони або відповідні шкали. Кожному діапазону призначається кольоровий або описовий (вербальний) ідентифікатор та рекомендації для населення щодо охорони власного здоров'я; шкала збільшення значення індексу будується в напрямку збільшення шкідливої дії на організм людини.

Бельгійське міжрегіональне агентство з навколишнього середовища (IRCEL – CELINE) [77] використовує індекс BELATMO. Індекс об'єднує в одне репрезентативне число концентрації кількох забруднень в атмосферному повітрі. На табл. 2.5 представлена кольорова шкала від 1 (відмінна якість повітря) до 10 (жахлива якість). Обчислення виконуються з використанням даних, отриманих від телеметричних мереж, які безперервно вимірюють якість повітря в 3 регіонах. Таким чином, індекс є зрозумілим поданням технічних результатів вимірювань для більшої частини населення, дозволяючи отримати глобальне уявлення про якість навколишнього повітря.

У таблиці 2.5 для кожного забруднення показано співвідношення між вимірюваними концентраціями ($\mu\text{г}/\text{м}^3$), значенням індексу і відповідною шкалою.

Таблиця 2.5

Співвідношення між концентраціями ($\mu\text{г}/\text{м}^3$) забруднення, значенням індексу BELATMO та кольоровою шкалою

Pollutant	$\mu\text{г}/\text{м}^3$									
SO ₂ (24h average)	0 - 15	16 - 30	31 - 45	46 - 60	61 - 80	81 - 100	101 - 125	126 - 165	166 - 250	> 250
NO ₂ (hourly max)	0 - 25	26 - 45	46 - 60	61 - 80	81 - 110	111 - 150	151 - 200	201 - 270	271 - 400	> 400
O ₃ (max 8-hour average)	0 - 30	31 - 45	46 - 60	61 - 80	81 - 100	101 - 120	121 - 150	151 - 200	201 - 270	> 270
PM10 (24h average)	0 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	51 - 70	71 - 100	101 - 150	151 - 200	> 200
index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
rating	excellent	very good	good	fairly good	moderate	poor	very poor	bad	very bad	extremely bad

Індекс заснований на концентраціях частинок озону, нітроген діоксиду, сульфур діоксид, ТЧ₁₀. Значення розраховується щодня для 4 забруднювачів, а потім порівнюється зі шкалою концентрацій. Шкали концентрації засновані на європейських рекомендаціях з оцінки та управління якістю навколишнього повітря.

Залежно від кількості допустимих перевищень нових європейських граничних значень (цільове значення для озону) цьому граничному значенню присвоюється індексне значення 6, 7 або 8. Інші ділення шкали були визначені шляхом оцінки діапазону концентрацій, виміряних в телеметричних мережах трьох регіонів Бельгії.

«Характеристичне значення» для забруднення, для всього регіону або в деяких конкретних місцях отримують шляхом обчислення середнього значення концентрацій, виміряних на репрезентативних станціях. Індекс якості дорівнює найвищому субіндексу з чотирьох субіндексів забруднювальних речовин. Індекс не обчислюється, якщо субіндекс відсутній. Індекс розраховується в режимі реального часу за останні 15 днів. Індекс розраховується для трьох регіонів країни, великих міських агломерацій і деяких районів.

В Великобританії використовуються Daily Air Quality Index (DAQI) [78] повідомляє населенню про рівень забруднення повітря, подаються поради щодо активності, залежності від рівня забруднення повітря. Індекс розділений на чотири інтервали, від низького (1) до дуже високого (10), щоб можна було простим способом отримати детальну інформацію про рівень забруднення повітря доповнений кольоровою шкалою.

DAQI застосовують для прогнозу якості повітря на наступний день.. Крім того, останні дані моніторингу забруднення повітря відображаються з використанням попереднього індексу. Загальний індекс забруднення повітря для регіональних рішень визначає найвищу концентрацію забруднювальних речовин: нітроген діоксид; сульфур діоксид; озон; ТЧ_{2.5}, ТЧ₁₀.

Таблиця 2.6

Межі між індексними точками для кожного забруднювача DAQI

С (мкг/м ³)	низький			помірний			високий			Дуже високий
	0–	34–	67–	101–	121–	141–	161–	188–	214–	
O ₃	33	66	100	120	140	160	187	213	240	241 <
NO ₂	0–	68–	135–	201–	268–	335–	401–	468–	535–	601 <
	67	134	200	267	334	400	467	564	600	
SO ₂	0–	89–	178–	267–	355–	444–	533–	711–	888–	1065 <
	88	177	266	354	443	532	710	887	1064	
PM _{2.5}	0–	12–	24–	36–	42–	48–	54–	59–	65–	71 <
	11	23	35	41	47	53	58	64	70	
PM ₁₀	0–	17–	34–	51–	59–	67–	76–	84–	92–	101 <
	16	33	50	58	66	75	83	91	100	

Індекс є лише якісним поданням якості навколишнього повітря, не має наукового значення. Звіти, дослідження та інші наукові інтерпретації повинні виконуватися тільки з використанням даних вимірювань.

З 2017 року Європейська агенція довкілля (European Environment Agency (EEA)) запустила Європейський Індекс якості повітря [79]. Індекс якості

повітря дозволяє в режимі реального часу слідкувати за показниками якості повітря на території тих країн, які реалізували протоколи передачі даних в режимі реального часу. Європейський індекс якості повітря EU AQI був розроблений спільно Генеральним директором з питань навколишнього середовища Європейської комісії та ЕЕА для інформування громадян та органів державної влади про поточний стан якості повітря в Європі. Індекс науково обґрунтований, враховує новітню інформацію про вплив короткочасного підвищення концентрації забруднення на здоров'я, використовується єдиний підхід для розрахунку. Індекс використовує показники понад дві тисячі станцій контролю якості повітря по всій Європі. Всі вони належать до мережі моніторингу атмосфери «Коперник» (<http://atmosphere.copernicus.eu/>).

Індекс заснований на значеннях концентрації для п'яти основних забруднювальних речовин: тверді частинки (PM₁₀, PM_{2,5}), озон, нітроген діоксид, сульфур діоксид. Кожен з вказаних показників оцінюється відповідно до стандартів, затверджених Директивами Європейського Союзу [80].

Pollutant	Index level (based on pollutant concentrations in µg/m ³)				
	Good	Fair	Moderate	Poor	Very poor
Particles less than 2.5 µm (PM _{2,5})	0-10	10-20	20-25	25-50	50-800
Particles less than 10 µm (PM ₁₀)	0-20	20-35	35-50	50-100	100-1200
Nitrogen dioxide (NO ₂)	0-40	40-100	100-200	200-400	400-1000
Ozone (O ₃)	0-80	80-120	120-180	180-240	240-600
Sulphur dioxide (SO ₂)	0-100	100-200	200-350	350-500	500-1250

Рис.2.5. Шкала оцінювання AQI_{EU} за стандартами ЕЕА

Оскільки стандарти передбачають відмінність між показниками в довготерміновій перспективі (річний цикл) і в короткотерміновій (години і дні), то Індекс подає інформацію щодо якості повітря тільки в короткотерміновій перспективі.

Індекс якості повітря оновлює дані кожні 6 годин, але має можливість показувати дані в будь-якому хронологічному проміжку за 48 годинами.

Трапляються випадки, коли дані з аналізаторів не отримуються вчасно, тоді система використовує метод наближення, щоб змоделювати дані для таких випадків. Метод відрізняється в залежності від вимірюваного показника:

для нітроген діоксиду та твердих частинок пилу використовується диференційний метод (значення отримується шляхом моделювання системи «Коперник» з додаванням або відніманням корекційної різниці. Остання є усередненням різниці між попередніми вимірюваннями та змодельованими системою значеннями, отриманими ту саму годину протягом, як мінімум, трьох з чотирьох попередніх днів); для приземного озону застосовується мультиплікативний метод (значення отримується шляхом моделювання системи «Коперник» з додаванням корекційного коефіцієнту. Цей коефіцієнт є середнім співвідношенням між попередньо виміряними значеннями та моделями, отриманими в одну й ту ж годину протягом, як мінімум, трьох з чотирьох попередніх днів); для сульфур діоксиду методи моделювання не використовуються.

В таблиці 2.7 наведено узагальнено структурну методологію розрахунку показників Індекс якості атмосфери в Європі, Сполучених Штатах Америки, Канаді, Гонконг, Китай, Індія, Сінгапур, Велика Британія, Бельгія. Аналіз індексів в різних країнах презентує, що відмінності в підходах до питання про забруднення повітря на державному рівні, першочергово держави керуються забезпеченням охорони довкілля та здоров'я населення. Відмінна риса аналізу якості повітря України врахування найбільш шкідливих забруднювальних речовин з максимальними обсягами викидів для кожного регіону окремо. Недолік підходу розрахунку КІЗА відсутність стандартизованого переліку забруднювальних речовин, що ускладнює порівняння та обмін інформацією. Врахування специфічних забруднювальних речовин є більш об'єктивними при оцінці якості повітря, впливу його на організм людини. Базовий набір структурних під індексів: зважені частинки пилу, нітроген діоксид, сульфур діоксид, озон.

Структурні підіндекси для розрахунку Індексу якості повітря

		PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	SO ₂	O ₃	CO	NH ₃	Pb
Європа	AQI	+	+	+	+	+			
Велика Британія	DAQI	+	+	+	+	+			
Бельгія	BELATMO		+	+	+	+			
США	AQI	+	+	+	+	+	+		
Канада	AQHI	+	+	+	(+)	+	(+)		
Гонконг		+	+	+	+	+			
Китай		+	+	+	+	+	+		
Індія		+	+	+	+	+	+	+	+
Сінгапур	PSI	+	+	+	+	+			

Таким чином, проаналізований в цьому підрозділі підхід до оцінки небезпеки орієнтований в основному на використання загальноприйнятих санітарно-гігієнічних норм (на пріоритетність захисту, перш за все, людину і можливості використання нормативів якості повітря), а також на обов'язковому контролі пріоритетних речовин і вибірковому – специфічних забруднень атмосфери. Всі комплексні індекси являють собою практично середньозважені кількісні оцінки небезпеки, засновані на застосуванні тих чи інших видів експертних залежностей. Причому дані залежності визначають небезпеку декількох речовин, виходячи з рівня забруднення повітря по відношенню до діючих норм.

Висновки до розділу 2

Міжнародні методи екологічного моніторингу аналогічні з державним методами. Відмінності лежать лише в назвах цих методів, їх класифікації. Всі методи засновані на порівняння вмісту забруднювальної речовини в

аналізованій пробі з фоновим концентраціями або з встановленими нормативами (ГДК, ОБРД).

Незважаючи на різні підходи до встановлення нормативів якості повітря, більшість полютантів, що регламентуються європейським законодавством, визначені державними нормативними актами. Недостатньо врегульованим залишається вміст твердих часток пилу в повітрі та відсутня регламентація тонкодисперсного пилу (PM_{10} , $PM_{2,5}$), визначених Директивою 2008/50/ЄС.

Узагальнено основні характеристики міжнародного моніторингу атмосферного повітря: наявність уніфікованої методології вимірювання забруднювальних речовин та метеорологічних показників, наявність розгалуженої системи моніторингових станцій, системи збору, аналізу та передачі даних, концепції розвитку системи моніторингу, комунікаційних інструментів щодо стану якості атмосферного повітря. Для подальшого порівняльного аналізу вибрано КІЗА та AQI, який відбиває європейський досвід комплексного моніторингу атмосферного повітря та може бути адаптований до державних показників.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Розрахунок індексу забруднення атмосферного повітря монопрофільного міста

Забруднення атмосфери чинить негативний вплив на здоров'я людей, на біосферу в цілому. Оцінка небезпеки атмосферного повітря заснована на визначенні переліку пріоритетних і специфічних речовин, контроль за їх вмістом в повітрі агломерацій, використанні санітарно-гігієнічних норм, оцінці небезпеки забруднення повітря по різних характеристиках і параметрах зміни стану забруднення повітря. Кінцевим результатом є комплексна оцінка забруднення атмосфери і отримання вихідних даних для розробки заходів з охорони атмосферного повітря. Державні та регіональні програми моніторингу якості атмосферного повітря включають обов'язковий контроль пріоритетних забруднювальних речовин на стаціонарних і пересувних постах.

В Україні в цей перелік входять нітроген діоксид, сульфур діоксид, карбон оксид, тверді частки розміром 10 мкм (PM_{10}) і 2,5 мкм ($PM_{2,5}$), озон, бенз(а)пірен, бензол, арсен, ртуть, свинець, кадмій, нікель. Відповідно до регіональної специфіки населених пунктів на стаціонарних постах ведеться також спостереження за специфічними забруднювальними речовинами (амоніак, анілін, фенол, сірководень, ксилол, леткі органічні сполуки) [положення]. Контроль якості повітря проводиться відповідно до затвердженого переліку шкідливих речовин, який прийнятий для кожного міста окремо.

Географічне розташування Маріуполя обумовлює особливі кліматичні умови. Протягом року вводять режим несприятливих метеорологічних умов, який заважає розсіюванню шкідливих домішок в повітрі, так званий режим «смогу». Масштаби негативного впливу на атмосферне повітря регулюються

та контролюються на всіх рівнях, але якість атмосферного повітря не покращується. Тривалі викиди забруднюючих речовин, чинять негативний вплив на здоров'я людини, на екологічну систему міста.

Для моніторингу стану атмосферного повітря в м. Маріуполь розташовані пости Автоматизованої системи моніторингу довкілля у Донецькій області (пости розташовані за адресою ОАПС-02 пр. Металургів, 112, ОАПС-03 пр. Перемоги, 21), також до складу входить мережа автоматичних постів спостереження (АПС) на кордонах санітарно-захисних зон (СЗЗ) підприємств міста, адреси розташування яких зазначено в таблиці 3.2. Кількість постів на кордонах санітарно-захисних зони: ММК ім. Ілліча – 5, ПрАТ МК «Азовсталь» – 4, ДП «Маріупольський морський торговельний порт» (сміттєспалювальна піч), ПрАТ«Азовелектросталь» по 1, СЗЗ ТОВ «Сателіт» – 2.

Проведено аналіз відстані між обласними автоматизованими постами спостереження та постами на кордоні СЗЗ підприємств (таблиця 3.1). Для подальшого аналізу обрано пости відстань між якими мінімальна: ОАПС-03 та АПС-43; ОАПС-02 та АПС-44.

Обласні автоматизовані пости спостереження проводять вимірювання за забрудненнями: тверді частки розміром 2,5 та 10 мкм, карбон оксид, нітроген оксиди, сульфур діоксид, озон, фенол, формальдегід, бензол, етилбензол, толуол, ортоксилол, метаксилол. Всі ці речовини відносяться до списку забруднювальних речовин обов'язкового моніторингу згідно «Порядку організації та проведення моніторингу атмосферного повітря» 2019 року.

Відстань між ОАПС та АПС СЗЗ підприємств Автоматизованої системи
моніторингу довкілля у Донецькій області, м. Маріуполь

№ АПС	Назва підприємства СЗЗ	Адреса розташування АПС	Відстань, м	
			ОАПС-02	ОАПС-03
38	ММК ім.Ілліча	вул.Радіна,2	5500	5500
39		вул.Ак.Амосова,2а	2500	
40		вул.Металургійна,31	7800	
41		пр.Карпова,2	4400	
42		пос.Мирний, Охотни- чий провулок, 94	10000	11000
43	ПрАТ МК «Азовсталь»	вул.Гугеля,5	6600	650
44		вул.Грецька,219	1900	5400
45		вул.Азовстальська,4	7900	800
46		вул.Перша Слобідка,179Б	3600	8800
47	ДП «Маріуполь- ський морський торгівельний порт» (сміттєспалювальна піч)	Пісчаний провулок,13	10000	
48	ТОВ «Сателіт»	вул.Таганрозька,199	10000	
49		вул.Олімпійська,199	11000	
50	ПрАТ«Азовелектр осталь»	просп.Карпова,162,	4900	

Для розрахунку комплексного показника забруднення атмосфери використано первинні дані Автоматизованої системи моніторингу довкілля Донецької області з сайту Департамент екології та природних ресурсів Донецької обласної державної адміністрації [81] за 2020 рік. В таблиці 3.2, як репрезентативний приклад, представлено первинні абсолютні значення

середньодобових концентрацій забруднювальних речовин за листопад 2020 року.

Таблиця 3.2.

Середньодобові концентрації забруднювальних речовин ОАПС-03

Дата	С _{с.д.} (мкг/м ³)					
	ТЧ10	ТЧ2.5	СО	NO ₂	SO ₂	O ₃
24.11.20	120,4	25,17	541,1	1,88	9,821	33,74
23.11.20	67,68	24,21	1256	1,915	18,59	36,68
22.11.20	107,5	24,67	425,9	1,601	8,399	35,43
21.11.20	96,16	14,85	204,2	1,045	3,034	37,9
20.11.20	88,8	9,126	196,7	1,4	3,771	42,46
19.11.20	60,46	9	155,3	0,996	5,731	41,73
18.11.20	46,54	10,69	188,3	1,211	3,556	41,2
17.11.20	69,77	10,68	206,9	1,264	8,941	40,22
16.11.20	97,48	12,91	187,8	1,812	5,886	36,54
15.11.20	83,23	17,2	143,1	1,621	3,07	35,59
14.11.20	80,59	24,88	232,7	1,765	5,076	34,94
13.11.20	84,46	22,7	363,1	3,726	6,206	34,73
12.11.20	94,82	21,61	83,81	3,307	7,212	35,59
11.11.20	96,66	29,01	577,8	4,03	18,54	38,56
10.11.20	104,6	28,5	446,1	3,811	8,394	34,86
09.11.20	98,93	19,39	122,5	5,493	7,865	33,28
08.11.20	109	28,89	1447	3,228	12,16	36
07.11.20	31,19	6,946	638	3,735	7,671	41,56
06.11.20	63,71	21,93	377,9	3,504	7,472	43,27
05.11.20	91,56	19,68	292,3	2,313	9,044	36,9
04.11.20	60,34	11,82	315,6	1,044	3,504	39,35
03.11.20	76,13	13,91	503	1,619	2,556	32,98
02.11.20	103,6	29,23	1960	1,393	9,684	40,29
01.11.20	58,62	17,97	146	0,986	6,488	41,48
31.10.20	56,49	21,65	1086	1,611	6,344	37,67
30.10.20	89,92	20,32	752,1	2,067	6,906	36,96
29.10.20	73,8	11,52	271,8	1,362	4,342	39,67
28.10.20	51,45	11,15	242,9	1,731	2,84	41,02
27.10.20	60,4	14,94	190,5	1,331	4,896	44,64
26.10.20	55,47	12	254,6	1,519	5,338	42,9

В таблиці 3.3 наведено розраховані компонентні індекси забруднення атмосфери (ІЗА) за показниками: тверді частинки 2,5 та 10 мкм, нітроген діоксид, озон, сульфур діоксид. Такий набір вихідних даних обрано для узгодження державних та європейських комплексних показників, бо саме такий набір використовується для розрахунку індексу якості повітря згідно Європейського екологічного агентства. На основі ІЗА складових за формулою розраховано середньодобові значення комплексного індексу забруднення атмосфери (КІЗА).

Аналогічні розрахунки проведено в таблиці первинних даних створено для інших місяців 2020 року. Отримані результати представлено на графіках динаміки змін КІЗА на рис.3.1, 3.2. Аналіз даних показують що КІЗА змінюється від 1 до 8.

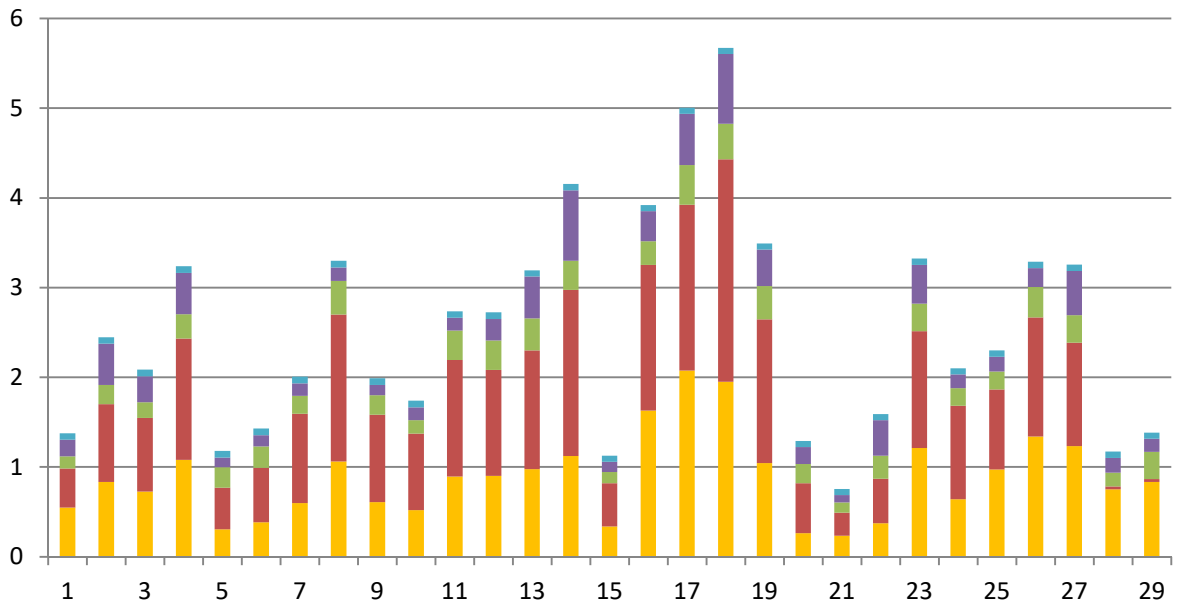
На основі даних рис. 3.1, 3.2 розраховано середньомісячне значення КІЗА результати представлено в таблиці 3.4. Використовуючи середньомісячне значення КІЗА та показники ІЗА (табл. 3.4) проведено розрахунок середнього внеску компонентного ІЗА в КІЗА. Результати представлені в таблиці 3.5. З табличних даних видно, що основний внесок в КІЗА вносять тверді частки та озон. Максимальний внесок ІЗА озон влітку (70 %), що пояснюється фізико-хімічними процесами атмосфери.

Аналіз отриманих величин ІЗА (табл. 3.4,) показує, що кожне забруднення дає свій внесок в величину КІЗА. значення перебувають у діапазоні від 1,0 до 12,5, що варіюється від низького до високого рівню забруднення атмосфери.

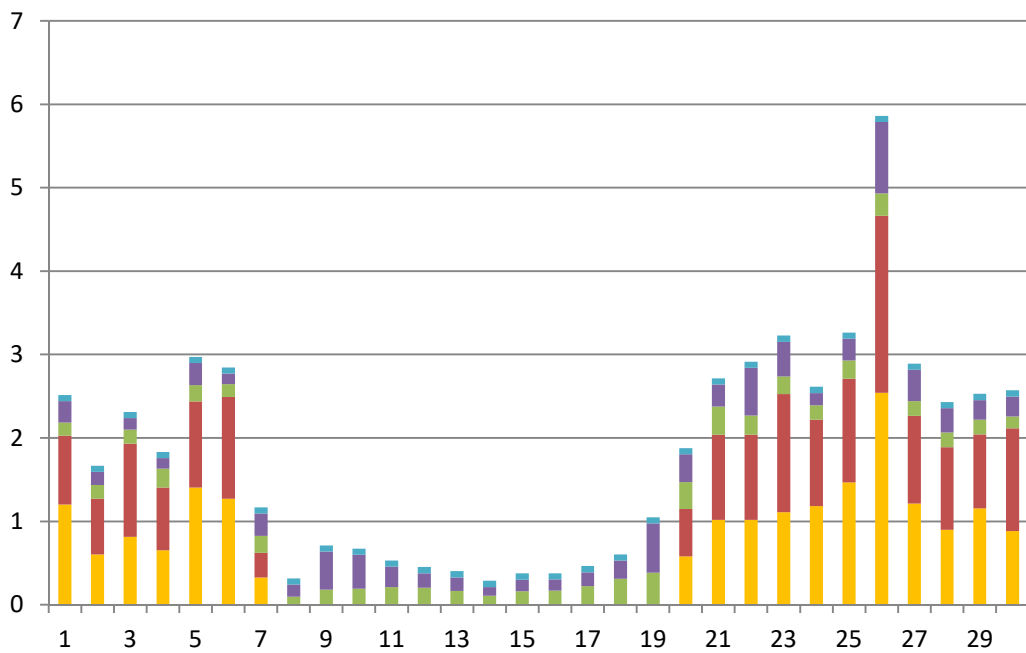
Таблиця 3.3.

Індекси забруднювальних речовин та КІЗА за даними ОАПС -03

Дата	ІЗА					КІЗА
	ТЧ10	ТЧ2.5	NO ₂	SO ₂	O ₃	
24.11.20	3,44	1,48	0,05	0,2	1,19	6,36
23.11.20	1,93	1,42	0,05	0,37	1,35	5,12
22.11.20	3,07	1,45	0,04	0,17	1,28	6,01
21.11.20	2,75	0,87	0,03	0,06	1,42	5,13
20.11.20	2,54	0,54	0,04	0,08	1,68	4,88
19.11.20	1,73	0,53	0,02	0,11	1,64	4,03
18.11.20	1,33	0,63	0,03	0,07	1,61	3,67
17.11.20	1,99	0,63	0,03	0,18	1,55	4,38
16.11.20	2,79	0,76	0,05	0,12	1,34	5,06
15.11.20	2,38	1,01	0,04	0,06	1,29	4,78
14.11.20	2,3	1,46	0,04	0,1	1,26	5,16
13.11.20	2,41	1,34	0,09	0,12	1,25	5,21
12.11.20	2,71	1,27	0,08	0,14	1,29	5,49
11.11.20	2,76	1,71	0,1	0,37	1,46	6,4
10.11.20	2,99	1,68	0,1	0,17	1,25	6,19
09.11.20	2,83	1,14	0,14	0,16	1,17	5,44
08.11.20	3,11	1,7	0,08	0,24	1,31	6,44
07.11.20	0,89	0,41	0,09	0,15	1,63	3,17
06.11.20	1,82	1,29	0,09	0,15	1,73	5,08
05.11.20	2,62	1,16	0,06	0,18	1,36	5,38
04.11.20	1,72	0,7	0,03	0,07	1,5	4,02
03.11.20	2,18	0,82	0,04	0,05	1,15	4,24
02.11.20	2,96	1,72	0,03	0,19	1,56	6,46
01.11.20	1,67	1,06	0,02	0,13	1,63	4,51
31.10.20	1,61	1,27	0,04	0,13	1,41	4,46
30.10.20	2,57	1,2	0,05	0,14	1,37	5,33
29.10.20	2,11	0,68	0,03	0,09	1,52	4,43
28.10.20	1,47	0,66	0,04	0,06	1,6	3,83
27.10.20	1,73	0,88	0,03	0,1	1,82	4,56
26.10.20	1,58	0,71	0,04	0,11	1,71	4,15



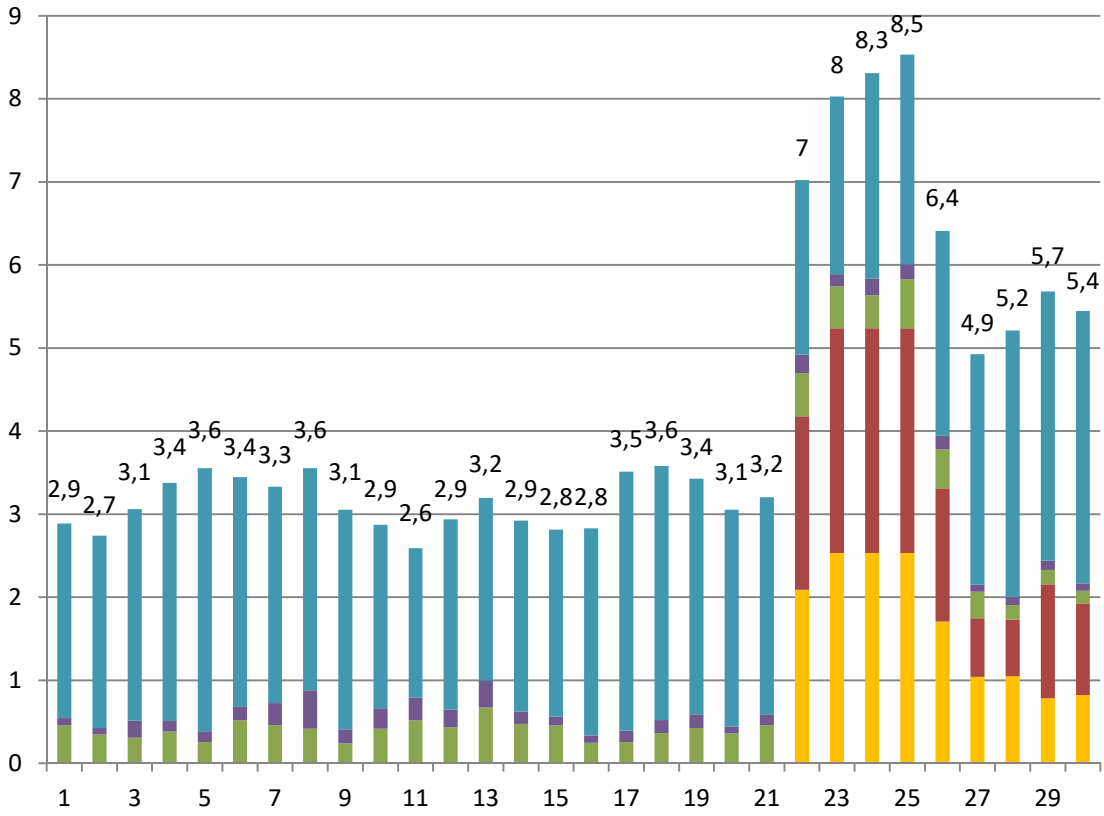
а)



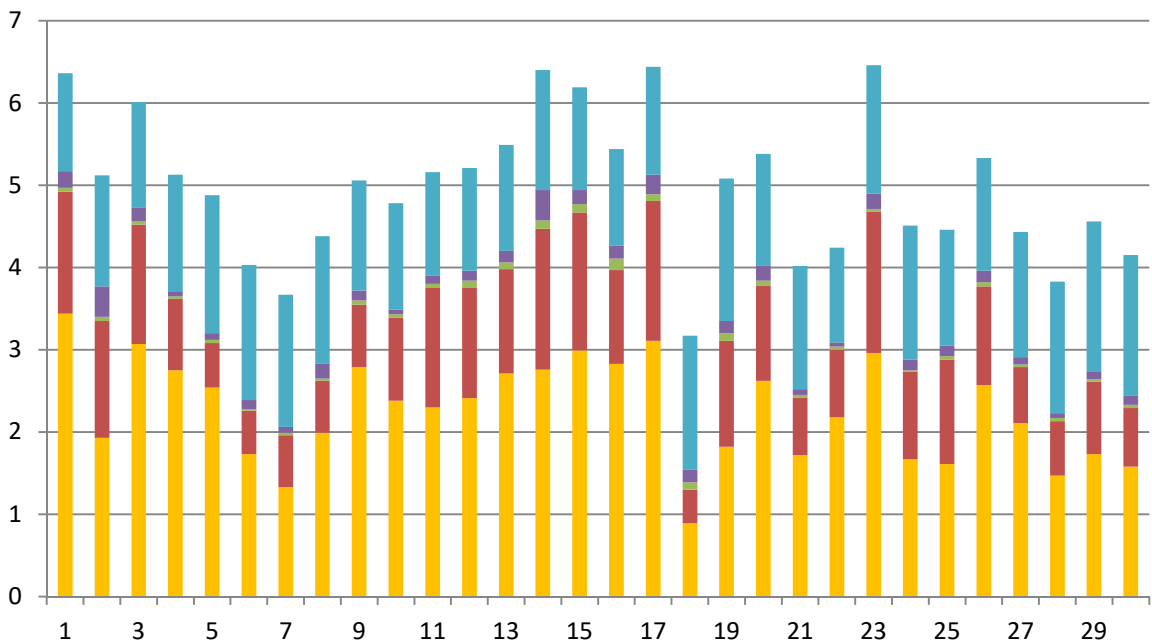
б)

■ ТЧ10 ■ ТЧ2.5 ■ NO2 ■ SO2 ■ O3

Рис. 3.1. Динаміка зміни КІЗА за даними ОАПС-03 м. Маріуполь за твердими частками, нітроген діоксидом, сульфур діоксидом, озоном:
а) лютий 2020; б) травень 2020.



а)



б) TЧ10 ТЧ2.5 NO2 SO2 O3

Рис. 3.2. Динаміка зміни КІЗА за даними ОАПС-03 м. Маріуполь за твердими частками, нітроген діоксидом, сульфур діоксидом, озоном: а) серпень 2020; б) листопад 2020.

Таблиця 3.4.

Середній відсоток («внесок») забруднювальних речовин в КІЗА ОАПС-03

	ТЧ10	ТЧ2.5	NO ₂	SO ₂	O ₃	КІЗА
січень	43	29	11	13	4	2,7
лютий	36	37	12	12	3	2,4
березень	30	40	11	15	4	2,7
травень	25	23	20	24	8	1,8
серпень	7	8	10	5	70	4,2
вересень	33	40	6	2	19	6,5
жовтень	45	29	3	2	21	5,5
листопад	45	21	1	3	30	5,0
срзнач	33	28	9	10	20	3,9

Середній відсоток («внесок») забруднювальних речовин в КІЗА становить (табл. 3.4): ТЧ10 – 33 %; ТЧ2.5 – 28 %; NO₂ – 9 %, SO₂ – 10 %; O₃– 20 %. Основними забруднювальними речовинами є тверді частинки та озон. Середнє значення КІЗА = 3,9 згідно шкали характеризується, як низький рівень забруднення. Отриманий результат не узгоджується з результатами розрахунку КІЗА = 14,3 за I півріччя 2020 року за даними мережі спостережень Національної гідрометслужби України згідно [82]. Розбіжність пояснюється вибором підіндексів.

За даними Автоматизованої системи моніторингу значного перевищення концентрацій формальдегіду, які могли би привести до збільшення КІЗА, не спостерігається: протягом 2020 року абсолютні концентрації або не перевищують ГДК, або не вимірюються внаслідок проведення технічних робіт.

За даними [83] було зафіксовано перевищення середньорічних концентрацій забруднюючих речовин у Маріуполі: протягом 2019 року завислі

речовини – 1,06 ГДКс.д., діоксид азоту – 1,5 ГДКс.д., фенол – 2,0 ГДКс.д., формальдегіду – 7,0 ГДКс.д.; протягом 2018 року: завислі речовини – 1,3 ГДКс.д., діоксид азоту – 1,75 ГДКс.д., фенол – 2,0 ГДКс.д., формальдегіду – 6,0 ГДКс.д.;

В роботі [84] наведено динаміку зміни КІЗА в м. Маріуполь з 2000-2016 р. Значення показника в межах від 7 – 20, що характеризується як високій рівень забруднення. Таким чином, знов спостерігаються розбіжності, але в роботі не наведено набір забруднювальних речовин, за якими розраховувався індекс. Але в роботі присутній перелік, за яким зафіксоване перевищення ГДК згідно законодавства України: пил, нітроген діоксид, бензапірен, амоніак, формальдегід. Автори пояснюють перевищення концентрацій формальдегіду з додатковими джерелами забруднення. Автори роботи [85] спостерігали значні перевищення формальдегіду до 10ГДК в повітрі міста в весняно-осінній період, які пояснюється температурним та режимом сонячного випромінювання.

В роботі [85] у багатьох містах України фіксуються регулярні перевищення гранично допустимої концентрації формальдегіду. Формальдегід – мікрокомпонент атмосферного повітря, безбарвний газ з різким запахом, відноситься до 2-го класу небезпеки. Ступінь та характер дії залежить від концентрації, тривалості, способу контакту, індивідуальних особливостей організму. Згідно «Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» формальдегід відноситься до списку загальнопоширених забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Максимальна разова гранично допустима концентрація 0,035 мг/м³, середньодобова 0,003 мг/м³. Спостереження за вмістом формальдегіду в атмосферному повітрі здійснюються на постах регіональних центрів з гідрометеорології.

За даними постів спостереження Донецького регіонального центру з гідрометеорології складено динаміку перевищення середньомісячних гранично допустимих концентрацій формальдегіду [86]. Кількісні значення

перевищень гранично допустимої концентрації формальдегіду протягом 2017 – 2018р. в м. Маріуполь представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Перевищення (кількість разів) середньомісячних ГДК формальдегіду на постах Донецького регіонального центру з гідрометеорології [86]

рік	I	II	III	IV	V	VI	VII	IX	X	XI
2018	4,3	3,4	2,6	4,8	8,9	7,7	8,5	8,4	6,1	–
2017	3,9	4,9	5,5	–	–	9,1	9,1	7,8	6,8	5,2

«Основні антропогенні забруднювачі атмосферного повітря формальдегідом – промисловість та автотранспорт. Сполуки, які безпосередньо викинуті в атмосферу (первинні забруднення), взаємодіють між собою й утворюють токсичні сполуки (вторинні забруднення). Як вторинне забруднення формальдегід може утворюватися в процесі фотохімічних реакцій при взаємодії вуглеводнів (метану) з гідроксильними радикалами. Підвищення інтенсивності сонячного випромінювання та підвищення температури атмосферного повітря сприяє перебігу фотохімічних реакцій, що призводить до підвищення концентрації формальдегіду в повітрі. У таких випадках пошуки винних контрольно-наглядовими органами залишаються безрезультатними – у викидах підприємств формальдегід залишається незмінним, в той час, як загальний його вміст в атмосфері збільшується. Для зниження показників забруднення атмосферного повітря формальдегідом необхідно загальне зниження викидів особливо в теплий період» [86].

3.2. Оцінка якості атмосферного повітря на межі санітарно-захисних зон підприємств

Маріуполь монопрофільне місто на території якого розташовано найбільший в області металургійний комбінат. Згідно даних [87] загальний об'єм викидів від стаціонарних джерел в атмосферне повітря міста Маріуполь збільшується протягом 2017 – 2019 років (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6.

Динаміка обсягів викидів забруднювальних речовин від стаціонарних джерел
м. Маріуполь

Рік	Обсяги викидів		
	забруднювальних речовин від стаціонарних джерел, т	сульфур діоксид, т	нітроген діоксид, т
2017	288227,2	17142,5	10413,8
2018	316578,1	16660,6	10299,7
2019	330071,3	15551,1	9877,3

В якості основи для розробки системи екологічних обмежень використовуються санітарно-гігієнічні нормативи, які гарантують нормальні умови праці та відпочинку, збереження здоров'я людини. Залежно від характеру і кількості, що виділяються в довкілля шкідливих і з неприємним запахом, рівня шуму, вібрації, електромагнітного, іонізуючих випромінювань та інших факторів промислові об'єкти повинні відділятися від житлової забудови санітарно-захисними зонами.

Санітарно-захисна зона – територія з особливим режимом використання, розмір якої забезпечує достатній рівень безпеки здоров'я населення від шкідливого впливу промислових об'єктів на її межі та за нею. Межа санітарно-захисної зони встановлюється по найкоротшому напрямку від джерел викидів забруднювальних речовин до межі територій об'єктів соціального призначення; земельних ділянок (приватний сектор); вікон житлових будинків (багатопверхова житлова забудова). Для груп об'єктів або промислового вузла встановлюється єдина санітарно-захисної зони з

урахуванням сумарних викидів забруднювальних речовин і фізичного впливу від джерел викидів.

Санітарно-захисна зона повинна мати відповідний ступінь озеленення території не менше 60 % площі для об'єктів з розмірами не більше 100 м; 50 % площі для об'єктів з розмірами від 101 до 500 м; 40 % площі для об'єктів з розмірами від 501 до 1000 м і більше. У санітарно-захисній зоні не допускається розміщувати: житлову забудову, зони відпочинку, території дачних і садово-городніх ділянок; спортивні споруди, дитячі майданчики; заклади освіти; організації охорони здоров'я, аптеки; об'єкти харчових галузей промисловості; комплекси водопровідних споруд для водопідготовки питної води; об'єкти з вирощування сільськогосподарської продукції. Допускається розміщувати на території або в межах санітарно-захисної зони: будівлі і споруди для обслуговування працівників об'єкта; адміністративні будівлі, споруди; конструкторські бюро і науково-дослідні лабораторії; гаражі, майданчики та споруди для зберігання транспорту; пожежні депо, лінії електропередач, нафто- і газопроводи; артезіанські свердловини для технічного водопостачання, водоохолоджувальні споруди для підготовки технічної води, каналізаційні насосні станції; автозаправні станції, технічного обслуговування автомобілів станції.

Зміна встановлених розмірів санітарно-захисної зони здійснюється на підставі: санітарних норм, правил і гігієнічних нормативів; акта державної санітарно-гігієнічної експертизи проекту санітарно-захисної зони; розрахунків прогнозованих рівнів максимальних приземних концентрацій забруднювальних речовин, з урахуванням фонових концентрацій забруднювальних речовин на межі санітарно-захисної зони та фізичних впливів, виконаних акредитованими організаціями; оцінки ризику здоров'ю населення; результатів лабораторного контролю, рівнів фізичного впливу.

Базові розміри санітарно-захисної зони встановлюються відповідно до державних санітарних правил, відповідати вимогам та правилам, що визначені в Законах України щодо охорони атмосферного повітря та охорони

навколишнього природного середовища, а саме СанПіН 2.2.1/2.1.1.567- 96 «Санітарно-захисні зони і санітарна класифікація підприємств, споруд та інших об'єктів», ДСП-201-97 «Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами)»; ДСанПіН № 173 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів», Наказ МОЗ України № 184 про затвердження методичних рекомендацій «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря», від 13.04.2007р., ДБН 360-92 «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень», ДБН А.2.2-3-2004 «Проектування. Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва»; п. 2.5. «Інструкція про загальні вимоги до оформлення документації, у якій обґрунтовуються обсяги викидів для одержання дозволу на викид забруднювальних речовин в атмосферне повітря для підприємств, установ, організацій і фізичних осіб - підприємців» №108 від 09.03.2006р. Мінприроди України.

Для досягнення мети роботи згідно аналізу представленому в таблиці 3.1 для дослідження використано дані від АСП-43. В таблиці 3.7 наведено розраховані показники КІЗА за показниками завислих речовин, нітроген діоксиду, сульфур діоксиду, озону.

Значення розрахованих КІЗА за АПС-43 за 2020 рік

II	III	V	VIII	XI	X
4,3	7,4	8,4	10,1	1,1	2
7,5	10	5,3	9,3	3,1	0,6
5,1	6,9	6,5	14	1,3	4,2
1,4	7,4	5,9	12,5	1,4	3,3
1,2	6,9	5,9	12,5	0,8	2,6
2	5,9	7,3	10,6	1	2,1
3,5	8,5	4,4	6,2	0,8	7,2
1,4	11,7	4,5	8,4	0,4	7,1
1,7	5,2	7,6	5	1	4,1
3	4,4	4,7	6,4	0,7	4
3,7	2,8	3,9	7,7	1,5	6,2
1,8	4,2	6,3	8,2	1,3	5,6
3,5	8,6	6,9	10,8	1,3	6,9
2,8	4,8	7,4	9,9	4,7	4,6
2,9	6	5,5	10,7	3,3	5,8
3,2	4,6	5,9	13,2	2,1	5,8
3,4	4,4	6,8	13,4	2,9	6,8
2,4	6,8	6,9	11,2	1	6,2
1,4	5,6	9,2	11	1	5,9
1,6	4,4	9	8,3	2,5	4,3
2,5	4	6,4	4,4	2	3,9
4,4	4,5	7,8	9,4	2,2	3,2
4,7	4,5	7,7	10,6	3,3	5,2
3,3	7,3	8	10,1	2,2	3,7
3,8	7	6,7	11	2,9	4,6
4,3	5,3	8,7	11,2	3,5	4,6
5,1	5	4,6	6	1,9	
3,3	3,4	4,3	6,9	2	
5,9	3,8	4,1	8,7	2,9	

Середній відсоток («внесок») забруднювальних речовин в КІЗА становить (табл. 3.8): ТЧ₁₀ – 23 %; ТЧ_{2,5} – 10 %; NO₂ – 10 %, SO₂ – 34 %; O₃–

23 %. Основними забруднювальними речовинами є тверді частинки, сульфур діоксид та озон, середні перевищення за якими більше за 1ГДК.

Таблиця 3.8.

Середні значення ІЗА та середній відсоток («внесок») забруднювальних речовин в КІЗА АПС-43

						КІЗ А					
	ТЧ ₁ 0	ТЧ ₂ 5	NO 2	SO ₂	O ₃		ТЧ ₁ 0	ТЧ ₂ 5	NO 2	SO 2	O 3
лютий	1,1	0,1	0,2 7	1,3	0,5	3,3	33	3	9	36	18
березень	1,85	0,89	0,6 4	1,2 2	1,2 8	5,89	31	14	12	22	22
травень	1,29	0,42	0,5 6	1,7 1	2,3 8	6,4	20	7	9	27	37
серпень	1,6	0,66	0,7 8	3,3 7	3,1 6	9,5	17	7	9	35	32
вересень	1,8	1,86	0,6 7	3,5 4	3,4 8	11,35	16	17	6	31	30
жовтень	1,36	0,63	0,4 5	1,6 7	0,5 3	4,6	31	14	10	35	10
листопа д	0,28	0,27	0,2 6	1,3 2	0,2 6	2,0	12	11	11	55	11
срзнач	1,33	0,69	0,5 2	2,0 2	1,6 6	6,15	23	10	10	34	23

Маріупольська гідрометеорологічна обсерваторія Донецького регіонального центру з гідрометеорології (5 стаціонарних постів спостереження у м. Маріуполь). У повітрі м. Маріуполь визначаються такі забрудники: амоніак, пил, нітроген діоксид, сульфур діоксид, карбон діоксид,

фенол, формальдегід [88]. Переважна більшість вказаних хімічних сполук - це результат діяльності металургійних заводів міста.

3.3. Порівняння інтегральних індексів якості атмосферного повітря м. Маріуполь

Використовуючи дані Автоматизованої системи моніторингу довкілля Донецької області розраховано середні за місяць концентрації забруднення атмосфери, розраховані значення ІЗА та КІЗА за 2020 рік за даними ОАПС-03 м. Маріуполь. Аналіз таблиці показує, що в загальному спостерігаємо 12 перевищень з загальної вибірки, що складає приблизно 25 – 30 %. Перевищення ГДК спостерігається в більшості за зваженими частинками. Середнє значення комплексного індексу забруднення повітря за досліджений період 4,1. Отриманий результат відноситься до низького рівня забруднення повітря, не узгоджується з КІЗА розрахованому за державним стандартом (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Середньомісячні концентрації забруднювальних ($C_{с.д.}$ (мкг/м³)) речовин, розраховані значення ІЗА та КІЗА за 2020 рік за даними ОАПС-03 м.Маріуполь

	$C_{с.д.}$ (мкг/м ³)					$C_{с.д.}$ /ГДК					КІЗА
	ТЧ ₁₀	ТЧ _{2.5}	NO ₂	SO ₂	O ₃	ТЧ ₁₀	ТЧ _{2.5}	NO ₂	SO ₂	O ₃	
січень	39,9	14,61	10,16	17,12	5,81	1,1	0,9	0,3	0,3	0,2	2,7
лютий	30,71	17,46	10,39	14,55	5,14	0,9	1	0,3	0,3	0,2	2,6
березень	36,25	19,13	8,42	14,39	5,25	1	1,1	0,2	0,3	0,2	2,7
травень	22,59	10,51	8,05	13,77	5,28	0,6	0,6	0,2	0,3	0,2	1,8
серпень	17,7	8,93	15,44	8,47	56,55	0,5	0,5	0,4	0,2	1,9	4,2
вересень	61,56	45,79	13,92	6,6	56,97	1,8	2,7	0,3	0,1	1,9	7,5

жовтень	84,58	26,49	5,59	4,97	45,5	2,4	1,6	0,1	0,1	1,5	6
листопад	79,33	18,22	2,14	7,11	38,27	2,3	1,1	0,1	0,1	1,3	5,1
срзнач	45,3	19,8	12,7	15,2	27,6	1,3	1,2	0,2	0,2	0,9	4,1

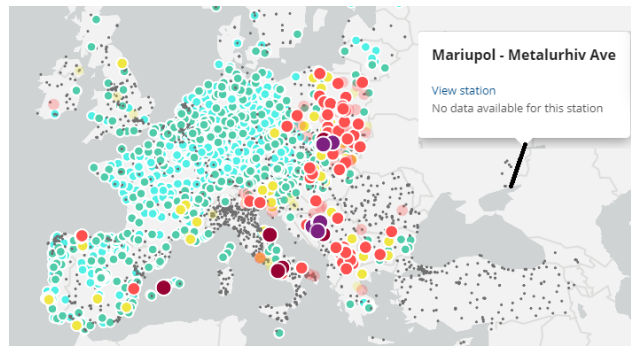
Результати таблиці 3.9. проаналізовані за пороговими значеннями згідно шкали європейського індексу якості повітря AQI_{EU} , представленої на рис. 2.5. Отримані результати оцінюються як добрі за нітроген, сульфур оксидами та озоном. За зваженими частинками достатньо добрий, помірно, небезпечний стан повітря.

Таблиця 3.10

Індекс якості повітря європейський (AQI_{EU}) м.Маріуполь 2020 р.

	С _{с.д.} (мкг/м ³)					AQI_{EU}
	ТЧ ₁₀	ТЧ _{2.5}	NO ₂	SO ₂	O ₃	
січень	39,90	14,61	10,16	17,12	5,81	40
лютий	30,71	17,46	10,39	14,55	5,14	31
березень	36,25	19,13	8,418	14,39	5,25	36
травень	22,59	10,51	8,05	13,77	5,28	23
серпень	17,70	8,93	15,44	8,47	56,55	57
вересень	61,56	45,79	13,92	6,60	56,97	62
жовтень	84,58	26,49	5,59	4,97	45,50	85
листопад	79,33	18,22	2,14	7,11	38,27	80

Комплексний показний в 1 з 8 випадків визначається, концентрацією озону, в усіх інших випадках концентрацією зважених частинок. В 3 з 8 випадків, спостерігається небезпечний стан повітря. Автоматизована система моніторингу атмосферного повітря Донецької області приєдналася до інформаційної системи в червні 2020 року, але на листопад 2020 року знаходиться в режимі дослідної експлуатації.



Оцінено якість атмосферного повітря використовуючи модель світового індексу якості повітря. Результати моніторинг стану атмосферного повітря досліджено на Інтернет ресурсі «Індекс якості повітря в режимі реального часу». На рис.3.3 представлено інформацію з ресурсу <http://aqicn.org>, на рис. 3.4 з ресурсу <http://waqi.info>. Обидва ресурси використовують модель американський індекс якості повітря (AQI_{EPA}).

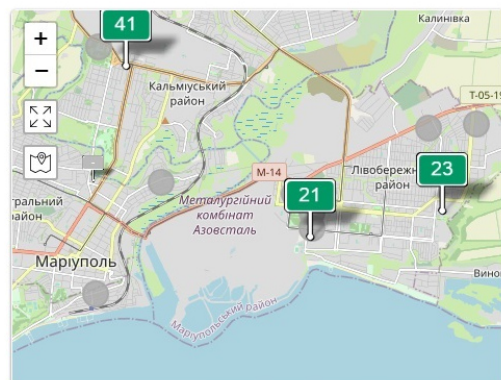
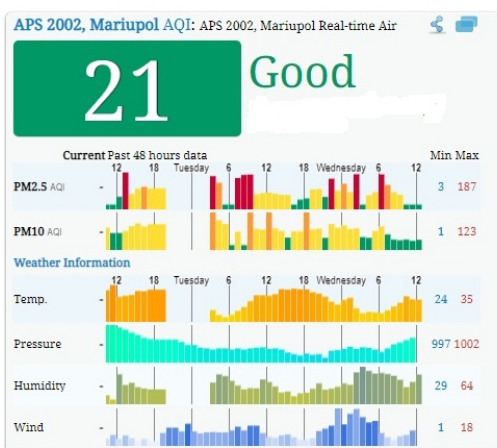
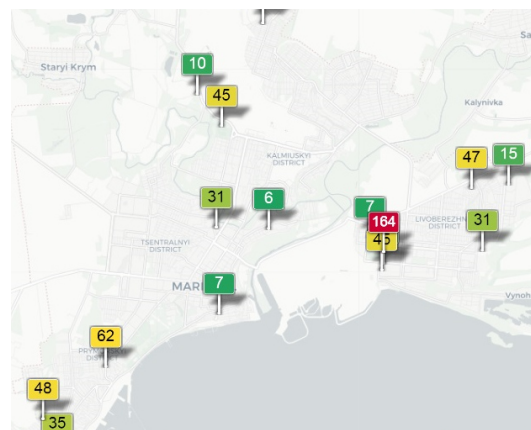


Рис. 3.3. Знімок карти пунктів моніторингу в режимі реального часу <http://aqicn.org>.

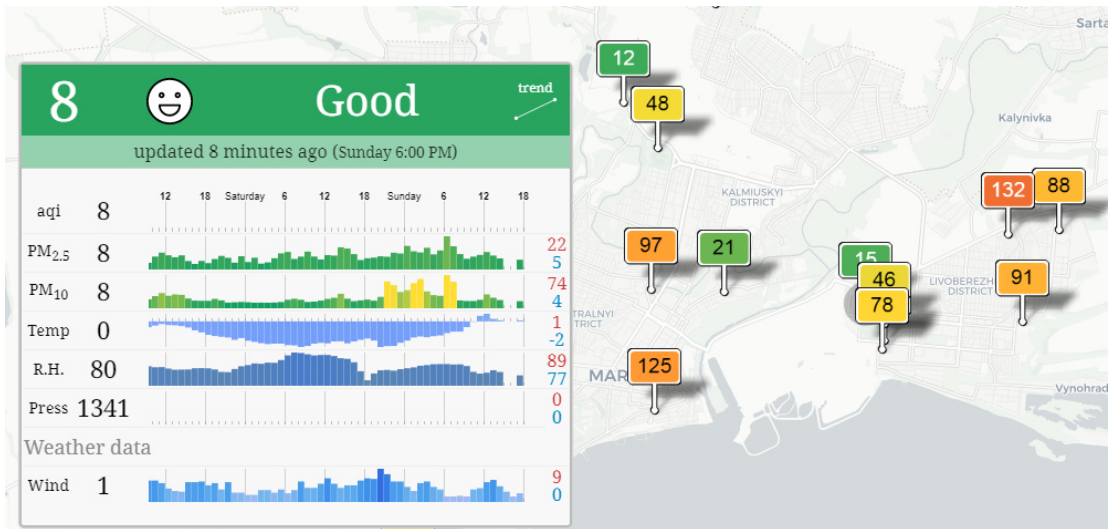


Рис. 3.4. Знімок карти пунктів моніторингу в режимі реального часу <http://waqi.info>.

В м. Маріуполь за даними сайту знаходиться 15 пунктів моніторингу, за розташуванням більшість співпадає з автоматизованими пунктами спостереження. На всіх пунктах відсутній необхідний набір компонентів, а саме присутні показники: PM_{2.5}, PM₁₀. Дані за вмістом O₃, NO₂, SO₂, CO на сайті не представлені. Для комплексної оцінки у було переглянуто більшість пунктів по Україні, повний набір показників не присутній для жодної точки моніторингу. На деяких пунктах присутні показники карбон оксиду, нітроген діоксиду. Під час дослідження зафіксовані надвисокі дані для міста Київ, де показник змінювався 500-1900. Система колірних позначень відповідає ступені забруднення кожного з забруднювальних речовин. Переважна більшість пунктів відповідає помірно небезпечному та небезпечному стану повітря.

На сайті <http://aqicn.org> в Україні активно візуалізуються результати система громадського моніторингу якості повітря, в якій постійно функціонує близько 400 автоматичних станцій Eco-City та SaveDnipro, які в он-лайн режимі вимірюють концентрацію дрібнодисперсного пилу, а деякі вимірюють основні забруднювальні речовини, включно з озоном, амоніаком, радіаційний фон.

Напряму співставляти кількісні дані європейського та американської моделі індексу якості повітря неможливо, тому що вони використовують різні

стандарти. Для порівняння необхідно перевести значення концентрацій державного нормативу з мкг/м^3 в ppb (*parts per billion*, одиниця вимірювання концентрації, становить одну мільярдну частину). Конвертацію в ppm проведено для кожного конкретного значення (температура $20\text{ }^\circ\text{C}$, тиск 760 мм рт.ст.) за формулою [89]:

$$C_{\text{EPA}} = C \cdot 24,05526 / M_r$$

або

$$C_{\text{EPA}} = C / K$$

C_{EPA} – концентрація забруднювальної речовини за стандартом EPA, ppm ;

C – концентрація забруднювальної речовини за європейським стандартом, мкг/м^3 ;

M_r – молекулярна маса речовини;

K – коефіцієнт конвертації, який дорівнює $K(\text{NO}_2) = 1,25$; $K(\text{SO}_2) = 2,66$;

$K(\text{O}_3) = 2$; $K(\text{CO}) = 1,17$.

Конвертацію здійснено $\text{мкг/м}^3 \rightarrow \text{ppb}$ для O_3 , SO_2 , NO_2 . Концентрації $\text{PM}_{2,5}$ та PM_{10} використано в мкг/м^3 згідно формули AQI_{EPA} для оцінки під індексу необхідно округлити до цілих значень. Отримані результати наведено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Індекс якості повітря світовий (AQI_{EPA}) м. Маріуполь 2020 р.

	$C_{\text{с.д.}}$ (мкг/м^3)		$C_{\text{с.д., ppb}}$			$(\text{AQI}_{\text{EPA}})_i$					AQI_{EPA}
	TЧ_{10}	$\text{TЧ}_{2,5}$	NO_2	SO_2	O_3	TЧ_{10}	$\text{TЧ}_{2,5}$	NO_2	SO_2	O_3	
січень	40	15	5,75	6,38	3,0	37	57	6	9	3	57
лютий	31	17	5,75	5,63	2,5	29	61	6	9	3	61
березень	36	19	4,18	5,26	2,5	33	66	4	7	3	66
травень	23	11	4,18	5,26	2,5	21	46	4	7	3	46
серпень	18	9	7,84	3,0	29	17	38	8	3	27	38
вересень	62	46	7,32	2,63	29	54	127	7	3	27	127

ЖОВТЕНЬ	85	26	3,14	1,88	23	66	166	3	3	21	166
ЛИСТОПАД	79	18	1,05	2,63	19	63	163	1	3	18	163

Для розрахунку підіндексу AQI_{EPA} через концентрацію використано дані таблиці 3.11 та он-лайн калькулятор підіндексу якості атмосферного повітря, який реалізовано на ресурсі <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-calculator-concentration>, що аналогічно розрахунку за робочою формулою. Таким чином для кожного конкретного значення всередині кожної вибірки визначався інтервал і розраховувалась величина за формулою для розрахунку AQI_{EPA} .

Оцінено індекс якості повітря за шкалою табл. 2.4. проведений розрахунок комплексного індексу забруднення атмосфери. З даних таблиці 3.11 видно, що підіндекси забруднювальних речовин переважно знаходяться в безпечному інтервалі, зокрема сумарний показник ΣAQI_{EPA} обумовлений поточними концентраціями зважених часток $PM_{2,5}$.

В таблиці 3.12 наведено порівняння розрахованих інтегральних показників.

Таблиця 3.12

Інтегральні показники якості повітря за 2020 рік за даними ОАПС-03
м.Маріуполь

	$C_{с.д.}$ (мкг/м ³)					КІЗА	AQI_{EU}	AQI_{EPA}
	$ТЧ_{10}$	$ТЧ_{2,5}$	NO_2	SO_2	O_3			
січень	39,9	14,61	10,16	17,12	5,81	2,7	40	57
лютий	30,71	17,46	10,39	14,55	5,14	2,6	31	61
березень	36,25	19,13	8,42	14,39	5,25	2,7	36	66
травень	22,59	10,51	8,05	13,77	5,28	1,8	23	46
серпень	17,7	8,93	15,44	8,47	56,55	4,2	57	38
вересень	61,56	45,79	13,92	6,6	56,97	7,5	62	127
жовтень	84,58	26,49	5,59	4,97	45,5	6	85	166
листопад	79,33	18,22	2,14	7,11	38,27	5,1	80	163

З таблиці 3.12 видно, що набір забруднювальних речовин, який використовується майже в усіх реалізованих моделях якості повітря, обумовлює однакові якісні результати, не дивлячись на різні кількісні результати. За даним набором забруднювальних речовин не можливо комплексно судити про якість повітря.

Зв'язок між основними джерелами викидів з атмосферою, дослідження складу атмосфери, наукові проблеми, що мають суспільне значення, і подальший вибір суспільства та сфери впливу. Дослідження в галузі оцінки якості атмосфери допомагають створити прогнозуючу здатність щодо майбутніх умов довкілля, що може вказувати на ймовірний вплив різних видів промисловості на суспільство.

Висновки до розділу 3

Використовуючи дані Автоматизованої системи моніторингу довкілля Донецької області розраховано середньомісячні концентрації забруднювальних речовин за даними регіональних постів та автоматичних постів спостереження на межі санітарно-захисних зон. Для оцінки якості атмосферного повітря використано набір даних: зважені частинки, озон, нітроген та сульфур діоксиди, які використовуються для розрахунку світових показників якості повітря.

Розраховано середній відсоток забруднювальних речовин, підіндекси та індекси якості атмосферного повітря за нормативами України, ЕЕА, ЕРА. Отримані результати відрізняються за кількісними значеннями, але за шкалою якості повітря подібні. Врахування в вихідному наборі даних по формальдегіду, значно збільшує кількісне значення ІЗА.

Виявлена тенденція збільшення особливості зміни концентрації формальдегіду в атмосфері міста протягом 2017 – 2020 рр. Підвищення концентрації домішки в атмосфері пов'язано з підвищенням хімічної

активності атмосфери в теплий період року та підвищенням загальної кількості викидів в атмосферу.

ВИСНОВКИ

Антропогенна діяльність людини впливає на забруднення атмосферного повітря. Наслідки недбалого ставлення до довкілля призвели до погіршення стану атмосферного повітря, що негативно впливає на світову економіку. Приземний озон може пошкодити сільськогосподарські культури, ліси та іншу рослинність, погіршуючи їх ріст і впливаючи на біорізноманіття. Осадження сполук нітрогену може спричинити евтрофікацію, надлишок поживних речовин. Сполуки сульфуру та нітрогену підвищують рівень кислотності. Евтрофікація, підкислення можуть впливати на наземні та водні екосистеми, можуть привести до змін у видовому біорізноманітті та інтродукції нових видів. Підкислення також може призвести до підвищення концентрацій токсичних металів у воді або ґрунтах, що збільшує ризик поглинання в харчовому ланцюзі. Токсичні метали та стійкі органічні сполуки, крім токсичності для довкілля, мають тенденцію до біоаккумуляції у тварин і рослин і до біомагніфікують, маючи на увазі, що концентрації в тканинах організмів збільшуються на послідовно вищих рівнях в харчовий ланцюг.

Індекс забруднення атмосферного повітря є комунікаційним інструментом, який використовується державними та громадськими органами для сповіщення населення про поточний стан якості повітря. Необхідність подібного показника полягає в тому, що абсолютні концентрації забруднювальних речовин в масових одиницях мг/м³ в атмосферному повітрі можуть бути зрозумілими вузькому колу фахівців. Більшість населення не зрозуміє прямих результатів вимірювання, ще менша кількість людей може зробити висновок про очікувані наслідки. Саме тому, необхідно перетворювати поточні концентрації забруднення в показник, який відбиває взаємозв'язок між даними моніторингових спостережень і наслідками для здоров'я людини.

У різних країнах по-різному розраховують індекс якості повітря. Абсолютних способів його обчислення не існує. Показники якості повітря

завжди засновані на концентраціях регульованих забруднень, можуть не відображати повну небезпеку для здоров'я. Індекс якості повітря може бути низьким, але при цьому схильність до впливу нерегульованих забруднень може бути високою. Забруднення, як формальдегід (канцерогенний), дрібні частки (викликають всі види проблем зі здоров'ям), миш'як, нафталін, ароматичні сполуки та інші токсичні сполуки не включено до розрахунку показників якості повітря, оскільки вони не регулюються. Показники якості повітря інформує про регульовані забруднення та їх ймовірний вплив на здоров'я.

Використовуючи дані Автоматизованої системи моніторингу довкілля Донецької області розраховано середньомісячні концентрації забруднювальних речовин за даними регіональних постів та автоматичних постів спостереження на межі санітарно-захисних зон. Для оцінки якості атмосферного повітря використано набір даних: зважені частинки, озон, нітроген та сульфур діоксиди, які використовуються для розрахунку світових показників якості повітря.

Розраховано середній відсоток забруднювальних речовин, підіндекси та індекси якості атмосферного повітря за нормативами України, ЕЕА, ЕРА. Отримані результати відрізняються за кількісними значеннями, але за шкалою якості повітря подібні. Врахування в вихідному наборі даних по формальдегіду, значно збільшує кількісне значення ІЗА.

Виявлена тенденція збільшення особливості зміни концентрації формальдегіду в атмосфері міста протягом 2017 – 2020 рр. Підвищення концентрації домішки в атмосфері пов'язано з підвищенням хімічної активності атмосфери в теплий період року та підвищенням загальної кількості викидів в атмосферу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019, published online January 2020, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513>.
2. Smith, A. B., Katz R. W. US billion-dollar weather and climate disasters: data sources, trends, accuracy and biases. *Natural Hazards*. 2013. № 67(2). P. 387 – 410.
3. Boyer, J. S., Byrne P., Cassman K. G., Cooper M. The US drought of 2012 in perspective: A call to action. *Global Food Security-Agriculture Policy Economics and Environment*. 2013. № 2(3). P. 139 – 143.
4. Bonan, G. B. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*. 2008. № 320. P. 1444 – 1449.
5. Hoegh-Guldberg, O., Bruno J. F. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*. 2010. № 328. P. 1523 – 1528.
6. Akimoto H., Kurokawa J., Sudo K., Nagashima T. SLCP co-control approach in East Asia: Tropospheric ozone reduction strategy by simultaneous reduction of NO_x/NMVOC and methane. *Atmospheric Environment*. 2015. № 122. P. 588 – 595.
7. Isaksen I. S., Berntsen T. K., Dalsoren S. B., Eleftheratos K. Atmospheric Ozone and Methane in a Changing Climate. *Atmosphere*. 2014. № 5. P. 518 – 535.
8. Maher B. A., Prospero J. M., Mackie D., Gaiero D. Global connections between aeolian dust, climate and ocean biogeochemistry at the present day and at the last glacial maximum. *Earth-Science Reviews*. 2010. № 99. P. 61 – 97.
9. Yasunari T. J., Koster R. D., Lau W. K., Kim K. M. Impact of snow darkening via dust, black carbon, and organic carbon on boreal spring climate in the Earth system. *Journal Of Geophysical Research-Atmospheres*. 2015. № 120. P. 5485 – 5503.

10. Schumann U., Huntrieser H. The global lightning-induced nitrogen oxides source. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2007. № 7
11. Bowman, K., Henze D. K. Attribution of direct ozone radiative forcing to spatially resolved emissions. *Geophysical Research Letters*. 2012. № 39.
12. Shindell D., Faluvegi G. Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century. *Nature geoscience*. 2009. № 2. P. 294 – 300.
13. Shindell, D., Kuylenstierna J. C. I., Vignati E. Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security. *Science*. 2012. № 335. P. 183 – 189
14. Seinfeld, J. H., Bretherton C., Carslaw K. S., Coe H. Improving our fundamental understanding of the role of aerosol-cloud interactions in the climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2016. № 113. P. 5781–5790.
15. Farmer, D. K., C. D. Cappa, and S. M. Kreidenweis. Atmospheric processes and their controlling influence on cloud condensation nuclei activity. *Chemical Reviews*. 2015. № 115(10). P. 4199 – 4217.
16. Fierce L., Riemer N., Bond T. C. When is cloud condensation nuclei activity sensitive to particle characteristics at emission? *Journal Of Geophysical Research- Atmospheres*. 2013. № 118 P. 13476 – 13488.
17. Hoose, C., Möhler O.. Heterogeneous ice nucleation on atmospheric aerosols: a review of results from laboratory experiments. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2012. № 12(20)
18. <https://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>
19. Shindell D., Faluvegi G. Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century. *Nature geoscience*. 2009. № 2. P. 294 – 300.
20. Mickley L. J., Leibensperger E. M., Jacob D. J., Rind D. Regional warming from aerosol removal over the United States: Results from a transient 2010 – 2050 climate simulation. 2012. *Atmospheric Environment*. № 46. P. 545 – 553.

21. Philipona R., Behrens K., Ruckstuhl C.. How declining aerosols and rising greenhouse gases forced rapid warming in Europe since the 1980s. *Geophysical Research Letters*. 2009. № 36.
22. Leibensperger E. M., Mickley L. J., Jacob D. J., Chen W. T. Climatic effects of 1950 – 2050 changes in US anthropogenic aerosols – Part 2: Climate response. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2012. № 12. P. 3349 – 3362.
23. Held I. M., Delworth T. L., Lu J., Findell K. L. Simulation of Sahel drought in the 20th and 21st centuries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2005. 102(50):
24. Gautam R., Hsu N. C., Tsay S. C., Lau K. M.. Accumulation of aerosols over the Indo-Gangetic plains and southern slopes of the Himalayas: distribution, properties and radiative effects during the 2009 pre-monsoon season. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2011. № 11(24). P. 12841 – 12863.
25. Kuhlmann J., Quaas J. How can aerosols affect the Asian summer monsoon? Assessment during three consecutive pre-monsoon seasons from CALIPSO satellite data. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2010. № 10(10). P. 4673 – 4688.
26. Lee D., Sud Y. C., Oreopoulos L., Kim K. M. Modeling the influences of aerosols on pre-monsoon circulation and rainfall over Southeast Asia. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2014. № 14(13). P. 6853 – 6866.
27. Booth B. B., Dunstone N. J., Halloran P. R., Andrews T. Aerosols implicated as a prime driver of twentieth-century North Atlantic climate variability. *Nature*. 2012. № 484(7393) P. 228 – U110.
28. Dunstone, N. J., Smith D. M., Booth B. B., Hermanson L. Anthropogenic aerosol forcing of Atlantic tropical storms. *Nature geoscience*. 2013. № 6(7). P. 534 – 539.
29. Stott P. A. Attribution: Weather risks in a warming world. *Nature Climate Change*. 2015. № 5(6). P. 516 – 517.

30. The Future of Atmospheric Chemistry Research: Remembering Yesterday, Understanding Today, Anticipating Tomorrow. Washington, DC: The National Academies Press. 2016. 240 p.
31. Solomon S., Ivy D. J., Kinnison D., Mills M. J. Emergence of healing in the Antarctic ozone layer. *Science*. . 2016. № 353 (6296). P. 269 – 274.
32. Maher B. A., Prospero J. M., Mackie D., Gaiero D. Global connections between aeolian dust, climate and ocean biogeochemistry at the present day and at the last glacial maximum. *Earth-Science Reviews*. 2010. № 99(1 – 2). P. 61 – 97.
33. de Groot R., Brander L., Ploeg S. van der, Costanza R. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*. 2012. № 1(1). P. 50 – 61.
34. Дідух Я. П., Ярошенко К. П. Проблеми екології. *Укр. Ботанічний журнал*. 2006. Т. 63, № 1. с. 83 – 90.
35. Avnery S., Mauzerall D. L., Liu J. F., Horowitz L. W. Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. Year 2000 crop production losses and economic damage. *Atmosfere. Environmental*. 2011. № 45(13)/ P. 2284 – 2296.
36. Harmens H., et al. *Impacts of ozone pollution on biodiversity*. 2016. NERC/Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK. URL: <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/513849/>
37. Quinn P. K., Collins D. B., Grassian V. H., Prather K. A., Bates T. S. Chemistry and Related Properties of Freshly Emitted Sea Spray Aerosol. *Chemical Reviews*. 2015. № 115(10). P. 4383 – 4399.
38. Carpenter L. J., Nightingale P. D.. Chemistry and Release of Gases from the Surface Ocean. *Chemical Reviews*. 2015. № 115(10) P. 4015 – 4034..
39. Barnosky A. D., Hadly E. A., Bascompte J., Berlow E. L., Brown J. H. et al. Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*. 2012. № 486(7401). P. 52 – 58.

40. Lelieveld J., Butler T. M., Crowley J. N., Dillon T. J. et al. Atmospheric oxidation capacity sustained by a tropical forest. *Nature*. 2008. № 452(7188). P. 737 – 740.
41. Olsson D., Mogren I., Forsberg B. Air pollution exposure in early pregnancy and adverse pregnancy outcomes: a register-based cohort study. *Bmj Open*. 2013. № 3(2). P.1 – 8
42. Pope C. A., Ezzati M., Dockery D. W. Fine particulate air pollution and life expectancies in the United States: The role of influential observations. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2013. № 63(2). P. 129 – 132.
43. Brauer M. Air pollution, stroke and anxiety. *BMJ*. 2015. № 350:1 – 2.
44. Hamra G. B., Guha N., Cohen A., Laden F. et al. Outdoor Particulate Matter Exposure and Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*. 2014. № 122(9). P. 906 – 911.
45. Lelieveld J., Butler T. M., Crowley J. N., Dillon T. J., Fischer H. et al. Atmospheric oxidation capacity sustained by a tropical forest. *Nature*. 2008. № 452(7188). P. 737 – 740.
46. Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM). *US EPA*. OAR (26 April 2016). <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
47. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E. et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet. Oncology*. № 14 (9). P. 813–22.
48. Air quality in Europe – 2019. Report European Environment Agency. 2019. 99 p.
49. Nasir Z. A., Colbeck I., Bharucha Z. P., Campos L. C., Ali Z.. Ethno-Environmental Knowledge as A Tool to Combat Indoor Air Pollution in Low Income Countries: A Case Study from Rural Communities in Pakistan. *Journal of Environment and Human*. 2014. № 1(2).. P. 165 – 175

50. Branco P.T.B.S. Alvim-Ferraz M.C.M., Martins F.G., Sousa S.I.V. The microenvironmental modelling approach to assess children's exposure to air pollution. *Environmental Research*. 2014. № 135. P. 317 – 332.
51. Rich D. Q. Accountability studies of air pollution and health effects: lessons learned and recommendations for future natural experiment opportunities. *Environment International*. 2017. № 100. P. 62 – 78.
52. Davalos A. D. T. J. Luben, A. H. Herring, J. D. Sacks Current approaches used in epidemiologic studies to examine short-term multipollutant air pollution exposures. *Annals of Epidemiology*, 2017. № 27. P. 145 – 153.
53. Соколов С. М., Шевчук Л. М. Количественные критерии гигиенической оценки воздействия на организм многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха. *Вестник ВГМУ*. Минск. 2015. Т.14. №4. С.86 – 91.
54. Соколов С. М., Л.М. Шевчук, А.Н. Ганькин, И.С. Позняк К вопросу оценки риска здоровью населения загрязнения атмосферного воздуха. *Вестник ВГМУ, Минск*. 2015. Т.14. №4. С. 92 – 97.
55. Моніторинг якості атмосферного повітря: український та міжнародний досвід. [Аналітична записка]. Київ: ГО «Фундація «Відкрите Суспільство», 2018. 13 с.
56. Gillespie J. Estimation of spatial patterns of urban air pollution over a 4-week period from repeated 5-min measurements. *Atmospheric Environment*. 2017. №150. P. 295 – 302.
57. Посудін Ю. І. Моніторинг довкілля з основами метрології: підручник. К.: 2012. 426 с.
58. Adersen Z.J. Sram R.J., Scasny M., Gurzau E.S. et al. Newborns health in the Danube Region: Environment, biomonitoring, interventions and economic benefits in a large prospective birth cohort study. *Environment International*. 2016. №88. P. 112 – 122.
59. Annangi, Bonassi B. S., Marcos R., Hernandez A. Biomonitoring of humans exposed to arsenic, chromium, nickel, vanadium, and complex mixtures of

- metals by using the micronucleus test in lymphocytes. *Mutation Research*. 2016. № 770. P. 140 – 16
60. Hajizadeh Y., Mokhtari M., Faraji M., Abdolahnejad A., Mohammadi A. Biomonitoring of airborne metals using tree leaves: Protocol for biomonitor selection and spatial trend. *MethodsX*. 2019. № 6. P. 1694 – 1700.
61. Swislawski P., Kriz J. The Use of bark in biomonitoring heavy metal pollution of forest areas on the example of selected areas in Poland. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2020. № 6. P. 1 – 15.
62. Frontasyeva M., Aleksiyayenak Y. A Ten-Year biomonitoring study of atmospheric deposition of trace elements at the territory of the republic of Belarus. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2019. № 26 P. 455 – 464
63. Положення про державну систему моніторингу довкілля : Постанова від 30 березня 1998 р. N 391. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF>
64. Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Постанова № 827 від 14 серпня 2019 р. № 827 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text>
65. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні 2015 році. К.: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2020. 483 с. URL: <https://mepr.gov.ua/news/35937.html>
66. Державних санітарних правил охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами), ДСП-201-97, затверджених наказом МОЗ України від 09 липня 1997р. № 201 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97#Text>
67. American Conference of Governmental Industrial Hygienists URL: <https://www.acgih.org/>
68. WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines AQG, 2015. 50 p.
69. Гурець Л. Л. Моніторинг довкілля: конспект лекцій. Суми: Сумський державний університет, 2016. 250 с.

70. Стан забруднення атмосферного повітря за 2018 рік. Черкаська міська рада. URL: <http://chmr.gov.ua/ua/newsread.php?view=16121&s=1&s1=69>
71. Air Quality Index. A Guide to Air Quality and Your Health, 2014(2009). https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/aqi_brochure_02_14_0.pdf
72. Environment Canada – Air – About the Air Quality Health Index.
73. Stieb D. M.; Burnett R.T.; Smith-Doiron M. et al. A New Multipollutant, No-Threshold Air Quality Health Index Based on Short-Term Associations Observed in Daily Time-Series Analyses. *Journal of the Air & Waste Management Association*. № 58 (3). P. 435–450.
74. Air quality Helth index https://weather.gc.ca/airquality/pages/index_e.html
75. Какарека С. В. Оценка суммарного загрязнения атмосферного воздуха. *География и природные ресурсы*. 2012. № 2. с.14 – 20.
76. Какарека С.В. Методические подходы к оценке суммарного загрязнения атмосферного воздуха // *Природопользование: Сб. научн. тр. Минск: СтройМедиаПроект, Институт природопользования, 2014. Вып. 25. С. 61 – 69.*
77. Індекс якості повітря BELATMO (Бельгія) URL: <https://www.irceline.be/en/air-quality/measurements/air-quality-index/information>
78. UK Daily Air Quality Index <https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daq1?view=more-info>
79. AQI EEA URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>
80. Стандарти якості повітря ЕЕА. <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
81. Департамент екології та природних ресурсів Донецької обласної державної адміністрації. URL: <https://ecology.donoda.gov.ua/stan-dovkillya/>
82. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за I півріччя 2020 року (за даними мережі спостережень Національної гідрометслужби України). URL: <http://cgo->

sreznevskiy.kyiv.ua/data/ukr-zabrud-viz-1/oglyad-stanu-zabrudnennya--pivrichchya-2020_-na-sayt.pdf

83. Регіональна доповідь 2019(2018) рік. про стан навколишнього природного середовища в Донецькій області у 2019 році. <https://ecology.donoda.gov.ua/stan-dovkillya/>
84. Дан О.Л., Бутенко Е.О., Капустин О.Є. Екологічна ситуація Приазовського регіону - проблеми та рішення. Повітря. Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. 2018. Вип. 36. С. 229 – 236.
85. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А., Суха Н.О. Комплексна оцінка забруднення атмосферного повітря в місті Миколаєв. *Екологічні науки*. № 4. 2018. С.19 – 23.
86. Пастернак О.М. Сезонні коливання забруднення атмосферного повітря формальдегідом. АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ НАУКИ ТА ОСВІТИ: Збірник матеріалів XXI підсумкової науково-практичної конференції викладачів МДУ., 1 лютого 2019 р. За заг. ред. К.В. Балабанова. Маріуполь: МДУ, 2019. С. 48 – 49.
87. Головне управління статистики у Донецькій області. Статистична інформація | Економічна статистика | Економічна діяльність | Навколишнє середовище. URL: <http://donetskstat.gov.ua/statinform1/index.php>
88. Екологічний паспорт Донецької області за 2019 рік. URL: <http://ecology.donoda.gov.ua>
89. Мислюк, О. О. Практикум з хімічної екології: навчальний посібник. К.: Кондор, 2013. 304 с