

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ГРИГОР'ЄВ КОСТЯНТИН ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 502.175:614.71](043.5)

**ДИСЕРТАЦІЯ
ЕКОЛОГО-РАДІАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО
ПОВІТРЯ АГЛОМЕРАЦІЙ**

Спеціальність 101Екологія
Галузь знань Природничі науки

Подається на здобуття доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ К.В.Григор'єв

Науковий керівник: Алексєєва Анна Олександрівна, кандидат технічних наук,
доцент

Миколаїв – 2026

АНОТАЦІЯ

Григор'єв К.В. Еколого-радіаційний моніторинг атмосферного повітря агломерацій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня PhD з екології за ОНП Екологія спеціальності 101 Екологія – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2026.

Дисертаційну роботу присвячено розв'язанню актуальної науково-практичної задачі підвищення рівня еколого-радіаційної безпеки атмосферного повітря агломерацій, де вплив на стан атмосферного повітря вносять стаціонарні, пересувні джерела викидів хімічних поллютантів, а у воєнні часи підвищується ймовірність викидів радіонуклідних поллютантів з розташованих поблизу атомних електростанцій. Розв'язання цієї задачі полягало в аналізі викидів хімічних поллютантів стаціонарними джерелами, громадським та вантажним автотранспортом Миколаївської агломерації, Південноукраїнської територіальної громади, у багаторічному дослідженні вмісту хімічних та радіонуклідних поллютантів в атмосферному повітрі, в опадах з атмосфери у Миколаївській міській агломерації, порівнянні з результатами моніторингу природних територій, моделюванні і прогнозуванні розповсюдження викидів радіонуклідних поллютантів в атмосферному просторі м. Південноукраїнська та аналізі архівних матеріалів натурних досліджень пересування радіоактивної хмари аварійного викиду. Це дозволило виявити особливості формування забруднення атмосферного повітря агломерацій хімічними та радіонуклідними поллютантами від стаціонарних, пересувних джерел та джерел радіаційного ризику під час воєнного стану, визначити значущість впливу викидів поллютантів транзитним вантажним автотранспортом, обґрунтувало обмеженість результативності радіаційного моніторингу при спостереженнях лише за потужністю ефективної дози, а також надати рекомендації щодо розширеного використання у системі державного моніторингу станцій індикативних вимірювань формальдегіду, внесення контрольного рівня при спостереженнях

за рівнем потужності ефективної дози, включення у систему екологічного моніторингу бета-радіометрії опадів з атмосфери, використання методики дозових цін при експрес-прогнозуванні ефективної дози від газоаерозольних викидів радіонуклідних поллютантів, а також запропонувати розгорнути Smart-систему еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря у населених пунктах, які зазнають такого комплексного впливу атмосферних поллютантів. Це сприятиме:

- підвищенню стійкості агломерацій до реагування на несприятливий стан атмосферного повітря від інтенсивних автотранспортних транзитних потоків та при війсьній радіаційній загрозі;
- підвищенню інформативності екологічного моніторингу через широке використання станцій індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі;
- підвищити результативність радіаційного моніторингу через можливість виявлення/ідентифікації бета-радіоактивних радіонуклідів, введення контрольного рівня потужності ефективної дози, оперативне оцінення ефективної дози від радіонуклідних поллютантів атмосферних викидів.

Дослідження виконувалися в урбоекосистемах Миколаївської міської агломерації та Південноукраїнської територіальної громади. Об'єктом дослідження є атмосферне повітря агломерацій. Предметом дослідження – стан атмосферного повітря агломерацій, які знаходяться під впливом стаціонарних та пересувних джерел викиду хімічних та радіонуклідних поллютантів.

В результаті у роботі одержані такі наукові результати:

- *вперше* науково обгрунтовано комплексний підхід до повноти системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря агломерацій з урахуванням екологічних (вміст хімічних поллютантів) та радіаційних (ефективна доза опромінення) обмежень; застосування підходу дозволить повноцінно оцінювати стан атмосферного повітря та екологічні загрози під

впливом стаціонарних, пересувних джерел та радіаційних ризиків під час воєнного стану;

- *удосконалено* підхід до радіаційного моніторингу атмосферного повітря під час воєнних дій та у ситуації підвищеного ризику виникнення надзвичайної ситуації на АЕС, а саме: до вимірювань потужності ефективної дози гамма-випромінювання додати радіометрію проб опадів з атмосфери та проб атмосферного повітря. Це дасть змогу вчасно реагувати на можливі зміни радіонуклідного складу атмосферного повітря як від гамма-випромінюючих радіонуклідів, так і від чистих бета-випромінюючих радіонуклідів;

- *набули подальшого розвитку* наукові уявлення щодо оперативного оцінювання стану атмосферного повітря за вмістом радіонуклідних поллютантів, а саме – визначено показник дозова ціна газоаерозольних викидів радіонуклідів з АЕС, за значеннями якого можна оперативно визначати ефективну дозу опромінення людини від радіонуклідів, викинутих з АЕС;

- *розширено уявлення* про формування забруднення атмосферного повітря поллютантами у міських агломераціях під впливом викидів поллютантів стаціонарними джерелами та пересувними джерелами транзитних вантажних транспортних потоків.

Підтверджено, що система моніторингу атмосферного повітря агломерацій має враховувати регіональні особливості, які визначаються географічним положенням, кліматичними умовами, інтенсивністю автотранспортних потоків і характером та видом атмосферних викидів стаціонарними джерелами. Визначено, що найбільші об'єми викидів атмосферних поллютантів зі стаціонарних джерел здійснюють підприємства газотранспортної системи та комунальні підприємства теплоенергетики: у м. Миколаєві це КП «Миколаївоблтеплоенерго», у м. Південноукраїнську це КП «Теплопостачання та водо-каналізаційне господарство» Південноукраїнської міської ради. У Миколаївській міській агломерації значні викиди у повітря

здійснюють також підприємства ТОВ «Миколаївський глиноземний завод», ТОВ «Південьцемент», ТОВ «Екотранс». Загальний об'єм викинутих хімічних поллютантів у Миколаївській міській агломерації (1432 тон) та у Південноукраїнській територіальній громаді (37 тон) корелювали з кількістю підприємств: 79 проти 3. Показано, що для більшості територіальних громад Миколаївщини з 2022 р. об'єми викидів атмосферних поллютантів зі стаціонарних джерел зменшилися від 2 до 11 разів. Єдиним містом районного значення, де змін в об'ємах викидів поллютантів в атмосферне повітря не відбулося – це м. Південноукраїнськ, що пояснюється стабільністю роботи підприємств теплопостачання та енергетики.

Установлено, що викиди атмосферних поллютантів громадським автотранспортом у містах Миколаїв та Південноукраїнськ близькі за об'ємами викидів оксиду вуглецю (78-87%), діоксиду азоту (10-12%), діоксиду сірки (менше 1%), але відрізняються за викидами неметанових летких органічних сполук, які для м. Миколаєва складають 12%, а для м. Південноукраїнська 2%. Це пояснюється різницею транспортної інфраструктури і меншою кількістю у громадському транспорті м. Південноукраїнська автотранспорту з дизельними ДВЗ, які відзначаються більшими об'ємами викидів неметанових летких органічних сполук, в т.ч. формальдегіду. Для викидів атмосферних поллютантів вантажним транзитним автотранспортом у м. Миколаєві, через який до часів російсько-української війни інтенсивно курсував задіяний у зерновій логістиці вантажний транспорт, додатковий викид атмосферних поллютантів становив 28% для CO, 28% - для НЛОС, 45% для викидів NO₂, 41% - для NO, 48% - для пилу, 16% - для SO₂, що у 2-5 разів більше відповідних показників для м. Південноукраїнська. Це підтвердило висновок про суттєвий внесок інтенсивно курсуючого вздовж міста до воєнних часів вантажного транспорту, задіяного у логістиці зерна.

Визначено, що забруднення атмосферного повітря у м. Миколаєві формується підвищеними рівнями формальдегіду CH₂O (34-38%), пилу (13-14%), а також діоксиду азоту (11-17%), оксиду вуглецю (16-19%).

Середньомісячний рівень формальдегіду в атмосферному просторі м. Миколаєва у період 2015-2025 рр. коливався у межах $0,021-0,081\text{мг/м}^3$, розмах варіювання концентрацій дрібнодисперсного пилу $\text{PM}_{2,5}$ становив від 3 до 13мкг/м^3 , а пилу PM_{10} – від 12 до 40мкг/м^3 . Обґрунтовано необхідність розширення стаціонарних постів державної системи екологічного моніторингу за допомогою станцій індикативних вимірювань. Визначено поправочні коефіцієнти для станцій індикативних вимірювань CH_2O , що дозволить використовувати останні паралельно із стаціонарними постами спостереження за вмістом у повітрі цього поллютанта.

Показано, що відзначалися значні значення комплексного індексу забруднення атмосферного повітря (КІЗА) в останні роки: для 2023 р. КІЗА = 10,80; для 2024 р. КІЗА = 11,91; для 2025 р. КІЗА = 11,82. Установлено тенденцію до зростання забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва з середньорічним темпом зростання 0,5 ($R^2=0,92$), який свідчить про високу ймовірність досягнення дуже високого рівня забруднення повітря. За величиною КІЗА (більше 10) рівень забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва є високим.

Представлено матеріали радіоекологічних досліджень за потужністю ефективної дози, рівнем загальної бета-активності опадів з атмосфери, вмістом ^{137}Cs в опадах з атмосфери в місті Миколаєві у 2023–2024 рр., порівняльного аналізу з показниками в минулі роки та в населених пунктах Миколаївщини. Показано, що у період воєнних дій у 2022–2024 рр. потужність ефективної дози атмосферного повітря у м. Миколаєві становила $0,12\pm 0,01\text{мкЗв/год}$; у населених пунктах – постах контролю 30-км зони Південноукраїнської АЕС – $0,12\pm 0,02\text{мкЗв/год}$ з розкидом від 0,09 до 0,15 мкЗв/год. Цей розкид значень обумовлений геологічними особливостями Миколаївщини з виходом на поверхню в центрі та на півночі області кристалічних порід з підвищеним вмістом продуктів ділення уран-радієвого ряду. Порівняно з даними моніторингу природних територій під час зняття «нульового» фону району Південноукраїнської АЕС встановлено, що в м. Миколаєві та в населених пунктах Миколаївської області під час воєнних дій потужність ефективної дози

атмосферного повітря не виходила за межі коливань природного радіаційного фону. Загальна бета-активність опадів з атмосфери в м. Миколаєві у 2023 і 2024 рр. становила в середньому $12,9 \pm 3,1$ Бк/(місяць* m^2). Вміст ^{137}Cs у цих опадах становив у середньому $1,4 \pm 0,3$ Бк/(місяць* m^2), що відповідає природним рівням опадів з атмосфери.

Для повноти оцінювання ефективності й оперативності наявної системи радіоекологічного моніторингу атмосферного повітря представлено аналіз результатів радіометрії проб атмосферного повітря на Миколаївщині під час пересування радіоактивної хмари з ^{106}Ru восени 2017 р. Показано, що середнє значення його вмісту в повітрі населених пунктів на півночі Миколаївської області становило $(2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$ Бк/ m^3 , загальна бета-активність опадів з атмосфери зросла до $13,9 \pm 1,8$ Бк/(місяць* m^2), активність ^{106}Ru в останніх становила $4,1 \pm 0,2$ Бк/(місяць* m^2). У пробах атмосферного повітря вміст ^{106}Ru дорівнював $0,03$ Бк/ m^3 . При цьому показано, що потужність ефективної дози атмосферного повітря не змінилася. Це обґрунтувало зроблений висновок, що під час підвищених ризиків виникнення надзвичайної ситуації на АЕС, як це є під час воєнних дій, радіоекологічний моніторинг атмосферного повітря потрібно розширити до обов'язкової радіометрії проб опадів з атмосфери та, якщо є можливість, радіометрії проб атмосферного повітря. Вимірювання потужності ефективної дози атмосферного повітря разом з радіометрією проб опадів з атмосфери й атмосферного повітря дасть змогу вчасно реагувати на можливі зміни радіонуклідного складу атмосферного повітря як від гамма-випромінюючих радіонуклідів, так і від чистих бета-випромінюючих радіонуклідів. Ці результати дисертаційного дослідження впроваджено у роботу Департаменту енергетики, енергозбереження та інноваційних технологій Миколаївської міської ради (акт впровадження від 20.12.2025).

З метою розширення можливостей системи радіаційного моніторингу атмосферного повітря проаналізовано архівні матеріали радіоекологічних досліджень у м. Миколаєві у квітні-травні 1986 р. За цими матеріалами визначено

кореляційну залежність між вмістом йоду-131 у повітрі та величиною потужності ефективної дози. Визначено, що гранично-допустима концентрація радіойоду у повітрі (7,3 Бк/куб.м) досягається при ефективній дозі у повітрі 2,5мкЗв/год. Це дозволило нам внести пропозицію, щоб вимірювання потужності ефективної дози доповнити індикацією рівня 2,5 мкЗв/год, починаючи з якого потрібно розпочинати аспіраційний відбір проб повітря для кількісного визначення вмісту радаонуклідів, адже йод-131 одним з перших викидається при аварії на АЕС.

Представлено розроблений експрес-метод оперативного оцінювання ефективної дози від радіонуклідних поллютантів атмосферного повітря. Це дозволить приймати оперативні рішення та рекомендації превентивних заходів щодо захисту людини під впливом газоаерозольних викидів радіонуклідів з АЕС. Ці результати дисертаційного дослідження разом впроваджено у роботу відділу впровадження екологічної політики управління сталого розвитку міста ДЖКГ Миколаївської міської ради (акт впровадження від 23.12.2025), а також використано під час виконання науково-дослідних робіт кафедри екології та впроваджено у навчальний процес під час викладання дисциплін за спеціальністю 101 «Екологія» у ЧНУ ім. Петра Могили (акт впровадження від 27.12.2026).

Розроблено принципову схему створення Smart-системи екологічного моніторингу у населених пунктах, мешканці яких відчують на собі вплив викидів стаціонарними джерелами, автотранспорту, в першу чергу, від транзитного багатотонажного транспорту, а також знаходяться в зоні ризику впливу радіонуклідних викидів. Це надасть можливість громадам і місцевому самоврядуванню громад, виробляти політику обмеження впливу інтенсивних транспортних потоків на населення та/або відшкодовувати завдану шкоду; оперативно реагувати на зміни радіонуклідного складу повітря. В результаті буде вирішуватися питання стійкості громади до небезпечних поллютантів

атмосферного повітря, в т.ч. під час екологічної загрози, спричиненої воєнними діями.

Це сприятиме вирішенню питання стійкості громади до небезпечних поллютантів оточуючого середовища, в т.ч. під час екологічної загрози, спричиненої воєнними діями.

Ключові слова: атмосферне повітря, військові дії, екологічна і радіаційна загроза, екологічний моніторинг, екоцид, екологічна відповідальність, забруднення повітря, моніторинг, моніторинг природних територій, пил, прогнозування, радіоекологічна безпека, російсько-українська війна, сталий розвиток, якість повітря.

ABSTRACT

Grygoriev K.V. Ecological and radiation monitoring of atmospheric air in agglomerations. – *Qualification scientific work on the rights of the manuscript.*

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 10 “Natural Sciences,” specialty 101 “Ecology.” Petro Mohyla Black Sea National University. Educational and Scientific Medical Institute. Mykolaiv, 2026.

This dissertation is devoted to addressing the pressing scientific and practical challenge of improving the ecological and radiation safety of atmospheric air in urban areas, where the quality of atmospheric air is affected by stationary and mobile sources of chemical pollutant emissions, and in times of war, the likelihood of radionuclide pollutant emissions from nearby nuclear power plants increases. The solution to this problem involved analyzing emissions of chemical pollutants from stationary sources, public and freight vehicles in the Mykolaiv agglomeration and the South Ukrainian territorial community, conducting a long-term study of the content of chemical and radionuclide pollutants in atmospheric air, in atmospheric deposition in the Mykolaiv urban agglomeration, comparison with the results of monitoring natural areas, modeling and forecasting the spread of radionuclide pollutant emissions in the atmospheric space of Pivdennoukrainsk, and analysis of archival materials from field studies of the movement of the radioactive cloud from the emergency release. This

made it possible to identify the characteristics of atmospheric air pollution in urban areas caused by chemical and radionuclide pollutants from stationary, mobile, and radiation-risk sources during martial law, to determine the significance of the impact of pollutant emissions from transit freight vehicles, justified the limited effectiveness of radiation monitoring when observing only the effective dose rate, as well as provide recommendations on the expanded use of indicative formaldehyde measurement stations in the state monitoring system, the introduction of a control level when monitoring effective dose rate, the inclusion of beta-radiometry of atmospheric fallout in the environmental monitoring system, the use of dose rate methodologies in rapid forecasting of effective doses from gas-aerosol emissions of radionuclide pollutants, and to propose the deployment of a Smart system for environmental and radiation monitoring of atmospheric air in populated areas subject to such complex exposure to atmospheric pollutants. This will contribute to:

- enhancing the resilience of urban areas to adverse air quality conditions caused by heavy transit traffic and military radiation threats;
- improving the accuracy of environmental monitoring through the widespread use of stations for indicative measurements of formaldehyde levels in the air;
- to improve the effectiveness of radiation monitoring through the ability to detect/identify beta-radioactive radionuclides, the introduction of a reference level for effective dose rate, and the rapid assessment of effective doses from radionuclide pollutants in atmospheric emissions.

The research was conducted in the urban ecosystem of the Mykolaiv urban agglomeration and the South Ukrainian territorial community. The object of the study is the atmospheric air of these agglomerations. The subject of the study is the state of the atmospheric air in agglomerations affected by stationary and mobile sources of chemical and radionuclide pollutants.

As a result, the following scientific findings were obtained in this work:

- For the first time, a scientifically grounded comprehensive approach has been developed for a complete system of environmental and radiation monitoring of atmospheric air in urban areas, taking into account environmental (chemical pollutant levels) and radiation (effective radiation dose) limits; the application of this approach will allow for a comprehensive assessment of atmospheric air quality and environmental threats caused by stationary and mobile sources, as well as radiation risks during martial law;

- The approach to atmospheric air radiation monitoring during military operations and in situations of increased risk of a nuclear power plant emergency has been improved, specifically: radiometry of atmospheric air samples and atmospheric fallout samples has been added to measurements of the effective dose rate of gamma radiation. This will enable a timely response to potential changes in the radionuclide composition of atmospheric air, both from gamma-emitting radionuclides and from pure beta-emitting radionuclides;

- Scientific concepts regarding the rapid assessment of atmospheric air quality based on radionuclide pollutant levels have been further developed; specifically, a dose-rate indicator for gaseous and aerosol radionuclide emissions from nuclear power plants has been established, which can be used to rapidly determine the effective radiation dose to humans from radionuclides emitted by nuclear power plants;

- Our understanding of the formation of atmospheric air pollution by pollutants in urban agglomerations under the influence of emissions from stationary sources and mobile sources of transit freight traffic has been expanded.

It has been confirmed that the air quality monitoring system for urban areas must take into account regional characteristics, which are determined by geographical location, climatic conditions, the intensity of motor vehicle traffic, and the nature and type of air emissions from stationary sources. It has been determined that the largest volumes of atmospheric pollutant emissions from stationary sources are generated by gas transmission system enterprises and municipal heat and power utilities: in Mykolaiv, this is the municipal enterprise “Mykolaivoblteploenergo,” and in

Pivdennoukrainsk, this is the municipal enterprise “Heat Supply and Water and Sewerage Services” of the Pivdennoukrainsk City Council. In the Mykolaiv urban agglomeration, significant air emissions are also generated by the companies Mykolaiv Alumina Plant LLC, Pivdencement LLC, and EkoTrans LLC. The total volume of chemical pollutants emitted in the Mykolaiv urban agglomeration (1,432 tons) and in the Pivdennoukrainsk territorial community (37 tons) correlated with the number of enterprises: 79 versus 3. It is shown that for most territorial communities in the Mykolaiv region, since 2022, the volumes of atmospheric pollutant emissions from stationary sources have decreased by a factor of 2 to 11. The only city of regional significance where there were no changes in the volume of air pollutant emissions is Pivdennoukrainsk, which is explained by the stability of emission sources: heat supply and energy enterprises.

It has been established that emissions of air pollutants from public transportation in the cities of Mykolaiv and Pivdennoukrainsk are similar in terms of carbon monoxide (78–87%), nitrogen dioxide (10–12%), and sulfur dioxide (less than 1%) but differ in emissions of non-methane volatile organic compounds, which account for 12% in Mykolaiv and 2% in Pivdennoukrainsk. This is explained by differences in transport infrastructure and the lower number of diesel-powered vehicles in Pivdennoukrainsk’s public transport system, which are characterized by higher emissions of non-methane volatile organic compounds, including formaldehyde. For emissions of air pollutants from freight transit vehicles in Mykolaiv—through which, prior to the Russia-Ukraine war, freight transport involved in grain logistics operated intensively—additional emissions of air pollutants amounted to 28% for CO, 28% for NMVOCs, 45% for NO₂ emissions, 41% for NO, 48% for particulate matter, and 16% for SO₂, which is 2–5 times higher than the corresponding figures for the city of Pivdennoukrainsk. This confirmed the conclusion regarding the significant contribution of freight transport involved in grain logistics, which had been intensively operating along the city prior to wartime.

It has been determined that air pollution in the city of Mykolaiv is characterized by elevated levels of formaldehyde (CH₂O) (34–38%), particulate matter (13–14%), as well as nitrogen dioxide (11–17%) and carbon monoxide (16–19%). The average monthly level of formaldehyde in the atmosphere of Mykolaiv during the period 2015–2025 ranged from 0.021 to 0.081 mg/m³, the range of concentrations of fine particulate matter PM_{2.5} varied from 3 to 13 µg/m³, and for PM₁₀ dust—from 12 to 40 µg/m³. The need to expand the stationary monitoring stations of the state environmental monitoring system using indicative measurement stations has been substantiated. Correction factors have been determined for CH₂O indicative measurement stations, which will allow the use of the latter in parallel with stationary monitoring stations to monitor the concentration of this pollutant in the air.

The data show that the comprehensive air pollution index (CAPI) has reached significant levels in recent years: for 2023, CAPI = 10.80; for 2024, CAPI = 11.91; for 2025, CAPI = 11.82. A trend toward increasing air pollution in Mykolaiv has been established, with an average annual growth rate of 0.5 ($R^2 = 0.92$), indicating a high probability of reaching a very high level of air pollution. Based on the CIAP value (greater than 10), the level of air pollution in Mykolaiv is high.

This paper presents data from radioecological studies on the effective dose rate, the total beta activity level of atmospheric fallout, and the ¹³⁷Cs content in atmospheric fallout in the city of Mykolaiv during 2023–2024, along with a comparative analysis of these indicators against data from previous years and from other settlements in the Mykolaiv region. It is shown that during the period of military operations in 2022–2024, the effective dose rate of atmospheric air in the city of Mykolaiv was 0.12±0.01 µSv/h; in settlements—monitoring stations within the 30-km zone of the South Ukraine NPP—0.12±0.02 µSv/h with a range from 0.09 to 0.15 µSv/h. This range of values is due to the geological features of the Mykolaiv region, where crystalline rocks with an elevated content of fission products of the uranium-radium series outcrop in the center and north of the region. Compared with monitoring data from natural areas during the “zero” background measurement of the South Ukraine NPP area, it was

established that in the city of Mykolaiv and in settlements of the Mykolaiv region during military operations, the effective dose rate of atmospheric air did not exceed the fluctuations of the natural radiation background. The total beta activity of atmospheric fallout in the city of Mykolaiv in 2023 and 2024 averaged 12.9 ± 3.1 Bq/(month·m²). The ¹³⁷Cs content in this atmospheric fallout averaged 1.4 ± 0.3 Bq/(month·m²), which corresponds to natural levels of atmospheric fallout.

To provide a comprehensive assessment of the effectiveness and responsiveness of the existing system for radioecological monitoring of atmospheric air, this paper presents an analysis of the radiometric results of atmospheric air samples collected in the Mykolaiv region during the movement of a radioactive cloud containing ¹⁰⁶Ru in the fall of 2017. It is shown that the average concentration of ¹⁰⁶Ru in the air of populated areas in the north of the Mykolaiv region was $(2.3 \pm 0.3) \times 10^{-2}$ Bq/m³, the total beta activity of atmospheric fallout increased to 13.9 ± 1.8 Bq/(month·m²), and the ¹⁰⁶Ru activity in the latter was 4.1 ± 0.2 Bq/(month·m²). In atmospheric air samples, the ¹⁰⁶Ru content was 0.03 Bq/m³. At the same time, it was shown that the effective dose rate of atmospheric air did not change. This supported the conclusion that during periods of increased risk of an emergency at a nuclear power plant, such as during military operations, radioecological monitoring of atmospheric air should be expanded to include mandatory radiometry of atmospheric fallout samples and, if possible, – radiometry of atmospheric air samples. Measuring the effective dose rate of atmospheric air, together with radiometry of atmospheric fallout and atmospheric air samples, will enable a timely response to possible changes in the radionuclide composition of atmospheric air, both from gamma-emitting radionuclides as well as from pure beta-emitting radionuclides. The results of this dissertation research have been implemented in the work of the Department of Energy, Energy Conservation, and Innovative Technologies of the Mykolaiv City Council (Implementation Act dated December 20, 2025).

To expand the capabilities of the atmospheric air radiation monitoring system, archival data from radioecological studies conducted in Mykolaiv in April–May 1986

were analyzed. Based on these data, a correlation was established between the concentration of iodine-131 in the air and the effective dose rate. It was determined that the maximum permissible concentration of radioiodine in the air (7.3 Bq/m^3) is reached at an effective dose rate in the air of $2.5 \text{ } \mu\text{Sv/h}$. This allowed us to propose supplementing effective dose rate measurements with an indication of the $2.5 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ threshold, at which point aspirated air sampling should begin for the quantitative determination of radionuclide content, since iodine-131 is one of the first substances released during a nuclear power plant accident.

A rapid method has been developed for the prompt assessment of the effective dose from radionuclide pollutants in ambient air. This will enable the timely adoption of decisions and recommendations for preventive countermeasures to protect people exposed to gaseous and aerosol emissions of radionuclides from nuclear power plants. These results of the dissertation research have been implemented in the work of the Department for the Implementation of Environmental Policy of the Sustainable Development Division of the Housing and Communal Services Department of the Mykolaiv City Council (Implementation Act dated December 23, 2025), and have also been utilized in the research activities of the Department of Ecology and incorporated into the educational process when teaching courses in the 101 “Ecology” program at Petro Mohyla Black Sea National University.

A conceptual framework has been developed for creating a smart environmental monitoring system in populated areas where residents are directly affected by emissions from stationary sources and motor vehicles—primarily from heavy-duty transit vehicles—and are also at risk of exposure to radionuclide emissions. This will enable communities and local governments to develop policies to limit the impact of heavy traffic on the population and/or compensate for the damage caused; and to respond promptly to changes in the radionuclide composition of the air. As a result, the issue of community resilience to hazardous air pollutants will be addressed, including during environmental threats caused by military actions.

This will contribute to addressing the issue of community resilience to hazardous environmental pollutants, including during environmental threats caused by military actions.

Key words: atmospheric air, military operations, environmental and radiation threats, environmental monitoring, ecocide, environmental responsibility, air pollution, monitoring, monitoring of natural areas, dust, forecasting, radioecological safety, the Russia-Ukraine war, sustainable development, air quality.

Список публікацій аспіранта, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Григор'єв К. Екологічний моніторинг стану атмосферного повітря за індикативними вимірюваннями /А.О. Алексєєва, Л.І. Григор'єва, О.В. Макарова, Ю.М. Буровицька, К.В. Григор'єв. *Екологічні науки*. №47. 2023. С. 137-142.

URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2023/2/22.pdf>

DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.22>

2. Григор'єв К. Оцінка стану атмосферного повітря у місті Миколаєві. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. №4. С. 121-129.

URL: <https://journals.vnu.volyn.ua/index.php/chemistry/article/view/1558>

DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-5>

3. Григор'єв К. Викиди хімічних поллютантів автотранспортом у місті Миколаєві під час війни. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2025. №1. С.58-63.

URL: <https://journals.vnu.volyn.ua/index.php/chemistry/article/view/2214>

DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-1-8>

4. Григор'єв К., Григор'єва Л. Радіоактивні опади в атмосфері та їх радіоекологічний моніторинг у контексті військових дій. *Український журнал природничих наук*. 2025. №12. С.344-352.

URL: <https://naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns/article/view/327>

DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.34>

5. Григор'єв К., Алексєєва А. Екологічний моніторинг хімічних поллютантів атмосферного повітря у місті Миколаєві у воєнні часи. *Екологічні науки*. 2025. №3(60). С. 160-165.

URL: <https://naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns/article/view/327>

DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.26>

6. Григор'єв К. Ефективна доза іонізуючого випромінювання від викидів ^{131}I з АЕС. / К.В. Григор'єв, Л.І. Григор'єва // *Екологічні науки*. 2025. 3(60). С. 37-40.

URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2025/60/8.pdf>

DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.6>

7. Григор'єв К. Методологія використання дозових цін при експрес-оцінюванні та моделюванні ефективної дози від газоаерозольних викидів радіонуклідних поллютантів. / Л.І. Григор'єва, К.В. Григор'єв. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2025. №4. С.26-37.

URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2025/60/8.pdf>

DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.6>

8. Григор'єв К. Радіоекологічний ризик винесення радіонуклідів у довкілля з викидами та скидами АЕС /Л.І. Григор'єва, Ю.А. Томілін, К.В. Григор'єв. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. 1(53). С. 30-36.

URI: <https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/97211>

9. Григор'єв К. Експрес-прогноз дозового навантаження на населення від газоаерозольних викидів АЕС /Л.І. Григор'єва Л.І., Ю.А.Томілін, К.В. Григор'єв. *Ядерна фізика та енергетика*. 2014. Т.15. №3. С. 269-276.

URL: <https://jnpe.kinr.kyiv.ua/15.3/html/jnpe-2014-15-269-Grygorieva.html>

DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpe2014.03.269>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

- Григор'єв К. Пропозиції до радіаційного моніторингу атмосферного повітря під час воєнних дій. *Європейське майбутнє: філософсько-освітні студії*: І міжнар. наук.-практ. конф.: тези доповідей, Херсон: ХНТУ, червень, 2024. – С. 105.

- Григор'єв К., Алексєєва А. Радіоекологічна оцінка атмосферних випадінь на Миколаївщині під час воєнних дій. *Радіаційна, техногенно-екологічна та біологічна безпека: стан, шляхи і заходи покращення*: ХІХ міжнар. наук. конф.: тези доповідей, Миколаїв: ЧНУ імені Петра Могили, 20-23 червня 2024 р. С. 161-164.

- Григор'єв К. Індикативні вимірювання полютантів для вирішення атмосферних небезпек поблизу маслоекскракційного заводу. *Радіаційна, техногенно-екологічна та біологічна безпека: стан, шляхи і заходи покращення*: ХІХ Міжнародна наукова конференція: тези доповідей. м. Миколаїв, 20-23 червня 2024 р.

- Grygoriev K. Radioecological monitoring of atmospheric air during military operations. *European dimensions of the sustainable development: Selected Papers of the VI International Conference on European Dimensions of Sustainable Development*. May 15-17, 2024. Kyiv: NUFT. P. 454-458.

- Григор'єв К.. Модернізація системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря: уроки війни. *Екологічна безпека в умовах війни*: збірник тез доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 21 листопада 2024 р. Львів: ЛДУБЖД, 2024. – С.117-118.

- Григор'єв К. Еколого-радіаційний моніторинг атмосферного повітря у місті Миколаєві. *Миколаївські міські читання*: Всеукр. наук.-практ. конф.: збірник тез доповідей конференції, м. Миколаїв, листопад, 2024. – С. 38.

- Grygoriev K. Improvement of environmental and radiation monitoring of atmospheric air in urban agglomerations (in case of military). *Могілянські читання-2024: XXVII Всеукраїнська науково-практична конференція: тези доп.*, Миколаїв: ЧНУ імені Петра Могили, 6-10 листопада 2024. – С. 18-19.

- Григор'єв К.. Радіонуклідний склад випадінь з атмосфери на Миколаївщині. *Євроінтеграція екологічної політики України: VI Всеукр. наук.-практ. конф.: тези доп.*, Одеса, 6 листопада 2024 р. – С.144-146.

- Григор'єв К. Моделювання дозового навантаження від радіоактивних викидів при управлінні радіаційно-екологічною безпекою територій. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: X Міжнар. молод. конгрес, 27-28 березня 2025, Львів.* – С. 59

- Григор'єв К. Радіоекологічний моніторинг стану атмосферного повітря на Миколаївщині. *Екологічна безпека держави: XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, 17 квітня 2025 року, Київ.* – С. 60.

- Григор'єв К. Газоаерозольні викиди радіонуклідів з АЕС та середньоіндивідуальна ефективна доза для населення та середньоіндивідуальна ефективна доза для населення прилеглих міських агломерацій. *Радіаційна, техногенно-екологічна та біологічна безпека: стан, шляхи і заходи покращення: XX м/н наук. конф.: тези доповідей. 09 червня 2025. Миколаїв.* – С. 134-138.

- Grygoriev K. Improving the Informational Content of Radiation Monitoring of Atmospheric Air During the War. *European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects: Proceedings of the International Conference, June 5-7, 2025 Mykolaiv: PMBSNU, 2025.* – P. 30-31

- Григор'єв К. Радіоекологічний моніторинг стану атмосферного повітря на Миколаївщині. *Environmental Safety of the State: abstracts of XVII Pan-*

Ukrainian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students, April 18, 2024. K.: KAI, 2025. – С.48-50.

**Наукові праці, в яких додатково відображено наукові результати
дисертації:**

10. Grygoriev K. Update of approaches to the Radiation and Environmental monitoring system of atmospheric air. /K. Grygoriev, A. Alekseyeva *Environmental and radiation safety*. 2024. V.1. Number 1. P.8-12.

11. Grygoriev K. System of Research Methods for Radioecological Monitoring of Atmospheric Air During Military Operations. /K. Grygoriev, A. Alekseyeva, L. Grygorieva. *European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects: Monograph*. Mykolaiv: PMBSNU. Bristol: UWE. 2025. P.90-102.

ЗМІСТ:

ВСТУП.....	26
РОЗДІЛ 1. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АГЛОМЕРАЦІЙ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ СВІТУ	34
1.1. Екологічна стійкість агломерацій як складова сталого розвитку територій.....	34
1.2. Стан атмосферного повітря агломерацій України: міських центрів та природних територій.....	40
1.3. Екологічний моніторинг атмосферного повітря серед задач підвищення стійкості агломерацій.....	45
1.4. Вивченість питання впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря у міських агломераціях	53
1.5. Питання радіаційного моніторингу атмосферного повітря природних та урбанізованих територій.....	58
Висновки до першого розділу	62
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	64
2.1. Полютанти атмосферного повітря та еколого-радіаційний моніторинг.....	64
2.2. Регіон дослідження.....	66
2.3. Матеріали і методи дослідження.....	68
Висновки до другого розділу	73
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ХІМІЧНИМИ ПОЛЮТАНТАМИ У МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЯХ МИКОЛАЇВЩИНИ.....	75
3.1. Стаціонарні джерела та характеристика викидів атмосферних полютантів у міських агломераціях Миколаївщини	75

3.2. Викиди хімічних поллютантів пересувними джерелами.	87
3.2.1. Викиди у повітря хімічних поллютантів від двигунів внутрішнього згорання громадського автотранспорту міста	87
3.2.2. Викиди у повітря хімічних поллютантів від двигунів внутрішнього згорання транзитного вантажного транспорту	91
3.2.2. Викиди у повітря хімічних поллютантів від двигунів внутрішнього згорання транзитного вантажного транспорту	95
3.3. Якість атмосферного повітря у м. Миколаєві за результатами спостережень на стаціонарних постах	100
Висновки до третього розділу	110
РОЗДІЛ 4. РАДІАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА У МІСЬКИХ ЕКОСИСТЕМАХ	113
4.1. Аналіз результатів вимірювань потужності ефективної дози у м. Миколаєві	113
4.2. Аналіз результатів вимірювання потужності ефективної дози у населених пунктах Миколаївської області	115
4.3. Радіонуклідний склад опадів з атмосфери до та під час воєнних дій...119	
Висновки до четвертого розділу	121
РОЗДІЛ 5. УЗАГАЛЬНЕННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ SMART-СИСТЕМИ ЕКОЛОГО-РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АГЛОМЕРАЦІЙ.....	123
5.1. Узагальнення досліджень та виявлені невирішені питання еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря в агломераціях спостережень.....	123
5.2. Моделювання формування дозового навантаження на людину від аварійного газоаерозольного викиду радіонуклідів АЕС	129
5.3. Розширення можливостей станцій індикативних вимірювань у системі еколого-радіаційного моніторингу	138

5.3.1. Розрахунок поправочних коефіцієнтів для станцій індикативних вимірювань CH_2O	138
5.3.2. Визначення контрольного рівня потужності ефективної дози	142
5.4. Пропозиції щодо Smart-системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря агломерацій	144
Висновки до п'ятого розділу	147
ВИСНОВКИ.....	150
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	154
Додаток А. Динаміка об'ємних концентрацій поллютантів в атмосферному повітрі м. Миколаєва.....	176
Додаток Б. Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації.....	182
Додаток В. Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження....	191

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AQI	(англ. Air quality index) Індекс якості повітря
АЕС	Атомна електростанція
ВТЗ	Важкий транспортний засіб (HDV – Heavy Duty Vehicle)
ГДК	Гранично-допустима концентрація
ДСНС	Державна служба надзвичайних ситуацій
ДРН	Довгоживучі радіонукліди
ЄС	Європейський Союз
ІЗА	Індекс забруднення атмосфери
КІЗА	Комплексний індекс забруднення атмосфери
ЛТЗ	Легкий транспортний засіб (LDV – Light Duty Vehicle)
НАЕК	Національна атомна енергокомпанія
НПА	Національний план дій щодо адаптації
ПГ	Парникові гази
ПАЕС	Південноукраїнська АЕС
РБГ	Радіоактивні благородні гази
РКООНЗК	Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату
РНО	Радіаційно-небезпечний об'єкт
PM10 (ТЧ10)	Тверді частинки діаметром 10 мкм
PM2.5 (ТЧ2.5)	Тверді частинки діаметром 2,5 мкм

ВСТУП

Актуальність. Чисте та безпечне атмосферне повітря є суспільною цінністю та останнім безкоштовним природним ресурсом, що для більшості населення не має альтернативи споживання. За останніми оцінками експертів ВООЗ щороку забруднення повітря обумовлює до 7 мільйонів передчасних смертей і призводить до втрати мільйонів здорових років життя [108, 182, 190, 202].

Ефективне й оперативне оцінювання стану атмосферного повітря у містах та міських агломераціях давно складає одну з актуальних урбоекологічних проблем [1, 39, 43, 98] та одну з задач екологічного моніторингу, адже формування стану атмосферного повітря є достатньо мінливим процесом, який сильно реагує на перерозподіл викидів джерелами та зміну метеорологічних умов [14, 46, 103, 117, 148]. Через нарощування обсягів викидів у промислових міських агломераціях природний механізм самоочищення атмосфери вже не в змозі забезпечити стабільність кругообігу шкідливих домішок, що призводить до глобальних змін в атмосфері: змінюється склад атмосфери, її фізико-хімічні властивості, що впливає насамперед на стан ландшафтів, біоти та людини і викликає зміни клімату [123, 166]. У рамках імплементації положень Директиви 2008/50/ЕС у національне законодавство України закріплена необхідність врахування регіональних проблем територій при розгортанні системи екологічного моніторингу атмосферного повітря у містах [47, 171].

Система екологічного моніторингу атмосферного повітря агломерацій у нашій державі потребує реконструкції і вдосконалення [46, 47, 184], щоб поєднати національні та світові підходи [7, 8, 18, 25, 174]. Російсько-українська війна актуалізувала питання вдосконалення також радіаційного моніторингу атмосферного повітря задля підвищення ефективності при оцінюванні радіаційно-екологічної ситуації. За час агресії РФ проти України через постійні обстріли територій ракетами та безпілотними апаратами підвищилася увага до

радіаційної безпеки на території України [40, 58, 61, 194] і, особливо, поблизу АЕС. Науковці актуалізують питання транскордонного перенесення радіаційного впливу при ймовірнісних надзвичайних ситуаціях на АЕС, а також під час військових дій [55, 61, 126, 151]. Питання ефективності радіаційного моніторингу атмосферного повітря складають одну із цілей сталого розвитку – підвищення безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст і населених пунктів.

Таким чином, дисертаційну роботу присвячено розв'язанню *актуальної науково-практичної задачі* підвищення рівня еколого-радіаційної безпеки атмосферного повітря агломерацій, де вплив на стан атмосферного повітря вносять стаціонарні, пересувні джерела викидів атмосферних поллютантів, а у воєнні часи підвищується ймовірність викидів радіонуклідних поллютантів з розташованих поблизу атомних електростанцій.

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи є* підвищення рівня еколого-радіаційної безпеки атмосферного повітря агломерацій шляхом розширення результативності та інформативності системи його моніторингу.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішити наступні *завдання*:

- проаналізувати стан атмосферного повітря в агломераціях України та проблеми державної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря в Україні;

- на прикладі урбоекосистеми Миколаївської агломерації та інших агломерацій територіальних громад Миколаївської області проаналізувати викиди атмосферних поллютантів стаціонарними та пересувними джерелами;

- провести експериментальні дослідження з вивчення вмісту хімічних (в першу чергу, пилу та формальдегіду) та радіонуклідних поллютантів в атмосферному повітрі, в опадах з атмосфери, а також рівнів потужності ефективної дози та здійснити аналітично-порівняльне дослідження стану

атмосферного повітря у воєнний та довоєнний часи;

- розробити методикау експрес-оцінювання дозового навантаження на населення агломерацій при зміні вмісту радіонуклідних полютантів в атмосферному повітрі;

- розробити рекомендації щодо вдосконалення/оптимізації еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря агломерацій.

Об'єкт дослідження: атмосферне повітря агломерацій.

Предмет дослідження: стан атмосферного повітря агломерацій, які знаходяться під впливом стаціонарних та пересувних джерел викиду хімічних та радіонуклідних полютантів.

Методи дослідження: У роботі застосовані методи: статистичного аналізу (під час узагальнення даних моніторингу зі стаціонарних постів державного моніторингу, даних викидів полютантів пересувними джерелами, даних вмісту рутенію-106 у хмарі викиду, даних вмісту цезію-137 в опадах з атмосфери, при порівнянні результатів вимірювання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі лабораторним способом та на станціях індикативних вимірювань; графічний аналіз; регресійний аналіз (для отримання функціональних залежностей); метод камерних моделей. Обробку результатів вимірювань і даних багаторічних радіоекологічних досліджень здійснювали за допомогою комп'ютерної техніки, використовуючи пакети програм Excel Microsoft Office Windows та Statistika 10.0.

Зв'язок з науковими програмами, планами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до «Основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 року», затверджених Законом України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII; в рамках реалізації напряму «Європейський моніторинг стану атмосферного повітря в населених пунктах вздовж автомобільних доріг Миколаївської області (Smart EcoMykolaivRegion)», затвердженого у Стратегії розвитку Миколаївської області на 2021-2027 роки. А також в межах науково-дослідної роботи кафедри екології «Радіаційно-

екологічна та електромагнітна безпека населених пунктів» (реєстр. 0124U002910) (2022-2027 рр.).

Наукова новизна одержаних результатів. На основі виконаних досліджень одержані такі наукові результати:

- *вперше* науково обгрунтовано комплексний підхід до повноти системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря агломерацій з урахуванням екологічних (вміст хімічних поллютантів) та радіаційних (ефективна доза опромінення) обмежень; застосування підходу дозволить повноцінно оцінювати стан атмосферного повітря та екологічні загрози під впливом стаціонарних, пересувних джерел та радіаційних ризиків під час воєнного стану;

- *удосконалено* підхід до радіаційного моніторингу атмосферного повітря під час воєнних дій, в ситуації підвищеного ризику виникнення надзвичайної ситуації на АЕС, а саме: до вимірювань потужності ефективної дози гамма-випромінення додати радіометрію проб опадів з атмосфери та проб атмосферного повітря. Це дасть змогу вчасно реагувати на можливі зміни радіонуклідного складу атмосферного повітря як від гамма-випромінюючих радіонуклідів, так і від чистих бета-випромінюючих радіонуклідів;

- *набули подальшого розвитку* наукові уявлення щодо оперативного оцінювання стану атмосферного повітря за вмістом радіонуклідних поллютантів, а саме – визначено показник дозова ціна газоаерозольних викидів радіонуклідів з АЕС, за значеннями якого можна оперативно визначати ефективну дозу опромінення людини від радіонуклідів, викинутих з АЕС;

- *розширено* уявлення про формування забруднення атмосферного повітря поллютантами у міських агломераціях під впливом викидів поллютантів стаціонарними джерелами та пересувними джерелами транзитних вантажних транспортних потоків.

Практичне значення одержаних результатів полягає в обґрунтуванні необхідності внесення змін в організаційно-інструментальне забезпечення екологічного моніторингу атмосферного повітря через представлені пропозиції щодо використання станцій індикативних вимірювань, для яких розраховано поправочні коефіцієнти для формальдегіду (CH_2O), визначено рівень потужності ефективної дози для початку аспіраційного відбору проб повітря при аварійному викиді радіонуклідів. Це надасть можливість громадам і місцевому самоврядуванню територіальних громад: 1) виробляти політику обмеження впливу інтенсивних транспортних потоків на мешканців та/або відшкодування завданої шкоди; 2) мати оперативну інформацію щодо радіонуклідного складу повітря. В результаті буде вирішуватися питання стійкості громади до небезпечних поллютантів атмосферного повітря. Ці пропозиції розроблено відповідно до плану заходів щодо реалізації у 2021-2027 роках Стратегії розвитку Миколаївської області на 2021-2027 роки за напрямом «Європейський моніторинг стану атмосферного повітря в населених пунктах вздовж автомобільних доріг Миколаївської області (Smart EcoMykolaivRegion)».

Результати дисертаційної роботи у частині розробленого експрес-методу оперативного оцінювання ефективної дози від радіонуклідних поллютантів атмосферного повітря використані у планових наукових дослідженнях за темою науково-дослідної роботи «Розроблення методу оцінки еколого-дозового ризику на основі принципу дозової ціни і реперного екотоксиканта» (реєстр. 0113U005721) (2015–2019 рр.), «Радіаційно-екологічна та електромагнітна безпека населених пунктів» (рег. 0112U0102237) (2022-2027 рр.) (акт впровадження від 27.12.2025.).

Результати дисертаційної роботи у частині пропозиції ідентифікації вмісту в атмосферному повітрі радіонуклідних поллютантів та оцінюванні радіаційної ситуації за показниками ефективної дози, а також щодо розгортання Smart-системи у населених пунктах вздовж автотранспортних магістралей впроваджено у діяльність Департаменту енергетики, енергозбереження та

інноваційних технологій Миколаївської міської ради (акт впровадження від 20.01.2025, Додаток В).

Результати дисертаційної роботи у частині запропонованої методики коригування результатів вимірювань вмісту формальдегіду на відкритому просторі для їх використання у системі екологічного моніторингу атмосферного повітря, а також розроблена методика експрес-оцінювання індивідуальної дози опромінення людини при викидах з АЕС, разом з рекомендаціями щодо впровадження радіометрії проб опадів з атмосфери для ідентифікації радіонуклідного забруднення, впроваджено у роботу відділу впровадження екологічної політики управління сталого розвитку міста ДЖКГ Миколаївської міської ради (акт впровадження від 23.12.2025, Додаток В).

Особистий внесок здобувача.

Дисертаційна робота є самостійним, завершеним дослідженням автора в галузі екології. Всі основні положення дисертації, що винесено на захист, одержано автором самостійно. Спільно з науковим керівником дисертантом сформульовано мету та основні завдання досліджень, загальні висновки, обґрунтовано методи досліджень. Автором проведений аналіз літературних джерел за темою дисертаційної роботи, виконано весь обсяг польових досліджень; систематизовано та проаналізовано дані викидів хімічних поллютантів стаціонарними та пересувними джерелами, та матеріали багаторічних досліджень щодо викидів радіонуклідів ПАЕС. У роботах у співавторстві автор брав участь у плануванні та виконанні досліджень, обробці отриманих результатів та формулюванні висновків. Зокрема в роботі [1 – відповідно до списку опублікованих праць за темою дисертації] автор проводив спостереження за вмістом $PM_{2,5}$, PM_{10} , CH_2O у повітрі та показав наявність різниці в 1,5-1,8 разів між результатами фіксованих та індикативних вимірювань вмісту формальдегіду. У роботі [4] автор самостійно виконав відбір проб опадів з атмосфери та математичну обробку результатів гамма-бета спектрометрії, а також узагальнення висновків щодо наукової новизни щодо розширення уявлення про формування радіоекологічної ситуації під час воєнного часу через

можливість розповсюдженням у просторі чистих бета-випромінюючих радіонуклідів, що потребуватиме додаткового її обстеження. У роботі [5] автором представлено аналіз результатів власних спостережень за вмістом пилу, формальдегіду у повітрі м. Миколаєва за допомогою станцій індикативних вимірювань та узагальнення рівня забруднення атмосферного повітря через комплексний індекс забруднення атмосфери. У роботі [6] представлено результати радіоекологічних досліджень формування ефективної дози від викидів ^{131}I з АЕС, а у роботі [7] автор проаналізував склад газоаерозольних викидів ПАЕС та активність ^{131}I у повітрі, обґрунтував вибір ^{131}I в якості реперного радіонукліду при моделюванні формування ефективної дози опромінення населення від викидів АЕС. У роботах [8, 9] автором здійснено визначення потужності експозиційної дози відкритої місцевості в місцях розташування стаціонарних постів спостереження 30-кілометровій зоні ПАЕС, узагальнення даних математичними методами та прогнозування ефективної дози опромінення людини від газоаерозольних викидів радіонуклідів. Практичні пропозиції щодо вдосконалення радіаційно-екологічного моніторингу, які представлено у дисертації, висвітлено у публікаціях [10, 11].

Апробація результатів. Матеріали роботи доповідалися та обговорювалися на наступних основних вітчизняних та міжнародних конференціях: міжнародна науково-практичній конференції *«Європейське майбутнє: філософсько-освітні студії»*, Херсон, червень, 2024; міжнародна науково-практична конференція *«Радіаційна та техногенно-екологічна безпека людини і довкілля: стан, шляхи і заходи покращення»* Миколаїв, червень 2024, червень 2025; VI International Conference *«European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects»*, Миколаїв, червень 2025; XVII Pan-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students, Київ, квітень 2024; V Міжнародній науково-практичній конференції *«Екологічна безпека в умовах війни»*, Львів, листопад 2024; VI Всеукраїнській науково-практичній конференції *«Євроінтеграція екологічної політики України»*, Одеса, листопад 2024; XIX Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих

учених і студентів *«Екологічна безпека держави»*, Київ, квітень 2025; Всеукраїнській конференції *«Миколаївські міські читання»*, Миколаїв, листопад 2024, листопад 2025; X Міжнародному молодіжному конгресі *«Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»*, Львів, квітень 2025.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи представлені в 24 публікаціях: 2 статті у наукових журналах, проіндексованих у базі даних Scopus, 7 статей у наукових журналах з переліку наукових фахових видань України категорії Б, 1 стаття у інших журналах, 1 розділ у колективній монографії, а також у 13 матеріалах всеукраїнських та міжнародних наукових конференцій.

РОЗДІЛ 1. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АГЛОМЕРАЦІЙ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ СВІТУ

1.1. Екологічна стійкість агломерацій як складова сталого розвитку територій

Дослідження проблем сталого розвитку територій, населених пунктів, особливо міст та міських агломерацій, є нині одним із стрижневих напрямів наукового обґрунтування планетарної концепції сталого розвитку. [119, 192] Стан навколишнього середовища виступає одним з найважливіших параметрів, що визначають якість життя населення на території агломерації. Агломерація — це компактне скупчення населених пунктів (переважно міських), які об'єднані інтенсивними господарськими, трудовими та культурно-побутовими зв'язками. Фактично це група міст і селищ, що функціонують як єдиний організм, хоча й можуть мати окремі адміністративні органи. [13, 96] Міська агломерація — це компактне просторове угруповання населених пунктів (переважно міст), об'єднаних інтенсивними економічними, трудовими, соціальними та культурними зв'язками навколо одного або кількох великих міст-центрів. Це складна динамічна система, що виникає внаслідок урбанізації, де поселення зростаються фізично та функціонально. В основі агломерації лежить одне або декілька компактно розташованих міст. У міських агломераціях виділяють найбільш густо населене основне або центральне урбанізоване ядро і периферію, що оточує його. Міські агломерації значно відрізняються одна від одної за чисельністю населення, розміром території, кількістю населених пунктів. У країнах ЄС агломераціями вважаються міста і передмістя з населенням понад 250 тисяч осіб або інші території відповідно до вимог законодавства.

Агломерації в Україні станом на 2025-2026 роки розглядаються як важливий інструмент повоєнного відновлення та економічного розвитку. У дисертаційній роботі поняття «агломерація» використовується задля

привертання уваги, що питання екологічної безпеки атмосферного повітря розглядається не лише для міст та/або населеного пункту, а й для приміських територій.

Згідно державної «Концепції сталого розвитку населених пунктів» [119] під сталим розвитком розуміють «соціально, економічно і екологічно збалансований розвиток міських і сільських поселень, спрямований на створення їх економічного потенціалу, повноцінного життєвого середовища для сучасного і майбутніх поколінь на основі раціонального використання ресурсів...». Серед прийнятого ООН у вересні 2015 р. переліку Цілей сталого розвитку, що включає 17 ключових позицій, одна з цілей (ціль 11 «Сталий розвиток міст і громад») передбачає забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст і населених пунктів [1, 2, 12, 27, 131]. Тобто в руслі сталого розвитку екологічні питання набувають все більшого значення [126, 131]. Вони вирішуються шляхом застосування чотирьох взаємопов'язаних та взаємодоповнюючих принципів, що включають пом'якшення негативного впливу, адаптацію до змін, запобігання виникненню проблем та відновлення порушених екосистем. Кожен з цих принципів базується на певних знаннях та управлінських структурах, а також стимулює пошук інноваційних рішень різного характеру [130, 131].

Дослідники наголошують, що агломерації стикаються з унікальними викликами через надвисоку концентрацію населення та промисловості. [130, 135]

Під екологічною стійкістю міст розглядають здатність міських систем мінімізувати забруднення, раціонально використовувати ресурси та адаптуватися до кліматичних змін, забезпечуючи здорове середовище для мешканців. Вона передбачає енергоефективне будівництво, розвиток зелених зон, сталий транспорт та ефективне управління відходами для створення "екоміст". [27, 101, 127, 175] В останні роки в українських містах розроблялися плани дій зі сталого енергетичного розвитку та клімату міст. Українські міста

активно розробляють «План дій зі сталого енергетичного розвитку та клімату (ПДСЕРК/SECAP) в межах європейської ініціативи «Угода мерів», спрямованих на зменшення викидів CO₂ на 40% до 2030 року, підвищення енергоефективності та адаптацію до кліматичних змін. Ці плани передбачають заходи у сферах енергоефективності, відновлюваної енергетики та модернізації інфраструктури. Таким чином, сучасна наукова думка розглядає агломерації як складні динамічні системи, де екологічна стійкість є фундаментом для соціального та економічного благополуччя. Згідно з підходами ООН, екологічна стійкість міст розглядається разом з економічним розвитком, соціальним прогресом та ефективним управлінням. [15, 28, 29, 177]

Основні напрямки забезпечення екологічної стійкості [26-30]:

- Зелена інфраструктура: створення зелених дахів, вертикальних садів та збільшення паркових зон для покращення якості повітря та зменшення ефекту "теплового острова".
- Енергоефективність: використання пасивних технологій опалення/охолодження, енергоефективних матеріалів та відновлюваних джерел енергії;
- Сталий транспорт: пріоритет громадського транспорту, велосипедної інфраструктури та пішохідних зон, зменшення використання приватних автомобілів;
- Управління ресурсами: повторне використання сировини, переробка відходів та раціональне водоспоживання;
- Адаптація до змін клімату: створення стійких до природних та техногенних загроз інфраструктурних систем.

На сьогодні все ще не існує узгодженого визначення для того, яким стійке місто має бути, але експерти сходяться на думці, що екологічно стійке місто має задовольняти потреби нинішнього покоління без зменшення можливостей для задоволення власних потреб майбутніми поколіннями. [31, 33, 38] Стійке місто має відповідати критеріям самозабезпечення з мінімальною залежністю від

довкілля, а енергію виробляти за допомогою поновлюваних джерел. Складність ідеї полягає в тому, щоб залишити мінімально можливий екологічний слід та мінімізувати потенційне забруднення. Для цього потрібно ефективно використовувати землю, компостувати залишки використовуваних матеріалів, переробляти відходи або перетворювати їх в енергію. За умов дотримання визначеної тактики, загальний внесок міста у кліматичні зміни буде мінімальним.

Найбільш екологічно стійкими містами світу є Ванкувер, Осло, Стокгольм, Копенгаген та Гетеборг, які лідирують завдяки використанню відновлюваної енергії, розвиненій велоінфраструктурі, низькому рівню викидів CO₂ та ефективній переробці відходів. Ці міста активно впроваджують "зелені" технології, створюють зелені зони та обмежують використання приватних авто, прагнучи нейтрального впливу на довкілля. Китай і Корея одні з перших почали будувати Еко-міста. На порозі XXI ст. почали будувати перше в Китаї «зелене» місто – Донгтан. Весь транспорт в місті на електроенергії і біопаливі. Буде створена система трансформації енергії Сонця і вітру в електричну. На кордонах міста мережа високотехнологічних ферм, які мають займатися фільтруванням повітря та виведенням викидів CO₂. Біля столиці Південної Кореї будується еко-місто Сонгдо, в якому створена система штучних каналів, на зразок каналів Венеції. В Європі місто Любляна у Словенії стала першою столицею ЄС зі стратегією «Нуль відходів». Вони прагнуть до 50% продовольчої самозабезпеченості до 2027 року і навіть були названі «Найбільш дружнім до бджіл муніципалітетом». Копенгаген проти повеней, використовує концепцію «міста-губки». У Копенгагені впроваджено масштабну стратегію боротьби зі зливами — Cloudburst Management Plan. Проєкт налічує сотні ініціатив, що поєднують природні («зелені») та технічні («сірі») підходи. Ключові інструменти включають: 1) еко-дренаж: створення дощових парків, де вода поглинається ґрунтом, а не асфальтом; 2) адаптивні зони: використання парків (наприклад, Enghaveparken) як тимчасових басейнів під час паводків; 3)

дренажні магістралі: перетворення вулиць на канали для безпечного відведення води в гавань; 4) пористі покриття: встановлення матеріалів, що пропускають воду. Такі «зелено-блакитні» заходи захищають місто від затоплень, покращують мікроклімат і створюють естетичні простори для відпочинку. [10, 27, 33, 39, 113]

До найбільш екологічно чистих міст України раніше відносили Бучу, Ірпінь, Євпаторію, Кам'янець-Подільський та Трускавець. Стійкість міст є складовою сталого розвитку, спрямованою на збереження довкілля для майбутніх поколінь.

Мінімізація забруднення є фундаментальною вимогою для створення стійких міст, спрямованою на покращення якості повітря, води та ґрунту через впровадження «зелених» технологій, ефективного транспорту та збереження екосистем. Це зменшує ризики для здоров'я, стримує парниковий ефект і забезпечує екологічний баланс. Ключовими заходами є екологоорієнтоване планування, енергоефективність та зниження викидів.

За підсумками [55, 174] на одного мешканця міста припадає: 250–300 кг/рік сміття, зокрема побутового – 160–190 кг/рік (на 1 м² твердого покриття вулиць сміття утворюється 5–15 кг/рік); 150–260 л/добу побутових стічних вод (ПСВ), або 0,4 м² (залежно від густоти населення об'єм ПСВ, що надходить від 1 га житлової забудови, коливається від 10 до 15 тис. м² /год; у них у середньому міститься, г/л, зважених речовин – 65, амонійного азоту – 8, хлоридів – 9, Р_{заг} – 1,7, органічних речовин, визначених за БПК₅, – 40–60). Із атмосферними опадами на 1 км² території міста впродовж року випадає до 20–30 т розчинених речовин, у сільській місцевості – 5–15 т. Основні забруднювачі навколишнього середовища у міських агломераціях показані на рисунку 1.1.1.



Рисунок 1.1.1 – Основні забруднювачі навколишнього середовища на території міської агломерації [55]

Як вказують відомі фахівці з муніципального менеджменту, виявлення та облік конкретних чинників, що зумовили ту чи іншу екологічну ситуацію в муніципальному утворенні (міській агломерації), є необхідною умовою вироблення муніципальної екологічної політики [38, 130]. З цією метою аналізується структура економіки муніципального утворення (міста), визначаються тенденції зміни ресурсоємності підприємств, обсяги відходів, що надходять у навколишнє середовище, розміри територій, що потребують рекультивациі, оцінюється рівень антропогенних впливів, виявляються локальні резерви (або їх відсутність) при характеристиці екологічної ємності територій, проводяться дослідження і ранжирування основних причин екологічного неблагополуччя [96]. Виділяються п'ять рівнів неблагополуччя і гостроти екологічної ситуації в муніципальному утворенні: [55, 130] 1) задовільна; 2) напружена; 3) критична (передкризова); 4) кризова – зона надзвичайної екологічної ситуації; 5) катастрофічна – зона екологічного лиха.

Для Миколаївської агломерації також зараз розробляються та впроваджуються ряд документів для підвищення екологічної стійкості. В першу чергу, це «Стратегія адаптації до зміни клімату Миколаївської області» [181], метою якої є визначення та встановлення пріоритетності необхідних заходів та дій для підтримки адаптації секторів економіки та окремих територій

Миколаївської області до зміни клімату. Розроблення стратегій адаптації до зміни клімату є національним і регіональним зобов'язанням, що випливає з Рамкової конвенції зі зміни клімату (РКЗК ООН, 1992 р.), Паризької угоди та зобов'язань перед ЄС. По-друге, це «План адаптації до змін клімату в Миколаєві» [145], «План дій зі сталого енергетичного розвитку та клімату м. Миколаєва до 2030 р.», «Стратегія адаптації до зміни клімату для Миколаївської області» [146].

Дослідження за дисертаційною роботою враховували запропонований кафедрою екології ЧНУ імені Петра Могили напрямок «Європейський моніторинг стану атмосферного повітря в населених пунктах вздовж автомобільних доріг Миколаївської області (Smart EcoMykolaivRegion)», який затверджено у плані заходів щодо реалізації у 2021-2027 роках «Стратегії розвитку Миколаївської області на 2021-2027 роки».

1.2. Стан атмосферного повітря агломерацій України: міських центрів та природних територій

За дослідженнями науковців у довоєнні часи [48, 97, 104, 114, 120, 121, 129, 137, 138, 142, 143, 147, 165, 166, 172, 173, 176, 191-193, 195-200] для міст території України характерна значна відмінність рівнів забруднення, де переважно для високого середнього вмісту забруднюючих речовин характерна й вища повторюваність перевищень граничних нормативних значень. Спостереження, що здійснено напередодні повномасштабного російського вторгнення, за пилом, SO₂, CO, NO₂, CH₂O за 126 постами у 39 містах свідчили, що найчастіше небезпечні рівні забруднення спостерігаються для пилу, NO₂ та CO [173]. Відзначено, що найменша повторюваність небезпечних концентрацій спостерігалася для SO₂. Зафіксовано небезпечні рівні CH₂O, у Маріуполі. На забруднення повітря CH₂O відмічено також й інші промислові міста, зокрема Кривий Ріг, Миколаїв, Дніпро, Краматорськ та Кременчук [194-200]. Середні концентрацій CH₂O вище 0.01 мг/м³ та повторюваністю небезпечних

перевищень максимально разових концентрацій від 1% до 9% спостерігалися на близько половині постів, де проводилися спостереження за CH_2O [98, 200].

Результати дослідження впливу транспортних викидів на стан здоров'я населення Києва [65, 200] свідчили наявність прямої залежності між підвищеними концентраціями поллютантів у повітрі та зростанням рівня захворюваності серед мешканців міста. Особливу увагу автори приділили дрібнодисперсним частинкам ($\text{PM}_{2.5}$), які можуть проникати глибоко в дихальну систему людини та викликати хронічні хвороби легень, бронхіти, а також серцево-судинні захворювання. Установлено, що для населення районів із інтенсивним транспортним рухом ризик виникнення респіраторних захворювань зростає приблизно на 30–40 %. Таким чином, забруднення атмосферного повітря, спричинене автотранспортом, становить суттєву загрозу для здоров'я мешканців урбанізованих центрів, а зменшення обсягів викидів є важливою умовою забезпечення їхньої безпеки та якості життя [66, 137, 182].

У м. Києві найвищі концентрації діоксиду азоту спостерігалися в центральній частині міста в деякі місяці теплого сезону. Частота випадків перевищення ГДК у повітрі зазвичай перевищує 50%, а в теплий сезон 2012 року середня концентрація NO_2 у повітрі була дуже високою, і частота перевищення МДК досягала 100% майже на всіх станціях моніторингу. Дослідження вказали, що в теплий сезон у повітрі Києва регулярно спостерігаються аномально високі концентрації діоксиду азоту, який є попередником фотохімічного смогу і за сприятливих метеорологічних умов призведе до формування цього негативного явища в атмосфері міста. [65, 189, 196-198]

У м. Харкові у довоєнні часи реєструвалися перевищення в 1,5-3,6 разів концентрацій оксиду вуглецю на всіх трасах. Концентрація CO за 10 м від проїзної частини у межах міста становила до $19,0 \text{ мг/м}^3$ (в частках ГДК – 3,8) [109, 125, 169, 174]. Концентрація діоксиду азоту на всіх ділянках дослідження перевищувала ГДК: від 3 до 10 разів. Концентрація діоксиду сірки – в межах ГДК.

У м. Львів [12] стаціонарними джерелами забруднення викинуто 2,0 тис. т забруднювальних речовин, а пересувними – 44 680 т, з них на автотранспорт припадає 41 993 т. У розрахунку на 1 км² від стаціонарних джерел припадає 11,8 т, тоді як у Львівській обл. – 5,2 т, а на душу населення – 2,7 кг, у Львівській обл. – 44,4 кг. Серед викидів від стаціонарних джерел забруднення на Шевченківський район припадає 24,0 %, на Залізничний – 23,5, Галицький – 19,7, Личаківський – 16,6, Франківський – 16,2 %. З викидами від пересувних джерел пов'язане перевищення середньорічної концентрації пилу (1,23 ГДК), діоксиду азоту (1,18 ГДК), формальдегіду (1,3 ГДК) в атмосферному повітрі [73]. Питома вага проб з перевищенням ГДК сягає 37 % (найвищий показник у Львівській обл.).

За дослідженнями [56, 65, 132] встановлено, що в атмосферному повітрі промислового міста Дніпро постійно реєструються такі основні забруднювачі: пил, двооксид сірки, оксид вуглецю, двооксид азоту, оксид азоту, сірководень, фенол, аміак, формальдегід. При цьому середньорічні концентрації поллютантів повітря (двооксиду сірки, оксиду вуглецю, сірководню) не перевищували відповідних нормативів, вміст фенолу і аміаку визначався на максимально допустимому рівні, а концентрації пилу, двооксиду азоту, оксиду азоту і формальдегіду значно перевищували гігієнічні регламенти до 5,3 разів за період спостережень.

У Миколаєві, за результатами досліджень [117, 191] рівень атмосферного повітря оцінено як високий, наголошується на високих рівнях вмісту формальдегіду.

Відносно динаміки зміни концентрацій поллютантів у передвоєнні часи за [127, 155, 165, 178] в останнє десятиріччя перед початком повномасштабного російського вторгнення на територію України спостерігалось посилення неузгодженості між даними інвентаризацій викидів та концентраціями забруднюючих речовин, виміряних на постах державної мережі спостережень. Так, у переважній більшості проаналізованих міст викиди усіх забруднюючих

речовин поступово зменшувалися. У найбільш забруднених містах України, де проводилися спостереження за забрудненням атмосферного повітря, викиди пилу зменшувались в середньому зі швидкістю 0.5–2.5 тис. т/ рік, викиди SO_2 – 0.5-4.0 тис. т/ рік, викиди NO_2 – 0.1-1.1 тис. т/ рік, CO – 1.3-4.5 тис. т/рік, CH_2O – 2.0-10.0 тис. т/ рік.

Також вчені зазначають, що упродовж довоєнних років сезонні коливання концентрацій забруднювальних речовин у містах України є загалом незначними, а для більшості домішок їхній прояв переважно зумовлений антропогенними факторами. [104, 116, 121] Більш виразна сезонна різниця характерна для міст із підвищеним рівнем забруднення повітря. По-перше, періодично фіксується невідповідність між концентраціями та обсягами викидів, що особливо наочно видно на прикладі SO_2 . По-друге, у містах із вищими рівнями забруднення сезонні мінімуми та максимуми річного ходу виражені чіткіше. Зокрема, сезонний фактор зумовлював 20–30% дисперсії концентрацій пилу в забруднених містах і 5–15% — у відносно чистіших; для SO_2 ці показники становлять 10–30% та 5–10% відповідно; для формальдегіду (CH_2O) – 20-50% у більш забруднених і 5–10% у чистіших містах. Натомість для NO_2 та CO спостерігається протилежна тенденція: у забруднених містах сезонність пояснює 5-10% і 5-25% варіації концентрацій відповідно, тоді як у чистіших — 10-15% та 10-30% [48, 170, 178, 193].

Зазначається про кореляцію між сезонними максимумами та теплим періодом року, переважно літніми місяцями. [51, 69, 105, 118, 136] Формування літніх піків концентрацій значною мірою пов'язане з метеорологічними умовами — зокрема зі зменшенням інтенсивності осадження забруднювачів та посиленням фотохімічних процесів в атмосфері. У цілому найвиразніше сезонні коливання простежуються для формальдегіду (CH_2O) та пилу. Вміст CH_2O значною мірою визначається не прямими викидами, а його вторинним утворенням унаслідок фотохімічних реакцій в атмосфері за участю інших забруднювальних речовин. Тому сезонна динаміка і літні піки концентрацій

СН₂О в найбільш забруднених містах корелюють з інтенсивністю надходження сонячної радіації до земної поверхні. [155, 195]

Підвищення концентрацій пилу влітку зумовлене насамперед меншою частотою атмосферних процесів, що сприяють вологому осадженню домішок [105, 193].

В окремих публікаціях [84, 103, 138] науковці вказують на наявність перевищення рівня коефіцієнта небезпеки для здоров'я населення міста Дніпро за умов хронічного інгаляційного впливу окремих сполук, зокрема пилу, двооксиду азоту, оксиду азоту, формальдегіду. Вказується про формування зони високого неканцерогенного ризику через високий індекс небезпеки розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого інгаляційного впливу на населення у м. Дніпро. За цими результатами науковці обґрунтовують доцільність підвищення ефективності контролю над якістю атмосферного повітря, розробки комплексу природоохоронних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на зниження рівня екозалежної патології серед населення промислових територій [82, 90, 109].

Також науковці наголошують на необхідності модернізації системи громадського транспорту, облаштування перехоплюючих паркінгів на в'їздах до міста та стимулювання використання електромобілів. [102, 103] Крім того, дослідники рекомендують запровадження екологічних зон у центральних частинах міста, де буде обмежено рух транспортних засобів із високим рівнем викидів [166], а також інших заходів [99, 102, 103, 115].

Під час воєнного стану у південно-східних областях України спостерігалася тенденція до суттєвого зменшення кількості діючих підприємств. Це безпосередньо пов'язано із бойовими діями, що велися на території цих областей, або в областях, прилеглих до лінії розмежування. Так, мали значне зменшення в традиційних промислових регіонах та помітне зменшення майже по всій території України в межах до -100 000 тон на рік [111, 201].

1.3. Екологічний моніторинг атмосферного повітря серед задач підвищення стійкості агломерацій.

Екологічний моніторинг атмосфери є системою безперервного спостереження за якістю повітря (забруднювачі, рівень шуму) для прийняття рішень, спрямованих на сталий розвиток та підвищення стійкості міст. Він допомагає виявляти проблемні зони, знижувати антропогенний вплив, контролювати викиди, розвивати інфраструктуру та забезпечувати безпеку мешканців.

Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 21.05.2008 [95] визначає основні вимоги до контролю й оцінювання стану атмосферного повітря. Її ключове завдання — встановити єдині підходи до моніторингу та забезпечення належної якості повітря на території держав-членів ЄС. Документ систематизував і об'єднав чинну на той час нормативну базу Євросоюзу у сфері охорони атмосферного повітря. Зокрема, в одному акті були консолідовані положення Рамкової директиви 96/62/ЄС, трьох дочірніх директив (1999/30/ЄС, 2000/69/ЄС, 2002/3/ЄС) та Рішення 97/101/ЄС щодо обміну інформацією. Окремо продовжила діяти лише Директива 2004/107/ЄС.

Відповідно до вимог документа, кожна держава повинна здійснити зонування своєї території та виділити агломерації залежно від рівня забруднення повітря, а також визначити порядок їх перегляду. В Україні раніше застосовувався підхід, заснований виключно на адміністративно-територіальному поділі, без екологічної класифікації. Якщо концентрації забруднюючих речовин перевищують встановлені нормативи або існує загроза такого перевищення, необхідно розробляти плани дій щодо покращення якості повітря для відповідних зон.

Директива передбачає кілька видів нормативів якості атмосферного повітря:

- Граничні значення — встановлені для PM_{2,5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, бензолу, СО та свинцю. Це науково обґрунтовані рівні концентрацій, які не

повинні перевищуватися після визначеного терміну, оскільки спрямовані на запобігання або мінімізацію шкоди здоров'ю людей та довкіллю;

- Цільові значення — визначені для $PM_{2,5}$ та O_3 . Вони мають бути досягнуті в межах установленого періоду настільки, наскільки це можливо;

- Граничні значення — для SO_2 , NO_2 та O_3 . Їх перевищення створює ризик короточасного негативного впливу на здоров'я населення, що зобов'язує держави негайно реагувати;

- Критичні рівні — для SO_2 та NO_2 . Їх перевищення може спричинити прямий негативний вплив на рослинність та природні екосистеми;

- Довгострокові цілі — встановлені для озону (O_3).

Основні нормативи для захисту здоров'я населення включають, зокрема:

- для PM_{10} — середньорічне значення 40 мкг/м^3 та добове 50 мкг/м^3 (не більше 35 перевищень на рік);

- для $PM_{2,5}$ — цільове і граничне значення першого етапу 25 мкг/м^3 , другого етапу — 20 мкг/м^3 (середньорічне);

- для SO_2 — 350 мкг/м^3 (погодинне, не більше 24 перевищень на рік) та 125 мкг/м^3 (добове, не більше 3 перевищень);

- для NO_2 — 40 мкг/м^3 (середньорічне) і 200 мкг/м^3 (погодинне, не більше 18 перевищень);

- для свинцю — $0,5 \text{ мкг/м}^3$ (середньорічне);

- для бензолу — 5 мкг/м^3 (середньорічне);

- для CO — 10 мг/м^3 (максимальне середнє 8-годинне значення);

- для O_3 — 120 мкг/м^3 (максимальне середнє 8-годинне значення, не більше 25 днів на рік у середньому за три роки).

У Європейському Союзі моніторинг здійснюється насамперед щодо таких забруднювачів: діоксид сірки, оксиди нітрогену, тверді частки $PM_{2,5}$ і PM_{10} , свинець, бензол та оксид карбону.

Для України імплементація вимог Директиви є складним і масштабним завданням. Йдеться про модернізацію застарілої системи моніторингу, створеної ще в радянський період, та формування сучасної європейської мережі спостережень із новітнім обладнанням і розширеною кількістю постів контролю. Така система має стати надійною основою для розроблення й реалізації ефективної екологічної політики. Це передбачає докорінне оновлення чинних нормативів і процедур, зокрема відмову від 20-хвилинного інтервалу усереднення концентрацій, який не застосовується в ЄС, а також запровадження повноцінного контролю за вмістом озону та дрібнодисперсних часток РМ_{2,5} і РМ₁₀, які наразі вимірюються недостатньо системно.

В Україні сьогодні діють наступні правові акти щодо регулювання системи моніторингу стану довкілля. Це:

- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 26 червня 1991 року N 1268-XII [107],
- Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.09.1992 .№2707-XII.[106],
- Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 № 2697-VIII) [105],
- Постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 №391 «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» від 30.03.1998р. № 391 [152],
- Норми радіаційної безпеки України [151],
- Постанова Кабінету Міністрів України: Деякі питання створення та функціонування Інтегрованої автоматизованої системи радіаційного моніторингу, від 11 лютого 2026 р. №175 [94],

- Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 25.02.2021 №147 «Про затвердження форми Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря» [156],
- Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 21.04.2021 №300 «Про затвердження порядку розміщення пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря в зонах та агломераціях» [154],
- Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 01.08.2022 року №268 «Про затвердження Порядку розроблення та затвердження планів поліпшення якості атмосферного повітря» [155],
- Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 24.03.2025 року №590 «Про затвердження Порядку інформування населення про якість повітря за основними показниками з використанням індексу якості повітря в Україні» [153].

Згідно останнього вказаного документу в Україні з 2025 р. прийнято визначати Індекс якості атмосферного повітря – комплексний показник, який розраховується за вмістом у повітрі твердих часток (PM_{2,5}), твердих часток (PM₁₀); озону; діоксиду азоту; діоксиду сірки. Для визначення індексу якості повітря в Україні та інформування населення використовуються поточні дані про усереднені годинні значення рівнів забруднюючих речовин, що отримані на фіксованих пунктах спостереження з використанням фіксованих вимірювань. Комплексний індекс забруднення атмосферного повітря (КІЗА) залишається використовуватися для оцінювання рівня забруднення повітря [41, 118].

На світовому рівні найкращий екологічний моніторинг атмосферного повітря забезпечують глобальні платформи, які агрегують дані з тисяч державних та приватних станцій спостереження. Це [103, 117]:

- IQAir (AirVisual) — найвідоміший ресурс, який надає дані в реальному часі про понад 10 000 міст світу. Він має найбільш детальну інтерактивну 3D-карту Землі, де можна побачити рух повітряних мас та забруднювачів онлайн;
- World Air Quality Index (WAQI / aqicn.org) — некомерційний проєкт, що базується в Пекіні. Він відображає дані з офіційних урядових станцій моніторингу майже кожної країни;
- BreezoMeter (тепер частина Google) — використовує складні алгоритми та машинне навчання для прогнозування якості повітря з точністю до конкретної вулиці;
- Plume Labs – сервіс, що фокусується на "персональному моніторингу". Їхня карта World Air Map показує рівень забруднення в кожній точці планети, використовуючи супутникові дані.

За останніми звітами IQAir [3, 36] лише 7 країн світу повністю відповідають стандартам ВООЗ щодо чистоти повітря: Фінляндія (стабільно має найнижчий рівень мікрочастинок пилу), Естонія, Ісландія, Австралія, Нова Зеландія, Гренада, Маврикій. Станом на 2026 рік, найбільш забрудненими країнами залишаються Чад, Пакистан та Бангладеш. Україна в глобальному рейтингу зазвичай посідає місце в другій сотні за рівнем забруднення (101 місце у 2024 році).

У таблиці 1.3.1 наведено дані щодо концентрації мікрочастинок пилу PM_{2.5} у містах України за останнім глобальним звітом IQAir.

Таблиця 1.3.1 – Оцінка якості атмосферного повітря у містах України за дрібнодисперсним пилом PM_{2.5}

Місто	Рівень PM _{2.5} (мкг/м ³)	Оцінка якості (за нормами ВООЗ)
Київ	8.9 – 9.5	Помірний (перевищення норми у 1.8 рази)
Львів	7.4 – 8.1	Добрий (близько до норми)

Одеса	10.2	Помірний
Дніпро	12.8	Помірний (високе промислове навантаження)
Харків	11.5	Помірний
Миколаїв	9.8	Помірний

Нами проведено аналіз матеріалів досліджень в окремих містах України відносно впровадженої системи екологічного моніторингу атмосферного повітря цих міських агломерацій.

У місті Дніпро спостереження за забрудненням атмосферного повітря проводяться на 6 стаціонарних та 2 маршрутних постах [109, 148]. Програма моніторингу якості атмосферного повітря включає спостереження за поллютантами: пил, двоокис азоту, двоокис сірки, оксид вуглецю, двоокис азоту, сірководень, фенол, аміак, формальдегід, а також бенз(а)пірен та важкі метали. На деяких постах спостереження перелік досліджуваних домішок відрізняється. У перелік пріоритетних домішок для яких розраховується ІЗА, а за тим і комплексний індекс входять: формальдегід, діоксид азоту, пил, фенол, аміак. За досліджуваний період значення ІЗА переважно знаходився в межах від 8 до 13 одиниць, що можна характеризувати як високий рівень забруднення атмосфери. Встановлено, що за останні 20 років найвищий показник спостерігався в 2008 році і складав 14,1 (дуже високий рівень забруднення), в останні роки обсяг викидів від пересувних джерел також був найбільшим. Крім того, за останніми даними [148] упродовж грудня в Дніпропетровській області було проаналізовано дані з 42 станцій моніторингу EcoCity, розташованих у різних населених пунктах регіону. Зокрема:

- м. Дніпро – 14 станцій, з них 2 не враховано в аналізі через недостатню кількість даних;
- м. Верхньодніпровськ – 3 станції;

- м. Кривий Ріг – 7 станцій, з них 2 виключено з аналізу через нестачу даних;
- м. Нікополь – 3 станції;
- м. Кам'янське, м. Марганець, м. Самар, м. Підгороднє, м. Тернівка, с-ще Дніпровське, с-ще Новомиколаївка, с-ще Слобожанське, с-ще Томаківка, с. Балівка, с. Високе, с. Мар'янське, с. Орільське, с. Спаське та ПЗ «Дніпровсько-Орільський» – по 1 станції в кожному населеному пункті.

У м. Рівне для проведення досліджень територію міста розділено на 9 умовних секторів з найбільш інтенсивним рухом транспорту та визначено 11 пріоритетних забруднюючих речовин, які найбільше впливають на організм людини, а саме: діоксид азоту, оксид вуглецю, оксид азоту, діоксид сірки, сірководень, фенол, формальдегід, фтористий та хлористий водень, пил, аміак. Оцінювання вмісту поллютантів в атмосферному повітрі проводиться за максимально разовими та середньодобовими гранично допустимими концентраціями. Так, періодично фіксувалися перевищення максимально разових гранично допустимих концентрацій поллютантів в 2 точках, перевищення середньодобових гранично допустимих концентрацій в атмосферному повітрі виявлено у 5 точках спостережень.

У м. Вінниці систематичні спостереження за вмістом шкідливих речовин в атмосферному повітрі проводяться лабораторією спостережень за забрудненням атмосфери (ЛСЗА) Вінницького ЦГМ на двох стаціонарних постах (ПСЗ): ПСЗ №1 розташований по вулиці Київська, 25; ПСЗ №2 – на Немирівському шосе, 29 [56]. У повітрі визначаються 15 забруднювальних домішок, з них основні - завислі речовини, діоксид сірки, оксид вуглецю та діоксид азоту і специфічні - фтористий водень, аміак, формальдегід та вісім важких металів (залізо, кадмій, манган, мідь, нікель, свинець, хром, цинк). За результатами досліджень за 9 місяців 2022 р. в атмосферному повітрі міста спостерігався помірно високий вміст діоксиду азоту (речовина 3 класу небезпеки) та фтористого водню (речовина 2 класу небезпеки). Загалом по місту

середня за 9 місяців концентрація по діоксиду азоту перевищувала ГДКс.д. у 1,1 рази, по фтористому водню – у 1,2 рази. Максимальні концентрації досягали 1,9 ГДКм.р. по діоксиду азоту і 2,6 ГДКм.р. по фтористому водню. Кількість випадків перевищення ГДКм.р. з діоксиду азоту за 9 місяців становила 33. По фтористому водню було зафіксовано 99 випадків перевищення ГДКм.р. За індексом забруднення атмосферного повітря (ІЗА) загальний рівень забруднення за 9 місяців загалом по місту характеризувався, як низький. Схожа ситуація за забрудненням атмосферного повітря на Кіровоградщині [49].

На території міста Суми [97] моніторинг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря здійснює лабораторія Сумського обласного центру з гідрометеорології. За даними Сумського обласного центру з гідрометеорології у грудні 2021 року відбір проб атмосферного повітря здійснювався на 3-х стаціонарних постах, які знаходяться за адресами: вул. Сумсько-Київських дивізій, 26 (ПСЗ № 3), вул. Харківська, 125 (ПСЗ № 4), вул. Металургів, 2 (ПСЗ № 5). Протягом грудня 2021 року відібрано та проаналізовано 1246 проб атмосферного повітря. Середньомісячні концентрації діоксиду азоту перевищували санітарні норми в атмосферному повітрі в 1,4 рази, пилу та формальдегіду – в 1,2 рази. Інші інгредієнти, що визначались, нижче або на рівні санітарних норм. У порівнянні з листопадом 2017 року збільшилася середньомісячна концентрація формальдегіду, рівень забруднення діоксидом азоту та оксидом азоту зменшився, а пилом, оксидом вуглецю, діоксидом сірки та аміаком залишився майже на попередньому рівні.

У роботі [116] розглянуто ефективність упровадження європейських стандартів моніторингу якості атмосферного повітря в умовах столиці України. Дослідники аналізували застосування системи THOR-AIR-PAS, яка забезпечувала високоточний контроль концентрацій забруднювальних речовин, зокрема оксидів азоту (NO_x), вуглекислого газу (CO₂), дрібнодисперсних частинок (PM₁₀, PM_{2.5}) та інших сполук. Так, у дослідженні наведено результати експериментального використання цієї системи на найбільш

навантажених транспортних ділянках Києва, серед яких Бессарабська площа, проспект Перемоги та Поштова площа. Отримані дані дали змогу точно визначити так звані «гарячі точки» з підвищеним рівнем забруднення атмосферного повітря, що, у свою чергу, сприяло формуванню більш обґрунтованих рекомендацій щодо зменшення обсягів шкідливих викидів.

В Україні діє кілька великих онлайн-платформ для екологічного моніторингу якості атмосферного повітря в режимі реального часу. Найбільш поширені та використовувані платформи):

- SaveEcoBot – агрегатор екологічних даних, що збирає інформацію з державних та громадських станцій моніторингу.
- EcoCity – мережа громадського моніторингу, що використовує власні станції вимірювання дрібнодисперсного пилу та газів.
- ЛУН Місто Air – сервіс моніторингу якості повітря в Києві та інших великих містах України (Львів, Одеса, Харків тощо), орієнтований на міську інфраструктуру.
- Clean Air for Ukraine – міжнародна (україно-чеська) ініціатива, що інтегрує дані різних мереж моніторингу якості атмосферного повітря).
- IQAir (AirVisual) — міжнародний ресурс, що надає глобальну карту індексу якості повітря (AQI), за яким значення від 0 до 50 вважаються безпечними («добре»), а вище 51 — нездоровими для загального населення; основними показниками вимірювання є тверді частки PM2.5 та PM10.

1.4. Вивченість питання впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря у міських агломераціях

У сучасних умовах урбанізації автотранспорт став провідним чинником негативного впливу на стан повітряного басейну. У великих містах на пересувні джерела припадає ледь частка всіх шкідливих викидів, що створює безпосередню загрозу екологічній безпеці та здоров'ю населення.

Автомобільний транспорт – це особливо небезпечний забруднювач повітряного басейну, оскільки він функціонує у безпосередній близькості від житлової забудови і місць масового скупчення людей.

Основним наслідком зростання числа автотранспорту є зростання антропогенного впливу на навколишнє середовище і, перш за все, на атмосферу забудованих територій [37]. Викиди автомобілів, перш за все, небезпечні тим, що надходять безпосередньо у приземний шар атмосфери, де швидкість вітру є незначною, і тому гази погано розсіюються. Основним джерелом забруднення є відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згорання. Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) працюють на рідкому паливі (бензин, газ, нафта) або на пальному газі. Незважаючи на постійне поліпшення конструкції автомобіля - комплектація, двигун, підвищення швидкості тощо, екологічна проблема залишається гострою. В основі процесу, що призводить автомобіль до руху, лежить горіння палива, неможливе без кисню з повітря. В середньому один легковий автомобіль щорічно поглинає з атмосфери близько 5 т кисню, викидаючи при цьому з відпрацьованими газами більше 1 т оксиду вуглецю та інших шкідливих речовин. Відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згорання містять як нетоксичні (водяна пара, вуглекислий газ), так і токсичні речовини. До числа останніх відносять: оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x), вуглеводні (C_xH_x), діоксид сірки (SO₂), а також такі канцерогенні речовини як сажа, бензапірен та альдегіди [32, 46, 137, 148]. Особливу небезпеку становлять дрібнодисперсні частки (PM_{2.5}), які утворюються внаслідок зносу гальмівних колодок та шин. Згідно зі звітами Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), ці частки здатні проникати до кровоносної системи, викликаючи серцево-судинні та онкологічні захворювання.

Більш високі обсяги викидів оксидів вуглецю характерні для бензинових двигунів автомобілів всіх марок, а оксиди азоту – для дизельних двигунів. [57, 58, 166].

Останні десятиліття відзначаються інтенсивним процесом автомобілізації суспільства. Досягнутий рівень автомобілізації не стільки задовольняє вимоги населення, скільки збільшує масштаби реальної екологічної небезпеки [55-57]. Концентрація великої кількості транспортних засобів на порівняно обмеженій території міст істотно впливає на стан забруднення атмосферного повітря, і в певних умовах це призводить до домінуючого впливу автомобільного транспорту на навколишнє повітряне середовище. В Україні, як і в усьому світі, автотранспорт є основним джерелом забруднення повітря в містах, забезпечуючи від 70% до 90% усіх токсичних викидів у житлових зонах [166]. Специфіка цього виду забруднення полягає у його низькій локалізації — викиди відбуваються безпосередньо в зоні дихання людини, що робить їх критично небезпечними.

Інтенсивне зростання кількості та зміни швидкості руху транспортних засобів у містах України за останні роки призвело до виникнення серйозної небезпеки: зростання екологічних проблем щодо якості атмосфери внаслідок шкідливого впливу викидів автомобільного транспорту, погіршення стану здоров'я мешканців від забрудненого міського середовища, особливо у містах з вузькими вулицями та старою забудовою, використання невідновлюваних джерел енергії (органічного палива), застосування застарілого автотранспорту із значним ступенем амортизації тощо. Ці аспекти призводять до економічних та екологічних витрат. Кількість шкідливих викидів автотранспорту у містах України складає 50-90% від загального об'єму аеротехнічних забруднень [165, 170, 188]. Також автомобілі піднімають у повітря осілі частки бруду, створюючи вторинне забруднення.

Автомобільний транспорт великого міста – це не тільки громадський, вантажний та індивідуальний транспорт, яким користується населення міста [50, 177, 183]. На даний час це також є автомобілі, які рухаються автомагістралями від одного об'єкту до іншого, через різні населені пункти. Вантажівки представляють собою більш велику екологічну небезпеку, ніж легкові

автомобілі. Крім того, через свої розміри вони займають багато місця на дорогах, створюють сильний шум і руйнують дорожнє полотно і мости. Трейлери, які складають лише близько 5% в загальному автомобілепоточи, шумлять так само, як всі інші автомобілі, разом узяті. Повністю навантажений автопоїзд може завдати дорожньому покриттю такої ж шкоди, як 60000 легкових авто. [115]

Під час руху автотранспорту викиди з відпрацьованих газів розподіляються за усім напрямком руху, але в пунктах вимушених зупинок викиди концентруються максимально. Найбільш забрудненими ділянками вулиць є перехрестя, дорожні затори та інші місця ускладнень для руху автотранспортних засобів.

Рівень загазованості магістралей і приміагістральної території залежить від інтенсивності руху автомобілів, ширини і рельєфу вулиці, швидкості вітру, частки вантажного транспорту і автобусів в загальному потоці і інших факторів. Так, у роботі [106] проаналізовано взаємозв'язок між погодними умовами та рівнем забруднення повітря формальдегідом. Дослідження показало, що метеорологічні фактори, такі як температура, вологість і швидкість вітру, суттєво впливають на концентрацію поліутантів в атмосфері. Підвищення температури сприяє активізації фотохімічних реакцій, що призводить до утворення вторинних забруднювачів, таких як формальдегід. Автори провели аналіз даних із моніторингових станцій м. Києва за період 2015-2018 років, і з'ясували, що в літні місяці концентрація формальдегіду збільшується на 30-40 % порівняно із зимовим періодом. Найвищі рівні забруднення були зафіксовані у районах із щільним транспортним рухом і недостатньою вентиляцією повітря, таких як Поділ та Лук'янівка. Метеорологічні умови суттєво впливають на рівень забруднення повітря в Києві. Врахування цих факторів при плануванні заходів зі зниження забруднення є необхідним для досягнення ефективних результатів.

Відомо, що розсіювання викидів автомобілів ускладнюється на тісних вулицях [112]. В результаті мешканці міста відчують на собі шкідливий вплив

автомобілів. У роботі [42] проведено аналіз стану забруднення атмосферного повітря в центральних районах столиці. Основну увагу дослідники приділили визначенню концентрацій оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO) та дрібнодисперсних частинок PM_{2.5} у густонаселених районах, зокрема на Оболоні, Солом'янці та Дарниці. За результатами дослідження встановлено, що рівні забруднення в цих частинах міста перевищують допустимі нормативи в середньому на 35–50 %. Особливу загрозу становлять частинки PM_{2.5}, які здатні проникати глибоко в дихальні шляхи людини та спричиняти різні респіраторні захворювання. Крім того, автори відзначили вплив щільної міської забудови на накопичення забруднювальних речовин. Вузькі вулиці, оточені високими будівлями, формують так званий ефект «міських каньйонів», унаслідок чого забруднене повітря довше затримується в цих зонах. Встановлено, що основним джерелом забруднення в густонаселених районах Києва є автомобільний транспорт, оскільки тут поєднуються інтенсивний рух транспорту та обмежена вентиляція повітря.

У роботі [122] розглянуто вплив різних режимів руху автотранспорту на обсяги викидів забруднювальних речовин. Дослідження охоплювало три типи транспортного руху: безперервний рух без зупинок, рух із частими зупинками (зокрема на світлофорах) та пересування в умовах транспортних заторів. Результати показали, що найбільші рівні забруднення фіксуються саме під час руху в заторах, коли автомобілі тривалий час працюють на холостому ходу. За таких умов у придорожньому повітрі накопичуються підвищені концентрації оксидів азоту та вуглецю. Водночас при рівномірному русі із середньою швидкістю 40–50 км/год обсяг викидів зменшується приблизно на 20–30 %. Отже, скорочення кількості транспортних заторів і вдосконалення режимів роботи світлофорів можуть суттєво сприяти зниженню рівня забруднення атмосферного повітря в Києві. У роботі [43] розглянуто масштаби забруднення атмосферного повітря в столиці, спричиненого автотранспортом. Дослідники встановили, що транспортні викиди формують понад 85 % загального обсягу

забруднюючи речовин у м. Києві. Показано, що в районах із високою щільністю забудови, зокрема у Подільському та Шевченківському районах, концентрації оксидів азоту та дрібнодисперсних частинок перевищують допустимі нормативи приблизно на 40–50 %. Автори підкреслюють необхідність урахування особливостей міського планування та забудови під час розроблення заходів із покращення якості атмосферного повітря. Отримані результати свідчать про необхідність інтеграції екологічних вимог у систему управління міською транспортною інфраструктурою. Зокрема, автори наголошують на доцільності запровадження зон із обмеженим рухом приватного транспорту, розвитку громадського транспорту, а також стимулювання використання електромобілів як одного зі способів зменшення негативного впливу транспорту на якість повітря.

У роботі [103, 180] досліджено особливості забруднення атмосферного повітря в умовах значної урбанізації. Автори проаналізували вплив щільної міської забудови, наявності транспортних вузлів і обмеженої циркуляції повітря в окремих районах міста на накопичення поллютантів.

Вплив транзитного важкого автотранспорту для агломерацій мало досліджено. Тому у дисертаційному дослідженні присвячено вивченню цього питання.

1.5. Питання радіаційного моніторингу атмосферного повітря природних та урбанізованих територій

Радіоактивне забруднення урбосистем є питанням, що турбує кожного містянина, адже у час сучасних інформаційних технологій про це відомо чимало. Науковці зазначають про необхідність регулярного проведення замірів гамма- і бета-випромінювання, порівнювати результати та аналізувати зміни [35, 45, 53, 54].

Радіаційно-екологічний моніторинг атмосферного повітря є одним з інструментів вчасного інформування та забезпечення людей та біоти від

опромінення. Радіоактивний пил, що міститься у повітрі, надзвичайно небезпечний для людини [66]. Навіть при середньому рівні його загальної радіоактивності, мікроскопічні пилові частинки можуть мати високий рівень радіоактивності. Потрапляючи з течією крові до внутрішніх органів й осідаючи там, вони піддають локальному опроміненню навколишні тканини. Це, в свою чергу, з високою ймовірністю, призводить до розвитку ракових клітин [100, 110, 159, 167]. Під час воєнних дій особливу небезпеку представляють об'єкти атомно-енергетичного комплексу, бо надзвичайні ситуації на останніх супроводжуються значними зонами ураження як за площею, так й за висотою в атмосфері [175, 180].

У 2022 році Європарламент визнав газ та атомну енергетику «зеленими» [52, 158]. Це означає, що їхнє використання не суперечить принципам вуглецевої нейтральності, досягти яких ЄС планує до 2050 року, коли країни Європи збираються викидати стільки ж парникових газів, скільки й поглинати. Всі «старі» АЕС мають бути переобладнані відповідно до нових технологічних вимог. Активніше будуть розвиватися не великі традиційні реактори, а малі – Small Modular Reactor потужністю до 300 мВт. Україна поставила собі за мету триматися європейського курсу, а тому План відновлення має відповідати стандартам законодавства ЄС. Водночас, атомна енергетика є потенційно небезпечною через: можливі аварії на енергоустановках, викиди близько 250 радіоактивних ізотопів в навколишнє середовище в результаті роботи ядерних реакторів. Ці процеси призводять до забруднення навколишнього середовища, впливають на стан здоров'я населення. За даними багаторічних радіоекологічних і дозиметричних досліджень в районах Південноукраїнської та Запорізької АЕС визначено радіоекологічний ризик надходження у довкілля радіонуклідів з газоаерозольними викидами й рідкими скидами АЕС [170]. У роботах науковців ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України» висвітлені питання захворюваності населення внаслідок впливу іонізуючого опромінення [138,

167]. Побудова нових енергоблоків вимагає захисних заходів та радіаційного моніторингу довкілля при експлуатації. Радіоактивне забруднення супро воджує всі ланки складного господарства ядерної енергетики: видобуток і переробку урану, роботу АЕС, зберігання і регенерацію палива.

До початку воєнних дій на території України, за результатами радіоекологічних досліджень у районі ПАЕС [53, 150, 186] визначено, що радіаційний вплив на довкілля, пов'язаний з викидами та скидами радіоактивних речовин, утворених у виробничому циклі Південноукраїнської АЕС в умовах повсякдення, незначний. Газоаерозольні викиди інертних радіоактивних газів, довгоживучих нуклідів, ^{131}I в атмосферу не перевищували встановлених допустимих рівнів і складали соту відсотка до ліміту викиду інертних радіоактивних газів та довгоживучих нуклідів і тисячну відсотка для йоду. Сумарні викиди радіонуклідів (^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^3H) енергоблоками ПАЕС (фактичний, відсоток від ліміту викиду) в атмосферу не перевищували встановлених допустимих рівнів. Максимальні середні значення концентрації в атмосферному повітрі ЗС ^{137}Cs за період 2015–2021 рр. складали від 2,858 мкБк/м³ (проммайданчик ПАЕС) до 1,986 мкБк/м³ (с. Рябоконево 33,5 км).

Як відомо, у перший день вторгнення рф у 2022 р. Чорнобильська АЕС та Зона відчуження були захоплені російським агресором; ворог окупував Запорізьку АЕС, яка зазнала обстрілів танковими снарядами, піддав обстрілам ядерну установку в Харківському фізико-технічному інституті, а над АЕС України неодноразово зафіксовано прольоти крилатих ракет [35, 124].

За визначенням науковців у сфері радіаційної безпеки радіаційно-екологічний (радіаційний) моніторинг довкілля – це комплексна інформаційно-технічна система регулярних спостережень за радіаційним станом навколишнього середовища, процесами міграції та накопичення радіонуклідів, потенційно небезпечними явищами тощо, яка реалізується за допомогою спеціального обладнання (систем, комплексів чи окремих приладів) для

оцінювання та прогнозування радіаційного стану довкілля [30, 149]. Практикуються радіоекологічні спостереження за окремими підприємствами, особливо підприємствами ядерного паливного циклу та іншими, які є джерелами викидів радіоактивних речовин у навколишнє середовище [60-62]. За час агресії РФ проти України через постійні обстріли територій ракетами та безпілотними апаратами підвищилася увага до радіаційної безпеки на території України [58, 59], і, особливо, поблизу АЕС [63, 89, 100]. Науковці актуалізують питання транскордонного перенесення радіаційного впливу при ймовірнісних надзвичайних ситуаціях на АЕС, а також під час військових дій [58, 59, 129].

Тому цікавим є проведення радіоекологічних досліджень радіоактивності опадів з атмосфери на території м. Миколаєва та Миколаївської області під час військових дій, визначення можливих неврахованих факторів радіаційний стан повітряного середовища та розроблення пропозицій для оптимізації радіоекологічного моніторингу атмосферного повітря під час військових дій.

Прогнозування радіаційного стану на території в зоні впливу газоаерозольних викидів АЕС було актуально до воєнних дій [60-63, 139], а особливо актуалізувалося під час воєнних дій на території нашої держави [40, 124]. Це пов'язано з підвищенням ризиків радіоекологічних аварій, загрози зміни радіаційної ситуації, потрапляння радіонуклідів в атмосферне повітря внаслідок постійних обстрілів з боку РФ ракетами та безпілотниками територій поблизу АЕС [40, 143, 157].

Одним з методів, які дозволяють оперативно прогнозувати радіаційну ситуацію і радіаційне навантаження на людину, є метод, заснований на визначенні коефіцієнтів переходу від радіаційних характеристик джерела іонізуючого випромінювання – до ефективної дози опромінення людини [168, 186]. Для оперативної орієнтації у рівнях радіаційного навантаження на населення в якості таких коефіцієнтів використовують нормалізовані показники

ефективної дози – ефективні дози, віднесені до щільності випадіння радіонуклідів (в одиницях Зв/(Бк/м²).

Тому одне з завдань дисертаційної роботи полягало у встановленні коефіцієнтів (нормалізованих показників ефективних доз), які дозволятимуть оперативно визначати ефективну дозу опромінення людини від техногенних джерел іонізуючого випромінювання, в першу чергу пов'язаних з газоаерозольними викидами АЕС.

Висновки до першого розділу

Однією з цілей сталого розвитку територій є забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст і населених пунктів. Екологічна стійкість міст та міських агломерацій передбачає здатність міських систем мінімізувати забруднення, раціонально використовувати ресурси та адаптуватися до кліматичних змін, забезпечуючи здорове середовище для мешканців.

Мінімізація забруднення є фундаментальною вимогою для створення стійких міст, спрямованою на покращення якості повітря, води та ґрунту через впровадження «зелених» технологій, ефективного транспорту та збереження екосистем. Це зменшує ризики для здоров'я, стримує парниковий ефект і забезпечує екологічний баланс. Ефективний екологічний моніторинг атмосферного повітря сприяє розв'язку проблеми мінімізації забруднення, пов'язаного з викидами атмосферних поллютантів стаціонарними та пересувними джерелами, та сприяє прийняттю рішень, спрямованих на сталий розвиток та підвищення стійкості міст. Він допомагає виявляти проблемні зони, знижувати антропогенний вплив, контролювати викиди, розвивати інфраструктуру та забезпечувати безпеку мешканців.

Для промислових міст України та відповідних міських агломерацій характерним є високі рівні забруднення атмосферного повітря пилом, СО, діоксидом азоту – що пов'язують з викидами зі стаціонарних джерел та міським

автотранспортом. Існують неоднозначні висновки щодо сезонної динаміки вмісту поллютантів у повітрі. Директивні вимоги ЄС щодо організації екологічного моніторингу атмосферного повітря наголошують на необхідності врахування регіональних особливостей. Міська агломерація з центром у м. Миколаєві має характерні відмінності, які пов'язані з її географічним положенням і функціонуванням до військової агресії розвиненої портової галуззі, яка була задіяна у логістиці вантажів зерна, металу тощо. Це передбачало курсування крізь місто численної кількості багатотонажних вантажівок та обумовлювало відповідні викиди поллютантів.

Тому у роботі доцільно дослідити надходження у повітря цієї нетипової міської агломерації основних забруднювачів: пилу, в т.ч. дрібнодисперсних фракцій, формальдегіду, оксиду та діоксиду азоту, оксиду та діоксиду вуглецю, бензапірену.

Через підвищення ризиків радіаційних аварій, загрози зміни радіаційної ситуації через потрапляння радіонуклідів в атмосферне повітря внаслідок постійних обстрілів ракетами та безпілотниками рф територій поблизу АЕС доцільно дослідити радіонуклідний склад опадів з атмосфери у Миколаївській агломерації, зміни рівня потужності ефективної дози атмосферного повітря у населених пунктах Миколаївської області, а також склад газоаерозольних викидів ПАЕС.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Поллютанти атмосферного повітря та еколого-радіаційний моніторинг.

Екологічний моніторинг стану атмосферного повітря в агломераціях країн ЄС здійснюють за об'ємними концентраціями: SO₂, NO, NO₂, частинки PM₁₀ та PM_{2.5}, свинець, бензол, СО. Також обов'язковим є моніторинг токсичності запаху, якщо підприємство є потенційним забруднювачем повітря леткими органічними сполуками.

Основними забруднюючими речовинами, за якими ведуться спостереження на стаціонарних постах згідно державного моніторингу атмосферного повітря в Україні, є: суспендовані пилові частинки, SO₂, NO_x, СО, формальдегід, свинець, бенз(а)пірен. Деякі станції контролюють наявність додаткових забруднюючих речовин залежно від регіональних або місцевих викидів та наявності технічного потенціалу.

Існує відмінність у спостереженні за пиловим забрудненням в Україні, порівняно з країнами ЄС. У країнах ЄС екологічний моніторинг пилового забруднення здійснюється шляхом спостережень за дрібнодисперсними частинками пилу діаметром менше 10 мкм (PM₁₀) і 2,5 мкм (PM_{2,5}), адже останні вважаються одним з небезпечних видів забруднення атмосферного повітря, що вимагають систематичного контролю. Такі частинки тривалий час знаходяться у повітрі, переносяться на великі відстані і легко долають захисні бар'єри людського організму, проникаючи глибоко в легені. В Україні екологічний моніторинг пилового забруднення атмосферного повітря здійснюється за загальною фракцією пилу.

В Україні гігієнічне нормування PM₁₀ і PM_{2.5} прийнято у 2014 році (у результаті підписання угоди про асоціацію між Україною та ЄС), в той час як в США та Європейському Союзі таке нормування існує вже багато років і супроводжується великою кількістю спостережень, досліджень, методичних розробок, які стосуються, зокрема, і діяльності автомобільного транспорту.

Велику увагу гігієнічному значенню дрібнодисперсних частинок приділяє Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ). Зіставлення існуючих на сьогодні нормативних вимог вмісту PM10 і PM2.5, а також загального вмісту завислих речовин (TSP) в повітрі представлено в таблиці 2.1.1 [2, 95].

Таблиця 2.1.1 – Гранично допустимі концентрації TSP, PM10, PM2.5 в атмосферному повітрі в Україні, США, ЄС і за рекомендаціями ВООЗ

Речовина	Час усереднення	Україна, мг/м ³	ВООЗ, мг/м ³	США, мг/м ³	ЄС, мг/м ³
Завислі речовини (TSP)	20 хв.	0,50	–	–	–
	24 год.	0,15	–	0,26	–
	1 рік	–	–	0,075	–
Завислі речовини PM10	20 хв.	–	–	–	–
	24 год.	–	0,050	0,150 (концентрація не повинна бути перевищена більше 1 разу за 3 роки)	0,050 (концентрація не повинна бути перевищена більш 35 разів протягом року)
	1 рік	–	0,020	–	0,040
Завислі речовини PM2.5	20 хв.	–	–	–	–
	24 год.	–	0,025	0,035 (98% за 3 роки)	–
	1 рік	–	0,010	0,015 (середня за 3 роки)	0,025

На даний час в Україні робляться лише перші кроки із систематичного моніторингу концентрацій PM10 і PM2.5 в атмосферному повітрі. З'являються методики і розпочато організацію моніторингу PM10 і PM2.5 у великих містах країни [9, 20, 39]. В дисертаційному дослідженні приділено увагу спостереженням пилового забруднення як в загальній фракції, так і в дрібнодисперсних фракціях.

Через те, що в Україні у міських агломераціях високим є рівень вмісту у повітрі формальдегіду, то в дисертаційному дослідженні дослідження присвячено також вимірюванню формальдегіда у повітрі відкритих територій.

Радіаційний моніторинг стану атмосферного повітря і в країнах ЄС, і в Україні здійснюється за показниками ефективної дози іонізуючого випромінювання. У дисертаційному дослідженні, крім показників ПЕД,

спостерігали за вмістом окремих радіонуклідів (^{137}Cs , ^{131}I) у пробах атмосферного повітря, пробах опадів з атмосфери. Також визначали ефективну дозу опромінення від присутніх у повітрі радіонуклідних полютантів

2.2. Регіон дослідження

Директивні вимоги ЄС щодо організації екологічного моніторингу атмосферного повітря наголошують на необхідності врахування регіональних особливостей.

Миколаївська агломерація — це компактне міське утворення з центром у місті Миколаїв, розташоване в гирлі Південного Бугу. Вона є важливим промисловим (машинобудування) та транспортним вузлом (морський порт). Головні чинники створення й існування агломерації: морський порт, перепуття головних транспортних шляхів, центр машинобудівної промисловості. Це центр розвиненого сільськогосподарського району, виноградарства, садівництва. Миколаївська агломерація охоплює місто Миколаїв та прилеглі території, функціонально пов'язані з ним у єдину систему розселення та господарської діяльності. Приблизна статистика (до воєнних часів): чисельність населення — 591,3 тис. осіб; площа — 3 040 км²; щільність населення — 194,5 осіб/км².

Агломерація розвивається як багатокomпонентна система в степовій зоні України, об'єднуючи промислові та портові функції. Через наслідки російсько-української війни місто проходить складну трансформацію.

Для Південноукраїнської міської громади характерна локальна агломерація навколо міста Південноукраїнськ (Миколаївська область). Місто Південноукраїнськ – це монопрофільне місто-супутник Південноукраїнської АЕС. Управління здійснюється Південноукраїнською міською територіальною громадою, до якої входять місто та навколишні села. Станом на 1 січня 2022 року до складу Південноукраїнської міської територіальної громади входило 5 населених пунктів, в тому числі: місто Південноукраїнськ, селище міського типу Костянтинівка та три села – Іванівка, Панкратове, Бузьке. Територія Південноукраїнської міської територіальної громади складає 156,2 кв.км,

розташована в північній частині Миколаївської області на лівому березі річки Південний Буг.

Південноукраїнськ є класичним прикладом монопрофільного енергетичного вузла. Економічний каркас громади тримається на Південноукраїнській АЕС, навколо якої сформувалася стійка локальна агломерація. Завдяки розвиненій мережі автошляхів та близькості до промислових гігантів (Кривий Ріг, Кропивницький, Миколаїв), територія має високу транзитну привабливість. Головним природним активом є річка Південний Буг, що визначає водний ресурсний потенціал регіону. Станом на 1 січня 2022 року загальна кількість населення Південноукраїнської міської територіальної громади становило 41625 осіб, у тому числі: м. Південноукраїнськ - 38560 осіб, селище Костянтинівка - 2154 особи, село Іванівна – 474 особи, село Панкратове - 245 осіб, село Бузьке - 192 особи.

Основним джерелом викидів забруднюючих речовин у Південноукраїнській територіальній громаді є енергетичний комплекс. Станом на 2025–2026 роки ключовими суб'єктами, що містять стаціонарні джерела викиду в атмосферу на території Південноукраїнської громаді, є:

1. ВП «Південноукраїнська АЕС» (АТ «НАЕК «Енергоатом»). Хоча атомна енергетика вважається «чистою» відносно вуглецевих викидів, об'єкт може здійснювати викиди діоксиду сірки через роботу допоміжних потужностей, таких як пускорезервні котельні та дизель-генераторні установки, що використовують викопне паливо. Південноукраїнськ є важливим транспортним вузлом на трасі Н-24. Викиди діоксиду сірки утворюються під час спалювання пального (дизеля) великовантажними автомобілями та автобусами.

2. Комунальні підприємства. Діяльність міських котелень, які забезпечують опалення, також супроводжується викидами продуктів згоряння палива і викидом забруднюючих речовин у повітря.

2.3. Матеріали і методи дослідження.

Матеріалами дослідження виступають наступні.

I. При аналізі викидів із стаціонарних джерел використано дані:

- головного статистичного управління Миколаївської області [91, 179] щодо викидів атмосферних поллютантів стаціонарними джерелами:

- м. Миколаєва, м. Південноукраїнська та інших райцентрів Миколаївської області;

- ТОВ «Оператор газотранспортної системи України» [185], АТ «Миколаївгаз», теплогенеруючого підприємства ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» [141],

- Миколаївської агломерації, Південноукраїнської територіальної громади;

- Регіональної доповіді Про стан навколишнього середовища у Миколаївській області [163, 164], Національної доповіді Про стан навколишнього природного середовища в Україні [136],

- ДП НАЕК Енергоатом щодо викидів радіонуклідних поллютантів ПАЕС [144].

II. При аналізі викидів від пересувних джерел використано дані:

- КП «Миколаївпастрас» - щодо кількості та видів громадського автотранспорту;

- КП «Миколаївоблавтодор» - щодо кількості транзитного вантажу у м. Миколаєві;

- методичні матеріали щодо витрати палива певним видом автотранспорту [136];

- методика розрахунку викидів пересувними джерелами [133, 134].

III. При дослідженні стану атмосферного повітря матеріалами дослідження виступили наступні.

По-перше, це результати власних спостережень за CO, NO₂, NH₃, PM_{2,5}, PM₁₀, CH₂O; HF в атмосферному повітрі відкритої місцевості у м. Миколаєві у

період з січня 2021 р. по грудень 2025 р. за допомогою встановлених у ЧНУ імені Петра Могили станцій індикативних вимірювань: станції Oxygen Air Fresh Max (рис. 2.3.1).



A)

B)

B)

Рисунок 2.3.1 – Станції спостережень за станом атмосферного повітря у ЧНУ імені Петра Могили

A) Oxygen Air Fresh Max; Б) Save EcoBot; B) Save Eco Sensor.

Усі ці станції дозволяли здійснювати моніторинг атмосферного повітря відкритої місцевості за показниками: температури, вологості, концентрації пилу $PM_{2.5}$ і PM_{10} , CO , NO_2 , NH_3 , H_2CO та рівень потужності ефективної дози.

По-друге, це використання даних наземних спостережень на постах моніторингу мережі спостережень за станом забруднення атмосферного повітря державної системи моніторингу атмосферного у м. Миколаєві, яка здійснюється на підставі спостережень в 4-х контрольних постах спостереження (о 1, 7, 13, 19 годині у всі дні, крім неділі та святкових днів) (рис. 2.3.2): точки 1 - 4.

Опрацьовано результати державного моніторингу у період 2015 – 2025 рр.

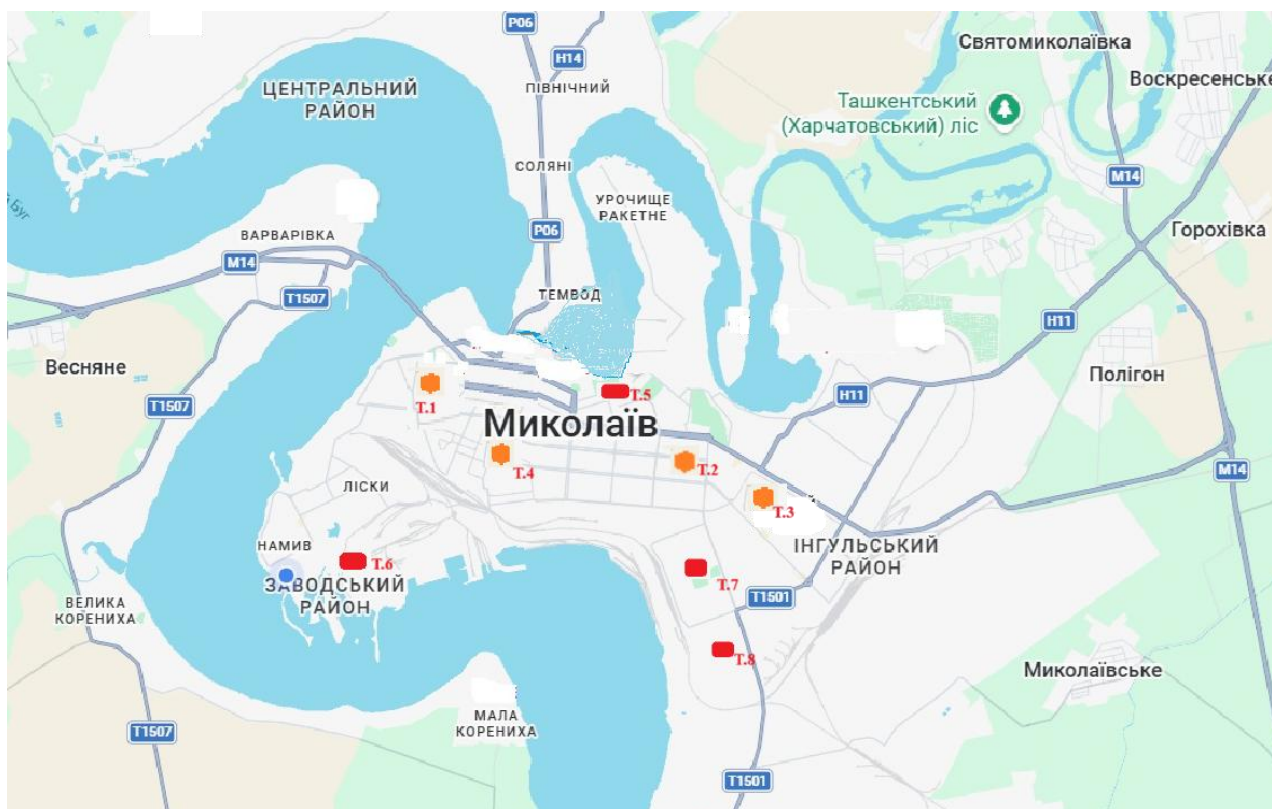


Рисунок 2.3.2 – Схема точок спостереження:

1) на стаціонарних постах державної системи моніторингу: т.1 – вул. Обсерваторна, 1, т.2 – вул. Погранична – пр. Богоявленський, т.3 – вул. 7-а Повздовжня, 12 (промислова зона), т.4 – площа Суднобудівників,

2) на постах станцій індикативних вимірювань: т.5 – вул. 68 Десантників, 10; т.6 – вул. Лазурна, 5; т.7 – пр. Центральний, 28; т.8 – вул. Космонавтів, 5

По-третє, це використання даних розпочато у 2021 р. і діючого по лютий 2022 р. моніторинг стану атмосферного повітря у м. Миколаєві із залученням станцій індикативних вимірювань. Цей моніторинг здійснювався, до початку воєнних дій, за спостереженнями у семи контрольних точках, серед яких за вмістом $PM_{2.5}$ і PM_{10} , CH_2O – у трьох (рис. 2.3.2):

т.5 – вул. 68 Десантників, 10

т.6 – вул. Лазурна, 5,

т.7 – пр. Центральний, 28

т.8 – вул. Космонавтів, 5

Потрібно відмітити, що в т.5. станція індикативних вимірювань встановлена в університетському дворі, позад якого за будівлею університету проходить інтенсивна автомобільна траса. З 2022 р. по 2025 р. вимірювання здійснювалося за двома станціями – які розташовані у т.5 і т.6.

Аналіз викидів атмосферних поллютантів здійснено з використанням даних Головного управління статистики у Миколаївській області [44, 179].

Спостереження за потужністю дози гамма-випромінювання виконувалися за допомогою станцій індикативних вимірювань SaveDnipro та дозиметра МКС-05 ТЕРРА (свідоцтво держпівірки від 03.03.2025), дозиметра-спектрометра Radiocode-103 (свідоцтво держпівірки від 09.06.2025). Вимірювання здійснювалися на рівні не нижче 1 м від поверхні землі. Вимірювання дозиметрами здійснювалися два-три рази на тиждень. Спостереження за потужністю ефективної дози на території м. Миколаєва відбувалися за двома пунктами спостережень: т.5, т.6.

Також у дисертаційному дослідженні використано матеріали спостережень лабораторії зовнішньої дозиметрії ВП Південноукраїнська АЕС (ПАЕС) за потужністю ефективної дози здійснено у контрольних постах 30-км зони ПАЕС на території Миколаївської області; матеріали, які отримано при виконанні робіт щодо моніторингу нульового фону навколо ПАЕС [161, 187], матеріали [160, 162].

Здійснено відбір опадів з атмосфери седиментаційним методом з послідовним спалюванням проби та радіометрією проб золи на гама-бета-спектрометрі СЕ-БГ-001. Збір опадів з атмосфери у місті здійснено на відкритій території [122]. Планшет для збору опадів мав розміри 1 x 1 м² (рис. 2.3.3.). Експозиція збору опадів складала 1-3 місяці. Гамма-спектрометричні дослідження проб опадів з атмосфери виконані на спектрометрі енергій бета-, гамма-випромінювання СЕ-ГБ-01 «АКП»-63 (Г), 150 (Б) у Випробувальній лабораторії ДП «Миколаїв-стандартметрологія». Мініміально-детектована

активність ^{137}Cs складала 0,3 Бк/пробу за експозиції 21600 сек. Розрахунок активності опадів з атмосфери здійснено в одиницях Бк/(місяць* m^2).



Рисунок 2.3.3. Планшет для відбору проб опадів з атмосфери

При аналізі використано дані щомісячних вимірювань радіонуклідного складу опадів з атмосфери у пунктах спостереження навколо ПАЕС у передпусковий період та у 2017 р. (під час руху радіоактивної хмари з рутенієм-106).

При розробленні математичної моделі використано метод камерних моделей, матеріали науково-дослідної роботи [168], а також методичні матеріали щодо обрахунку ефективної дози [5-6, 22-23].

При обробці результатів дослідження використано методи математичної статистики та моделювання, статистичної обробки даних, методи графічного представлення даних дослідження. Статистичне опрацювання даних здійснювали за допомогою пакету статистичного аналізу Statistica 10.0 та Microsoft Excel 2024.

Опрацювання результатів спостережень здійснювали відносно нормативних величин: $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$ – гранично-допустима концентрація поллютанта середньодобова; $\text{ГДК}_{\text{м.р.}}$ – гранично-допустима концентрація поллютанта максимально-разова. Комплексна оцінка здійснена через визначення

показників: індекс забруднення атмосфери (ІЗА): $ІЗА_i = \left(\frac{C_i}{ГДК_i}\right)^{a_i}$ і комплексний індекс забруднення атмосфери (КІЗА): $КІЗА = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{ГДК_i}\right)^{a_i}$, де C_i – вміст поллютанта i в атмосферному повітрі, мг/м³; $ГДК_i$ – гранично-допустима концентрація екополлютанта i в атмосферному повітрі, мг/м³; a_i – коефіцієнт, який залежить від класа небезпеки за токсичністю поллютанта i показує рівень небезпеки i -ого поллютанта в порівнянні з діоксидом сірки. Також враховано показник Індекс якості повітря (AQI), який розраховується за вмістом у повітрі твердих пилових часток (PM_{2,5}), твердих часток (PM₁₀); озону; діоксиду азоту; діоксиду сірки – та величини якого використовуються для інформування населення [9, 11, 15]: 0–50 (добрий стан): повітря вважається задовільним, ризик для здоров'я відсутній; 51–100 (помірний стан): якість прийнятна, але для деяких людей, чутливих до забруднення, можливий незначний дискомфорт; 101–150 (шкідливий для чутливих груп): члени чутливих груп (діти, люди похилого віку, люди з респіраторними захворюваннями) можуть відчувати негативний вплив; 151–200 (шкідливий): кожен може почати відчувати наслідки для здоров'я; чутливі групи можуть мати серйозніші симптоми; 201–300 (дуже шкідливий): попередження про небезпеку для здоров'я, підвищений ризик для всього населення.

Висновки до другого розділу

Для дослідження обрано регіон Миколаївської міської агломерації, агломерацій Південноукраїнської територіальної громади Миколаївської області. Обидва міські центри є промисловими, для яких наявні стаціонарні джерела викиду поллютантів підприємствами енергетики та газотранспортної мережі, теплогенеруючі підприємства. Також для обох територіальних центрів характерними є пересувні джерела викидів хімічних поллютантів, а також існує ймовірність впливу від газоаерозольних викидів радіонуклідних поллютантів.

Міська агломерація з центром у м. Миколаєві має характерні відмінності, які пов'язані з її географічним положенням і функціонуванням, через що у часи до військової агресії РФ широко розвивалася портова галузь, забезпечуючи логістику вантажів зерна, металу тощо. Це передбачало курсування крізь місто численної кількості багатотонажних вантажівок, викиди яких впливали на стан атмосферного повітря міста.

Для врахування відмінностей між системами екологічного моніторингу у країнах ЄС та в Україні в дисертаційному дослідженні приділено увагу спостереженням пилового забруднення як в загальній фракції, так і в дрібнодисперсних фракціях (PM_{2,5}; PM₁₀).

Через те, що в Україні у міських агломераціях високим є рівень вмісту у повітрі формальдегіду, в дисертаційному дослідженні дослідження присвячено дослідженню вмісту формальдегіду у повітрі урбанізованих центрів міських агломерацій.

Дослідження за вмістом поллютантів в атмосферному повітрі базувалися на поєднанні результатів наземних спостережень на постах державної системи моніторингу з результатами власних досліджень за допомогою станцій індикативних вимірювань.

Радіаційний моніторинг стану атмосферного повітря і в країнах ЄС, і в Україні здійснюється за показниками ефективної дози (ПЕД) іонізуючого випромінювання. У дисертаційному дослідженні, крім показників ПЕД, аналізували вміст окремих радіонуклідів (¹³⁷Cs, ¹³¹I) у пробах атмосферного повітря, пробах опадів з атмосфери. Також визначали ефективну дозу опромінення від присутніх у повітрі радіонуклідних поллютантів.

При виборі моделей оцінювання обрано метод камерних моделей, який застосовано при моделюванні перенесення радіонуклідів газоаерозольних викидів АЕС.

РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ХІМІЧНИМИ ПОЛЮТАНТАМИ У МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЯХ МИКОЛАЇВЩИНИ

3.1. Стаціонарні джерела та характеристика викидів атмосферних поллютантів у міських агломераціях Миколаївщини

Проаналізуємо викиди хімічних поллютантів стаціонарними джерелами викидів Миколаївщини.

У таблиці 3.1.1 представлено дані щодо кількості викинутих в атмосферне повітря забруднюючих речовин від стаціонарних джерел Миколаївської області, які класифіковано за галуззю підприємств: енергетика, виробництво, сільське господарство, відходи та інші стаціонарні джерела викидів.

Таблиця 3.1.1 – Викиди в атмосферне повітря окремих поллютантів на Миколаївщині за категоріями стаціонарних джерел у 2024 році [163]

	Кількість викинутих в атмосферне повітря забруднюючих речовин, т					
	діоксид сірки	діоксид азоту	оксид вуглецю	неметанові леткі органічні сполуки	поліароматичні вуглеводні	тверді частинки PM _{2,5}
Усього	309,5	1017,1	937,7	211,5	0,2	129,4
<i>у тому числі</i>						
Енергетика	254,3	441,1	726,6	66,5	0,0	95,7
Виробництво	3,8	530,4	147,7	114,3	–	15,8
Сільське господарство	11,9	16,1	19,7	5,6	0,0	7,7
Відходи	–	0,3	5,7	0,0	–	–
Інші стаціонарні джерела викидів	39,5	29,2	38,0	25,1	0,2	10,2

На підставі даних таблиці 3.1.1 побудуємо кругові діаграми розподілу внесків поллютантів, які дозволять визначити найбільш впливові категорії стаціонарних джерел (Рис. 3.1.1).

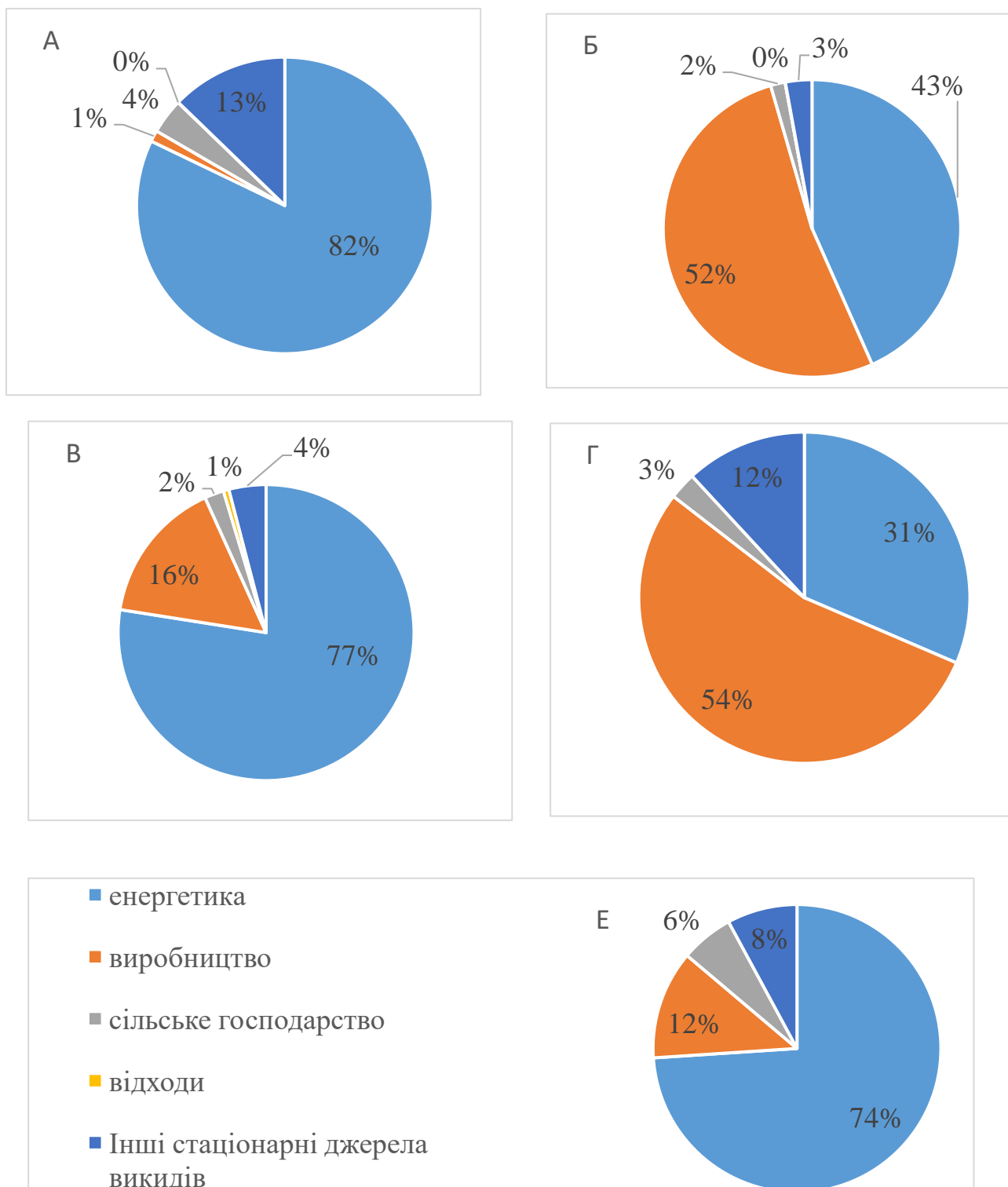


Рисунок 3.1.1 – Співвідношення внесків різних категорій стаціонарних джерел у загальні об'єми викидів поллютантів в атмосферу: А) Діоксиду сірки, Б) Діоксиду азоту, В) Оксиду вуглецю, Г) НЛОС, Е) PM2,5

З рисунку 3.1.2 маємо наступний розподіл викинутих обсягів поллютантів із стаціонарних джерел за видами діяльності:

- за викиди діоксиду сірки відповідальні: підприємства енергетики (82%), інші джерела (13%);
- за викиди діоксиду азоту відповідальні: промислові виробництва (52%), підприємства енергетики (43%);
- за викиди оксиду вуглецю відповідальні: підприємства енергетики (77%);
- за викиди неметанових летких органічних сполук: виробничі підприємства (54%), підприємства енергетики (31%);
- за пилове забруднення дрібнодисперсним пилом PM_{2,5} відповідальні, в першу чергу, підприємства енергетики.

Ці отримані дані підтверджують відому інформацію з літературних джерел щодо впливу підприємств енергетики, виробничих підприємств на стан атмосферного повітря діоксидом сірки, азоту, леткими органічними сполуками.

Аналіз валового викиду у Миколаївській області у 2024 р. за поллютантами (рис. 3.1.2) маємо, що за об'ємами викидів на першому місці викиди діоксиду азоту (39%), далі викиди оксиду вуглецю (36%), діоксиду сірки (12%), неметанові леткі органічні сполуки (8%), діоксиду сірки, тверді пилові частинки (5%).

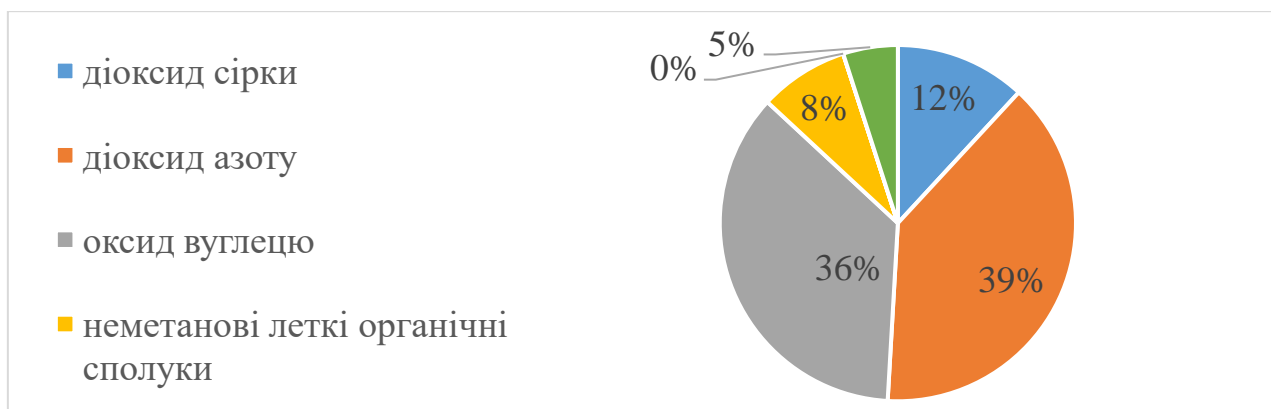


Рисунок – 3.1.2. Розподіл викидів зі стаціонарних джерел за поллютантами

У таблиці 3.1.2 наведено динаміку викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел на Миколаївщині за окремими містами Миколаївщини. З таблиці маємо, що протягом 2020-2024 рр. відбулися суттєві зміни у динаміці загальних об'ємів викидів забруднюючих речовин по Миколаївщині: з 2022 р. об'єм викидів знизився більше, ніж у два рази: 11, тис. т у 2020 р., 5,455 тис. т у 2024 р. При цьому це зниження відбулося й при оцінці даних за міськими населеними пунктами: у м. Миколаєві зниження відбулося з 3,153 тис. т до 1,331 тис. т, у м. Вознесенську з 0,081 тис.т до 0,111 тис. т, у м. Очакові зниження відбулося до 10 разів: з 0,051 тис. т до 0,005 тис. т, у м. Первомайську з 0,072 тис. т до 0,102 тис.т.

Єдиним містом районного значення, де змін в об'ємах викидів поллютантів в атмосферне повітря не відбулося – це м. Південноукраїнськ (викиди знаходилися на одному рівні $0,0036 \pm 0,010$ тис.т), що може бути пояснено тим, що основні викиди в цьому місті здійснюють підприємства атомної енергетики та теплопосточання.

Таблиця 3.1.2 – Об'єми викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря зі стаціонарних джерел на Миколаївщині за окремими населеними пунктами, тис. т

	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік	2024 рік
Всього по області	11,2	12,19	5,25	5,59	5,455
Всього по населених пунктах	3,393	3,733	1,479	1,598	1,586
<i>у тому числі:</i>					
м. Миколаїв	3,153	3,433	1,226	1,355	1,331
м. Вознесенськ	0,081	0,082	0,064	0,07	0,111
м. Очаків	0,051	0,0545	0,055	0,042	0,005
м. Первомайськ	0,072	0,127	0,091	0,094	0,102
м. Південноукраїнськ	0,036	0,037	0,043	0,037	0,037

Як видно з таблиці, основний об'єм викидів приходить на стаціонарні джерела, які розташовані у м. Миколаєві.

У таблиці 3.1.3. наведено дані Головного управління статистики у Миколаївській області щодо загальних об'ємів викидів стаціонарними джерелами Миколаївщини у 2023 і 2024 рр., в тому числі за найпоширенішими речовинами (пил, діоксид азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю) в цілому по області та в розрізі центрів міських агломерацій.

. Таблиця 3.1.3 – Динаміка загальних об'ємів викидів стаціонарними джерелами атмосферних поллютантів в цілому по області та в розрізі населених пунктів, тис. т

Населені пункти	2023 рік						2024 рік				
	Всього	Разом	у тому числі				Разом	у тому числі			
			Пил	Діоксид азоту	Діоксид сірки	Оксид вуглецю		Пил	Діоксид азоту	Діоксид сірки	Оксид вуглецю
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Разом по області, у тому числі:	12,19	5,59	2,04	0,498	0,244	0,753	5,455	1,945	0,995	0,307	0,875
м. Миколаїв	3,433	1,355	*	*	*	*	1,331	0,314	0,273	0,126	0,383
м. Вознесеньк	0,0824	0,07	*	*	*	*	0,111	0,02	0,012	0,016	0,050
м. Очаків	0,0545	0,042	*	*	*	*	0,005	0,001	0,000	0,001	0,001
м. Первомайськ	0,127	0,094	*	*	*	*	0,102	0,331	0,155	0,110	0,225
м. Південноукраїнськ	0,037	0,037	*	*	*	*	0,037	0,01	0,003	0,000	0,009

* - головним управлінням статистики у Миколаївській області не надано відомості щодо викидів найбільш поширених забруднюючих речовин у розрізі міст обласного значення за 2023 рік.

Проаналізовано внески кожного політанта у загальний обсяг викидів для кожного міста. Це відображено на кругових діаграмах рисунку 3.1.2.

З рисунку 3.1.3 маємо, що для всіх представлених міст Миколаївщини перше місце за об'ємом викидів стаціонарними джерелами належить пилу (від 21 до 45%) та оксиду вуглецю (від 24 до 51%). Друге місце займають викиди діоксиду азоту (від 12 до 25%), а третє місце належить викидам діоксиду сірки (5-16 %). Порівняння діаграм для м. Миколаєва та м. Південноукраїнська демонструє суттєву відмінність в об'ємах викидів діоксиду сірки та відповідний перерозподіл внесків інших політантів. Так, для м. Миколаєва викиди пилу, діоксиду азоту, діоксиду сірки, оксиду вуглецю співвідносяться, як 29:35:11:25, а для м. Південноукраїнська це співвідношення має наступний вигляд: 45:41:1:14.

За даними головного управління статистики у Миколаївській області [179] починаючи з 2022 року від стаціонарних джерел порівняно з попередніми роками зменшилися викиди за вмістом металів та їх сполук на 82,6%, метану – на 15,7%, сполукам азоту – на 13,7%, діоксиду та іншим сполукам сірки – на 13,1%, аміаку – на 12,0%.

Розглянемо стаціонарні джерела викидів у м. Миколаєві та у м. Південноукраїнську.

Стаціонарні джерела викидів у м. Миколаєві пов'язані з діяльністю підприємств газотранспортної і газорозподільної мережі ТОВ «Оператор газотранспортної системи України», АТ «Миколаївгаз», теплогенеруючі підприємства ОКП «Миколаївоблтеплоенерго», інші підприємства: «Південьцемент», «Екотранс», ТОВ «Миколаївський глиноземний завод».

У м. Миколаєві функціонує ТОВ «Оператор газорозподільної мережі України» (м. Миколаїв, вул. Херсонське шосе, буд. 102) – підприємство газотранспортної (ГТС) мережі України.

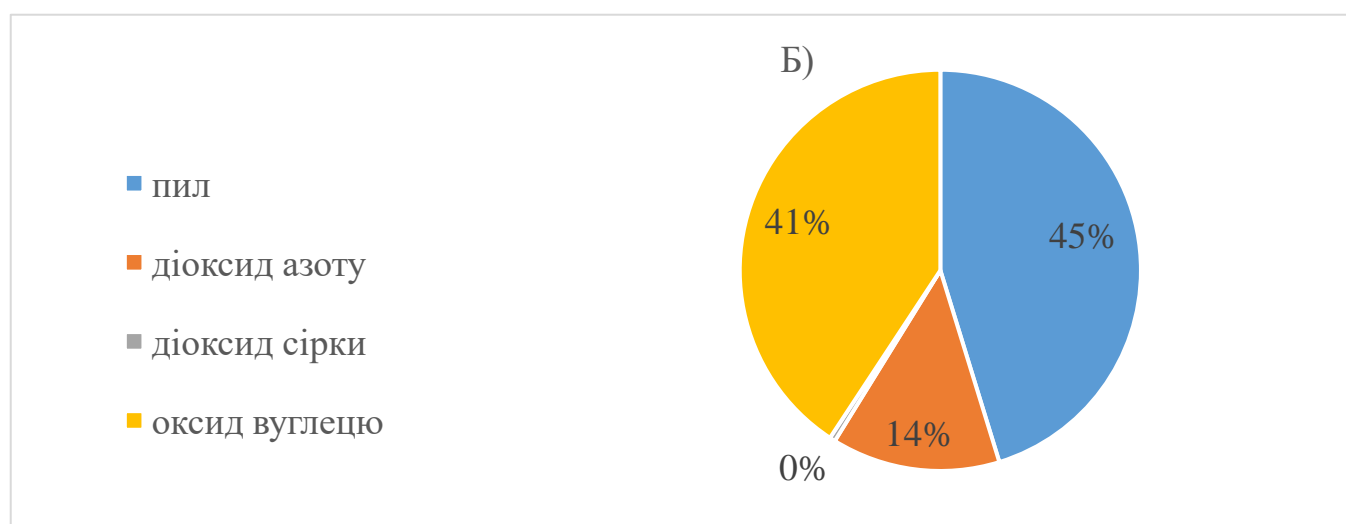
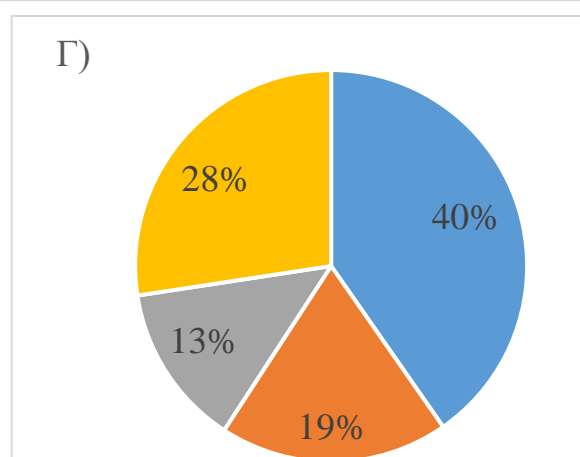
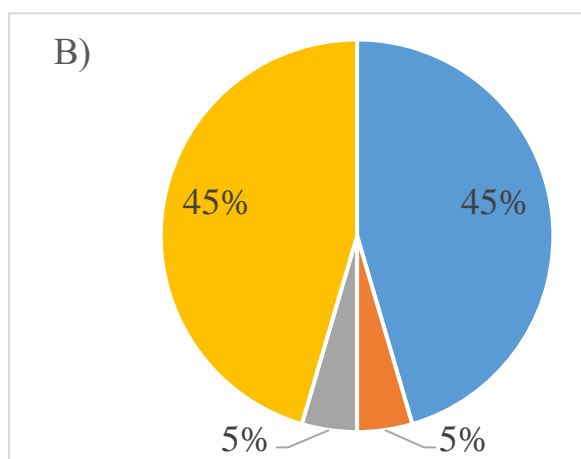
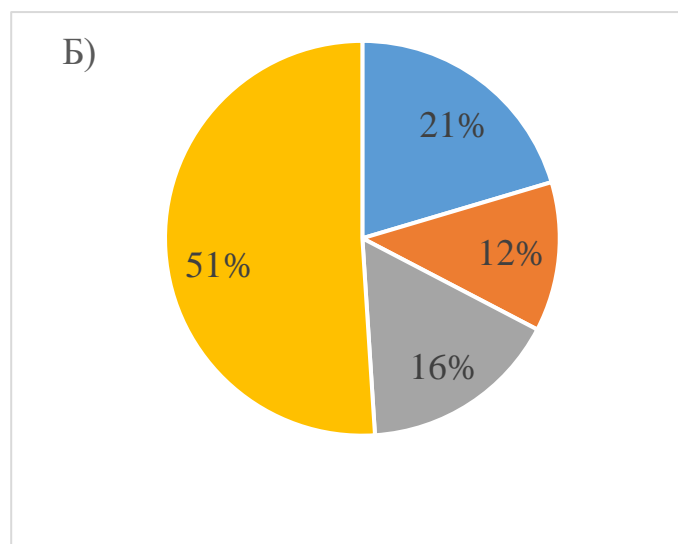
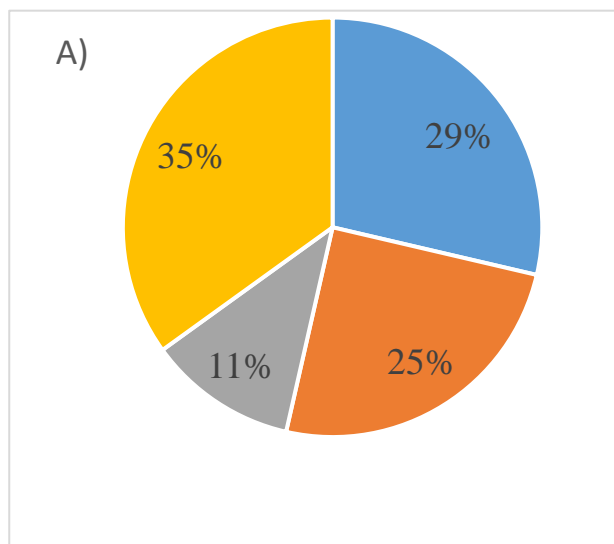


Рисунок 3.1.3 – Кругові діаграми внесків політантив у загальному об'ємі викидів атмосферних політантив у 2024 р. А) м. Миколаєва, Б) м. Вознесенська, В) м. Очакова, Г) м. Первомайська, Д) м. Південноукраїнська

ГТС – одна з найбільших у світі газотранспортних систем, яка виконує дві функції: забезпечення природним газом внутрішніх споживачів, а також транзит природного газу через територію України у країни Західної та Центральної Європи. ТОВ «Оператор газорозподільної мережі України» має газорозподільні станції (ГРС). Газорозподільна станція – це об'єкт газотранспортної системи, призначений для зниження тиску природного газу, з яким він потрапляє з магістрального газопроводу до тиску, допустимого для мереж розподілення природного газу споживачам, та наступної подачі газу споживачам з необхідним і сталим тиском, ступенем очищення, ступенем одорування. В межах об'єкту розміщене основне та допоміжне обладнання для редукування, очищення, одорування транспортованого природного газу, яке працює автоматизовано, у закритому режимі, цілодобово. Джерелами викиду забруднюючих речовин є димові труби, технологічні свічі та неорганізовані викиди від спрацювання пневмокранів. Загальна кількість джерел викиду – 42 (40 – організовані, 2 – неорганізоване). Цей суб'єкт господарювання внесено до Переліку об'єктів державної власності, що мають стратегічне значення для економіки і безпеки держави, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 04.03.2015р. №83. Потенційні обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (без урахування діоксиду вуглецю) становлять 16,2969302 т/рік, в тому числі:

- оксиди азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту – 1,278 т/рік;
- оксид вуглецю – 1,23 т/рік;
- оксид азоту (N₂O) – 0,0383 т/рік;
- метан (CH₄) – 13,070177 т/рік;
- неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС) – 0,662 т/рік;

- речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом – 0,00803 т/рік;
- сірчана кислота (H_2SO_4) – 0,00012 т/рік;
- пароподібні та газоподібні сполуки хлору, якщо вони не ввійшли до класу I у перерахунку на хлористий водень – 0,0001 т/рік;
- азотна кислота – 0,001 т/рік;
- спирт етиловий – 0,002 т/рік;
- оксид заліза (у перерахунку на залізо) – 0,006 т/рік;
- акролеїн – 0,001 т/рік;
- манган та його сполуки (у перерахунку на діоксид мангану) – 0,0002 т/рік.
- потенційні обсяги викидів вуглецю діоксиду – 850,301 т/рік.

За величинами потенційних обсягів викиду забруднюючих речовин цей ТОВ відноситься до другої групи.

АТ «Миколаївгаз» (м. Миколаїв, вул. Погранична, 159) – акціонерне товариство зі штаб-квартирою в м. Миколаєві, яке займається розподіленням, транспортуванням та постачанням газу в Миколаївській області. Забруднюючі речовини, які викидаються у повітря, є аналогічними вищенаведеним.

ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» (м. Миколаїв, вул. Самойловича, 42) здійснює викиди забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел (котелень) під час виробництва теплової енергії. Підприємство регулярно оновлює дозволи на викиди, а реконструкція та модернізація обладнання спрямовані на зменшення шкідливого впливу на екологію міста. Викиди включають речовини, що утворюються при спалюванні палива. Максимальна (проектна) потужність котельні становить 154,6 МВт, номінальна (фактична) потужність котельні – 119,6 МВт. До складу підприємства входить приміщення котельні, де встановлені два котли Viessmann типу “Vitomax D HW”

потужністю 23,3 МВт кожний, та три котли ПТВМ-30М (один з них резервний) потужністю 35,0 МВт кожний. На території котельні встановлено дві газові когенераційні установки компанії Jenbacher GE типу JMC 420 GS-V.L. електричною потужністю 1500 кВт кожна і тепловою потужністю 1507 кВт кожна. В якості палива використовується природний газ. На випадок відключення електроенергії до складу котельні входять три аварійні дизельні генератори у тому числі: два генератори COELMO GENERATING SET model BDT6M550 потужністю 400 кВт кожен, один генератор Himoinsa HSY-50 потужністю 39,6 кВт.

За даними ОКП Миколаївоблтеплоенерго [141] потенційні обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (без урахування діоксиду вуглецю) становлять 20980,800 т/рік у 2025 р., в тому числі:

- оксид вуглецю – 89,721 т/рік,
- діоксид азоту – 27,105 т/рік,
- речовини у вигляді суспендованих твердих частинок – 0,066 т/рік,
- діоксид сірки – $6,491 \cdot 10^{-8}$ т/рік,
- НМЛОС – 4,822 т/рік,
- метан – 0,387 т/рік,
- діоксид вуглецю – 20858,661 т/рік,
- оксид азоту – 0,037 т/рік,
- залізо та його сполуки – 0,001 т/рік,
- манган та його сполуки – 0,0001 т/рік,
- фтористий водень – 0,00002 т/рік.

У таблиці 3.1.3 наведено валові викиди атмосферних поллютантів зі стаціонарних джерел викидів м. Миколаєва: комунального підприємства теплогенеруючої енергетики ОКП «Миколаївоблтеплоенерго», підприємства

газотранспортної системи України ТОВ «Оператор газотранспортної системи України», а також олійноекстракційного підприємства ТОВ «Екотранс».

З таблиці 3.1.3. маємо, що найбільші об'єми викидів атмосферних поллютантів приходяться на підприємство газотранспортної системи України. Об'єм викидів у 2024 р. склав 383,166 т, що на 30,39 т більше за показник викиду у 2023 р.

Таблиця 3.1.3 – Основні стаціонарні джерела викидів атмосферних поллютантів Миколаївської агломерації

Назва підприємства	Валовий викид, т	
	2023 р.	2024 р.
ОКП «Миколаїв-облтеплоенерго»	178,48	193,72
«Південьцемент» філія ПрАТ «ВПЦЕМ»	215,44	721,53
ТОВ «ЕКОТРАНС»	168,02	162,87
ТОВ «Миколаївський глиноземний завод»	949,68	940,61
ТОВ «Оператор газотранспортної системи України»	352,78	383,17

На підприємство теплогенеруючої мережі м. Миколаєва – ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» приходилося у 2024 р. 193,72 т викидів, а на підприємство ТОВ «Екотранс» - 162,87 т викидів атмосферних поллютантів на рік.

Для м. Південноукраїнська підприємствами – основними забруднювачами повітря – є ВП «Південноукраїнська АЕС» (філія НАЕК «Енергоатом»), а також пов'язані з нею інфраструктурні об'єкти, зокрема

підприємства теплоенергетики (котельні), які забезпечують функціонування промислової зони та міста: КП «Теплопостачання та водо-каналізаційне господарство» Південноукраїнської міської ради.

Дані про викиди хімічних (нерадіоактивних) речовин у повітря Південноукраїнською АЕС (ПАЕС) за період 2023-2025 років [162] свідчили про стабільний рівень впливу, який значно нижчий за встановлені державою нормативи та знаходився на рівні фонових величин, виміряних під час моніторингу природних територій до пуску ПАЕС [161, 187] (табл. 3.1.4).

Назва підприємства	Валовий викид, т	
	2023 р.	2024 р.
ТОВ «Оператор газотранспортної системи України»	11,87	13,80
КП «Теплопостачання та водо-каналізаційне господарство» Південноукраїнської міської ради	15,32	14,01
ВАТ Південноукраїнська АЕС	10,21	9,09

Згідно з даними моніторингу 2024-2025 рр. та регіональних доповідей [163, 164] основними забруднювачами повітря є діоксид азоту, оксид вуглецю, діоксид сірки та пил (завислі речовини). Ці речовини утворюються переважно при роботі резервних дизель-генераторів та пускорезервних котелень. Фактичні обсяги хімічних викидів становлять менше 15% від дозволених лімітів.

Протягом 2015–2024 років спостерігалася стійка тенденція до зниження обсягів викидів від стаціонарних джерел. За результатами інструментальних замірів на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ), концентрації діоксиду азоту та

оксида вуглецю не перевищували 0,3–0,8 від величини гранично допустимої концентрації (ГДК).

У таблиці 3.1.5. представлено порівняльний аналіз між викидами в атмосферне повітря від стаціонарних джерел у Миколаївській міській територіальній громаді та у Південноукраїнській міській територіальній громаді у 2024 році.

Таблиця 3.1.5 – Викиди в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення для Миколаївської міської агломерації та Південноукраїнської територіальної громади у 2024 році

Назва територіальної громади	Кількість підприємств, які мали викиди забруднюючих речовин і парникових газів, одиниць	Кількість викидів забруднюючих речовин і парникових газів, т	2024 у % до 2023	У тому числі			
				діоксиду сірки		діоксиду азоту	
				т	2024 у % до 2023	т	2024 у % до 2023
Південноукраїнська	2	36,9	100,1	0,4	97,4	2,7	104,1
Миколаївська	79	1432,4	100,0	128,7	137,7	293,8	108,3

Дані таблиці вказують, що кількість викидів забруднюючих речовин і парникових газів прямо пропорційна кількості підприємств, які здійснюють ці викиди. Діоксид сірки викидається двома підприємствами Південноукраїнської територіальної громади у кількості 0,4 т (2024 р.), діоксид азоту у кількості 2,7 т. Для Миколаївської територіальної громади викиди діоксиду сірки 79 підприємствами склали у 2024 р. 128,7 т, а діоксиду азоту – 293,8 т.

3.2. Викиди хімічних поллютантів пересувними джерелами.

3.2.1. Викиди у повітря хімічних поллютантів від двигунів внутрішнього згорання громадського автотранспорту міста

Для дослідження використано дані щодо інфраструктури транспортної системи міста Миколаєва за 2022-2024 рр., м. Південноукраїнська за 2023-2024

рр., даних щодо витрати палива кожним типом авто. Витрати палива на 100 км взято представлено у табл. 3.2.1.1.

Таблиця 3.2.1.1 – Середня витрата палива за типом двигуна [134]

Тип авто / Паливо	Витрата на 100 км	Приклади/доповнення
Бензинові (малі/компактні)	5.8 – 6.7 л	Nissan Micra або Kia Rio.
Бензинові (середні/SUV)	8.0 – 12.0 л	Кросовери
Дизельні	4.5 – 6.5 л	На 20-30% економніші за бензинові аналоги
Гібриди (HEV)	3.4 – 4.7 л	Toyota Prius, Hyundai Ioniq.
Газ (LPG/ГБО)	9.0 – 13.0 л	Об'ємна витрата на 15-20% вища, ніж на бензині, але дешевша за вартістю.

Розрахунок викидів хімічних поллютантів використано здійснено згідно відповідної методики [133]:

$$Q(t) = 0,001 * V(t) * \bar{q}(\text{кг/т}), \quad (3.2.1.1)$$

де Q – фактичний (валовий) об'єм викиду (т), $V(t)$ – фактичний об'єм спожитого палива (т), \bar{q} – усереднені питомі викиди поллютанта (кг/т).

Усереднені питомі викиди хімічних поллютантів прийнято за відомими нормами [50] наведено у таблиці 3.2.1.2. Зокрема, для CO_2 : для бензинового двигуна це становить 3183, а для дизельного – 3138 кг/тон .

Таблиця 3.2.1.2 – Інформаційні дані для розрахунку фактичного обсягу викидів у повітря хімічних поллютантів від ДВЗ, кг/т [133]

Усереднені викиди поллютанта	питомі	Значення показників	
		Бензин	Дизпаливо
Оксид вуглецю		197,8	36,2
Діоксид азоту		21,6	31,4
Діоксид сірки		1,0	4,3
Неметанові леткі органічні речовини		28,5	8,16
Метан		0,64	0,25
Оксид азоту		0,035	0,12
Аміак		0,004	–
Сажа		0,0	3,85
Вуглекислий газ (CO ₂)		3183	3138
Бензапірен		–	0,03

При підрахунках викидів пересувним громадським транспортом м. Миколаєва прийнято (за даними КП «Миколаївпастрас»): на маршрутах міста Миколаєва, в середньому, працюють 617 одиниць громадського транспорту, серед них: 43 трамваї, 54 тролейбуси, 18 автобусів, до 500 маршрутних автобусів. Міський автотранспорт станом на початок 2024 р. представлений, за середніми величинами, наступними авто: ПАЗ з дизельними двигунами – 40, автобуси ГАЗ 32213 – 236 (з газо-бензиновими двигунами) – 236; Мерседес-Бенц Спринтер (з бензиновими двигунами) – 190; автобуси «Атаман» (з бензиновими двигунами) – 36.

Результати розрахунку наведено у таблиці 3.2.1.2.

З результатів розрахунку маємо, що в сумі валовий викид хімічних сполук від громадського автотранспорту міста Миколаєва склав 4905,7 т, а за окремими поллютантами:

- за CO – 203,67 т,
- NO₂ – 22,25 т,
- SO₂ – 1,02 т,
- неметанові леткі органічні речовини - 32,63 тис. т,
- метан - 0,76 т,
- NO – 0,09 т,
- Сажа – 1,73 тис. т,
- CO₂ – 4643,54 т,
- Бензапірен – 0,01 т.

Порівняння викидів хімічних поллютантів для окремих груп авто міського автотранспорту наведено на рис. 3.2.1.1.

Таблиця 3.2.1.2 – Результати розрахунку валового викиду хімічних сполук від громадського автотранспорту м. Миколаєва, т

Назва авто	Хімічні поллютанти								
	CO	NO ₂	SO ₂	НЛОС	Метан	NO	пил	CO ₂	Бенза-пірен
ПАЗ (усіх марок) з дизельними двигунами	0,02	0,01	-	3,66	0,11	0,05	1,73	1408,33	0,01
ГАЗ (різних марок) з газобензиновими двигунами	44,39	4,85	0,21	6,02	0,14	0,01	-	672,25	-
Мерседес-Спринтер з бензиновими двигунами	44,39	4,85	0,22	6,40	0,14	0,01	-	714,27	-
Атаман з бензиновими двигунами	114,88	12,55	0,58	16,55	0,37	0,02	-	1848,69	-
Сума	203,67	22,25	1,02	32,63	0,76	0,09	1,73	4643,54	0,01

З рисунку 3.2.1.1 видно, що громадський автотранспорт з дизельними двигунами (ПАЗ-672, -672А, -672Г, -672М, -672С, -672У, -672Ю) викидає у 2 рази більше діоксиду і оксиду азоту, неметанових летких органічних сполук, бензапірену. Громадський автотранспорт з бензиновими двигунами викидає до 10 разів більше СО, до 2 разів - SO₂, до 3 разів - CO₂

Аналогічно зроблено розрахунки викиду поллютантів громадським автотранспортом м. Південноукраїнська. У місті Південноукраїнськ (Миколаївська область, Україна) громадський транспорт та його інфраструктура на 2026 р. організовані переважно через автобусні перевезення, із обмеженою мережею внутрішнього транспорту й акцентом на маршрути міжміського й приміського значення — інших великовагових систем (трамвай, тролейбус, метро) немає. У місті працюють автобусні маршрути, що обслуговують місцеве населення та приміські напрямки. Також є приміські автобуси, що сполучають м. Південноукраїнськ із найближчими населеними пунктами.

Регулярні комунальні автобуси працюють щоденно, але кількість маршрутів і частота руху можуть бути обмежені в порівнянні з великими містами. Марки та моделі, що часто зустрічаються на рейсах з Південноукраїнська (переважно міжміські та приміські рейси): це Мерседес (Mercedes Benz, Mercedes Sprinter) – 22 шт., використовуються для міських та для приміських перевезень у регіоні (часто використовуються для рейсів до сусідніх міст чи областей), ГАЗ 32213 – 21 шт., 236 DAF автобуси – 33 шт., Neoplan – 11 шт. , Vova – 17 шт.

3.2.2. Викиди у повітря хімічних поллютантів від двигунів внутрішнього згорання транзитного вантажного транспорту

У досліджуваному регіоні місто Миколаїв – це обласний центр Миколаївської області. Місто розташовано на півострові, утвореному злиттям двох річок – Інгулу та Південного Бугу, зі сторони Чорного моря омивається Бузьким лиманом. Завдяки сприятливому географічному розташуванню,

Бузький лиман інтенсивно використовувався до воєнний подій, як транспортна магістраль.

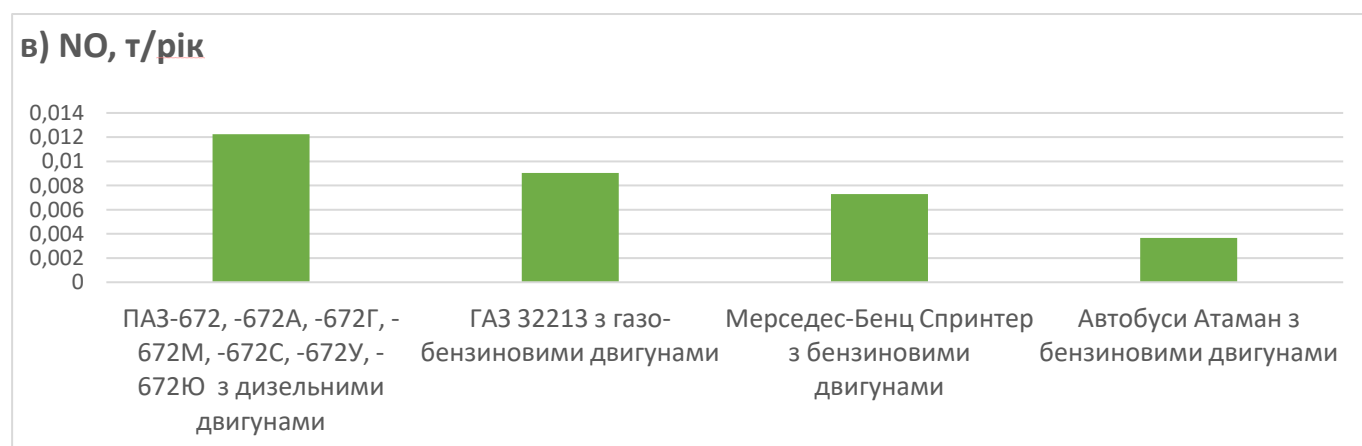
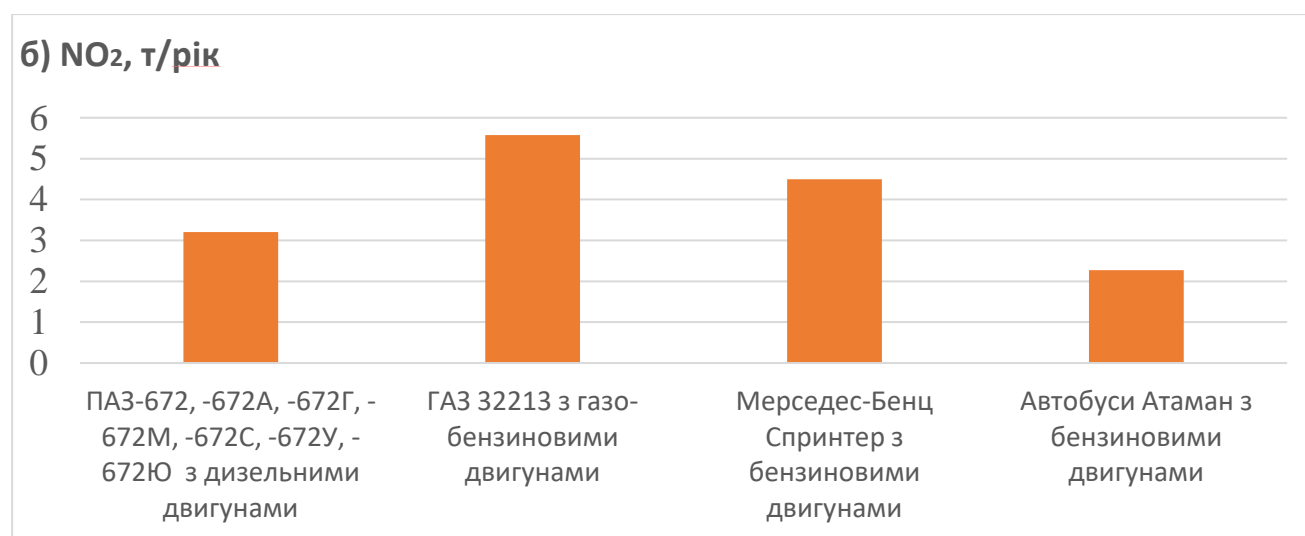
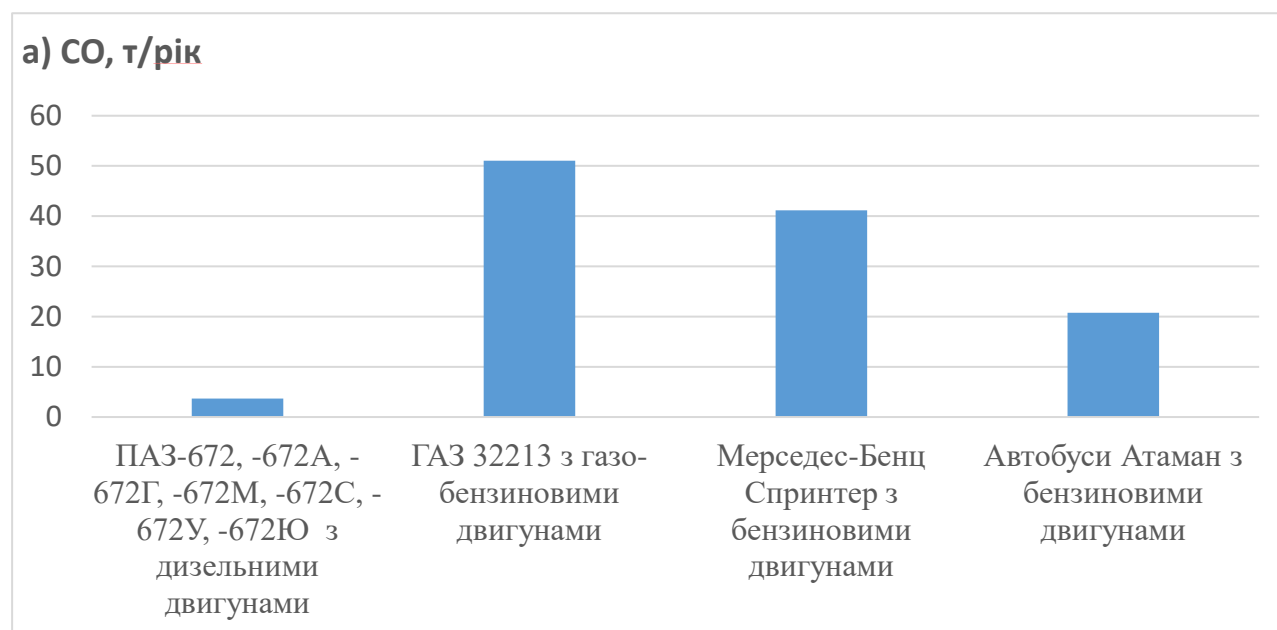




Рисунок 3.2.1.1 – Порівняння валового викиду CO (а), NO₂ (б), NO (в), C₂₀H₁₂ (г) між групами авто міського автотранспорту

Розташовані на його узбережжі порти м. Миколаєва, Ольвії та приватні морські термінали утворюють портову галузь регіону. Миколаїв стоїть на перетині важливих магістралей (Н-24, М-14, Н-11, Н-14).

Таблиця 3.2.1.3 – Результати розрахунку валового викиду хімічних сполук від громадського автотранспорту м. Південноукраїнська, тис. т

Назва авто та їх кількість	Хімічні полютанти						
	СО	NO ₂	SO ₂	НЛОС	Метан	NO	CO ₂
ГАЗ 32213 з газобензиновим и двигунами, 21	1,11	0,12	0,01	0,15	0,00	0,01	16,81
Мерседес-Бенц Спринтер з бензиновим и двигунами, 22	1,11	0,12	0,01	0,16	0,00	0,01	17,86
Сума	2,22	0,24	0,01	0,31	0,01	0,02	34,66

З таблиці маємо, що загальний об'єм викидів полютантів від громадського автотранспорту у м. Південноукраїнську склав 37,45 тис. тон.

На рис. 3.2.1.1 представлено зведені дані щодо викидів у повітря хімічних полютантів від двигунів внутрішнього згорання громадського автотранспорту для м. Миколаєва (А), м. Південноукраїнська (Б). Як можна бачити з рисунку, для обох міст основний об'єм (78-87%) викидів приходить на викиди оксиду вуглецю, приблизно однакові об'єми (10-12%) приходяться на викиди діоксиду азоту, але відрізняються об'єми викиду неметанових летких органічних речовин: для м. Миколаєва останні складають 12%, а для м. Південноукраїнська 2%. Це пояснюється різницею транспортної інфраструктури і меншою кількістю автотранспорту з дизельними ДВЗ, які, як відомо, характеризуються більшими об'ємами викиду різних НЛО.

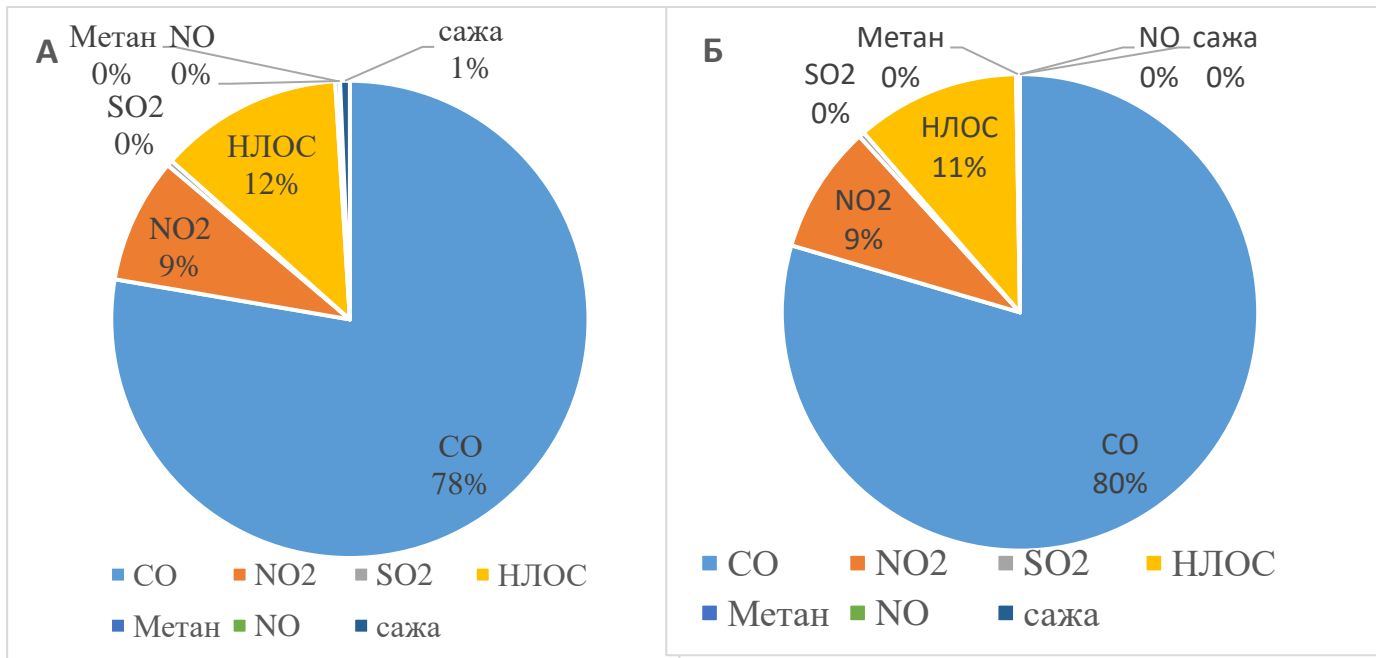


Рисунок 3.2.2. Викиди у повітря хімічних політантив від двигунів внутрішнього згорання громадського автотранспорту для м. Миколаєва (А), м. Південноукраїнська (Б)

3.2.2. Викиди у повітря хімічних політантив від двигунів внутрішнього згорання транзитного вантажного транспорту

У досліджуваному регіоні місто Миколаїв – це обласний центр Миколаївської області. Місто розташовано на півострові, утвореному злиттям двох річок – Інгулу та Південного Бугу, зі сторони Чорного моря омивається Бузьким лиманом. Завдяки сприятливому географічному розташуванню, Бузький лиман використовувався до воєнних подій, як транспортна магістраль. Розташовані на його узбережжі порти м. Миколаєва, Ольвії та приватні морські термінали утворюють портову галузь регіону. Миколаїв стоїть на перетині важливих магістралей (Н-24, М-14, Н-11, Н-14). Траси Н-24, М-14, Н-11 та Н-14 – це ключові автомобільні шляхи державного значення, що забезпечують

транспортне сполучення Миколаївської області та півдня України. Вони з'єднують Миколаїв з іншими регіонами (Київ, Кропивницький, Одеса, Дніпро), а також проходять через важливі райони, що забезпечує економічний зв'язок:

- Н-24 (Благовіщенське - Миколаїв): найдовша дорога в Миколаївській області (близько 226 км), що з'єднує м.Миколаїв через м. Вознесенськ та м. Південноукраїнськ у напрямку м. Києва;
- М-14 (Одеса — Мелітополь — Новоазовськ): міжнародна траса, що проходить через м.Миколаїв, забезпечуючи зв'язок між портами та східними регіонами;
- Н-11 (Дніпро — Кривий Ріг — Миколаїв): національна траса, що з'єднує м.Миколаїв із промисловими центрами Дніпропетровської області;
- Н-14 (Олександрівка — Кропивницький — Миколаїв): національна траса, яка з'єднує м.Миколаїв з м. Кропивницьким та є важливим логістичним маршрутом.

Порт Миколаїв входив до топ-3 найбільших українських портів: у 2021 році вантажообіг у Миколаївському порту склав 22,4 млн. тон, а пропускна спроможність його терміналів становила 29,6 млн. тон. На першому місці виступав експорт зернових, олійних культур та продуктів їх переробки. Тобто у 2021 році Миколаївський морський порт перевалив близько 12,7 – 13,2 млн. тон зернових вантажів. Разом із терміналами порту «Ольвія» (понад 1,8 млн тонн) загальний показник зернової перевалки регіону перевищував 15 млн тонн. За експертними оцінками ринку перевезень, які зроблено у Міністерстві розвитку громад і територій України, у цей період близько 35% зерна доставлялося до портів автомобільним транспортом. Це означає, що понад 5 млн. тон зерна прибуло до миколаївських портів на вантажівках.

Виходячи з середньої вантажопідйомності зерновоза у 25–30 тон, лише до Миколаївського морського порту та сусідніх терміналів у 2021 році заїхало

приблизно 170 000 – 200 000 вантажівок. У пікові періоди (після жнив) це становило від 500 до 1000 вантажівок на добу.

Для уточнення цих даних влітку 2021 р. виконано власні спостереження кількості вантажівок, які транзитом курсували вздовж м. Миколаєва. Результати спостережень наведено у таблиці 3.2.2.1.

Таблиця 3.2.2.1 – Результати спостережень за кількістю транзитних вантажних авто через м. Миколаїв у 2021 р.

Місце спостереження	Дата спостереження	Кількість вантажних авто
В'їзд у м. Миколаїв з траси Н-11	07.07.2021.	990
В'їзд у м. Миколаїв з траси Н-14	31.07.2021.	777
В'їзд у м. Миколаїв з траси Н-24	27.08.2021.	1230

Виходячи з вищенаведеного у розрахунок взято величину кількості транзитних вантажних авто – 1000 .

Виконано розрахунки викидів атмосферних поллютантів двигунами внутрішнього згоряння цього транзитного вантажного автотранспорту за затвердженою методикою розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів [133]. При цьому розрахунку використано наступні дані.

1. Використано дані статистичного управління щодо типів курсуючого автотранспорту [44]. Так, зерновозом є спецтехніка, яка призначена для транспортування зерна – пшениці, кукурудзи, сої, рису – та інших сипучих вантажів. Широко використовується у сільському господарстві для перевезення агропродукції до місця збирання та/або обробки, оскільки дозволяє уникнути значних її втрат (висипання) під час руху.

Така спецтехніка буває різних видів, найпоширеніші з них:

- Самоскидний напівпричіп або вантажний автомобіль-самоскид. Для перевезення великих обсягів вантажів 25 тонн та більше;

- Бортовий. Вантажівка для транспортування зерна обсягом до 20-25 тон;
- Автопоїзд. Місткий спецтранспорт для перевезення величезних обсягів (до 40 тонн) складається з двох кузовів – тягача з причепом та напівпричепом або самоскида з причепом;
- Цистерна. Найнадійніший тип зерновоза, що зводить практично до нуля втрати при транспортуванні;
- Контейнеровоз. Для перевезення зерна у контейнерах. Може бути у вигляді автомобіля на вантажному шасі, а також залізничним вагоном або судном.

Більшість вантажівок використовують дизельне паливо через вищий крутний момент та економічність при великих навантаженнях, тоді як бензинові двигуни рідше застосовуються, переважно на легких комерційних авто. У розрахунках взято, що кількість вантажівок з ДВЗ на дизельному паливі складає не менше 75% від всього об'єму.

2. Використано дані статистичного управління щодо витрат дизелю за класом вантажівки. Для вантажних автомобілів на дизельному паливі витрати на 100 км значно вищі та критично залежать від вантажності (тонажності), стану доріг та стилю водіння (табл. 3.2.2.2.)

Таблиця 3.2.2.2 – Середня витрата дизеля за класом вантажівки на 100 км

Клас авто (вантажність)	Порожній	З повним вантажем	Приклади моделей
Малотонажні (до 3.5 т)	7 – 10 л	11 – 14 л	Mercedes Sprinter, Renault Master
Середньотонажні (5–10 т)	14 – 18 л	20 – 25 л	MAN TGL, Mercedes Atego, ГАЗель
Важкі вантажівки (10–20 т)	22 – 25 л	28 – 35 л	Scania, Volvo (rigid trucks)

Фури / Тягачі (40 т і вище)	25 – 30 л	32 – 40 л*	DAF XF, MAN TGX
-----------------------------	-----------	------------	-----------------

У розрахунках прийнято однаковий (по 25%) розподіл всього обсягу курсуючих вантажівок (200 000) з зерном. При таких масштабах курсуючих вантажівок кількість політантив, які викидаються у повітря, наведено у таблиці 3.2.2.3.

Таблиця 3.2.2.3 – Результати розрахунку валового викиду хімічних політантив від транзитного вантажного транспорту у м. Миколаєві, тис. т/рік

Назва палива вантажівок	Хімічні політанти								
	CO	NO ₂	SO ₂	НЛО	Метан	NO	пил	CO ₂	Бензапірен
Вантажівки на бензині	6,52	0,71	0,03	0,94	0,02	0,001	-	1,05	0,21
Вантажівки на дизпаливі	1,49	1,30	0,18	0,34	0,01	0,005	0,16	129,44	1,49
Сума	8,02	2,01	0,21	1,28	0,03	0,006	0,16	130,49	1,70

Для м. Південноукраїнська розрахункові значення валового викиду хімічних політантив від транзитного вантажного транспорту наведено у таблиці 3.2.2.4.

Таблиця 3.2.2.3 – Результати розрахунку валового викиду хімічних політантив від транзитного вантажного транспорту у м. Південноукраїнську, тис. т/рік

Хімічні політанти								
CO	NO ₂	SO ₂	НЛО	Метан	NO	пил	CO ₂	Бензапірен
0,71	0,20	-	0,11	-	-	0,02	9,28	0,13

На рис. 3.2.2.1. відображено кругові діаграми, які демонструють відмінність між викидами атмосферних політантив трьома видами джерел

викиду (стаціонарні, громадський транспорт, вантажний транспорт) у м. Миколаєві (А) та у м. Південноукраїнську (Б).

Порівняльний аналіз об'ємів викиду атмосферних поллютантів транзитним вантажним транспортом у м. Миколаєві та у м. Південноукраїнську демонструє значну різницю між викидами поллютантів вантажним транспортом: у м. Миколаєві цей додатковий викид атмосферних поллютантів становить 28% для CO, для НЛОС, 45% для викидів NO₂, 41% – для NO, 48% – для пилу, 16% – для SO₂. У м. Південноукраїнську, де відсутнє це чимале навантаження, внески цих поллютантів склали: CO – 13% , NO₂ – 17%, НЛОС – 6%, SO₂ – 5%.

При цьому для обох міст, де функціонують потужні промислові підприємства енергетичної галузі, теплоенергетики, внесок транспорту у викиди атмосферних поллютантів складав 80-85%.

Викиди парникових газів (CO₂) вантажним транзитним транспортом додають не менше 10% до їхніх викидів громадським автотранспортом міст.

3.3. Якість атмосферного повітря у м. Миколаєві за результатами спостережень на стаціонарних постах

За результатами спостережень на стаціонарних постах спостереження у 2015-21 рр. наступне. Головною тенденцією динаміки зміни концентрацій поллютантів впродовж року у довоєнний час було збільшення їхніх концентрацій у другій половині року та хронічне перевищення середньодобових гранично-допустимих значень.

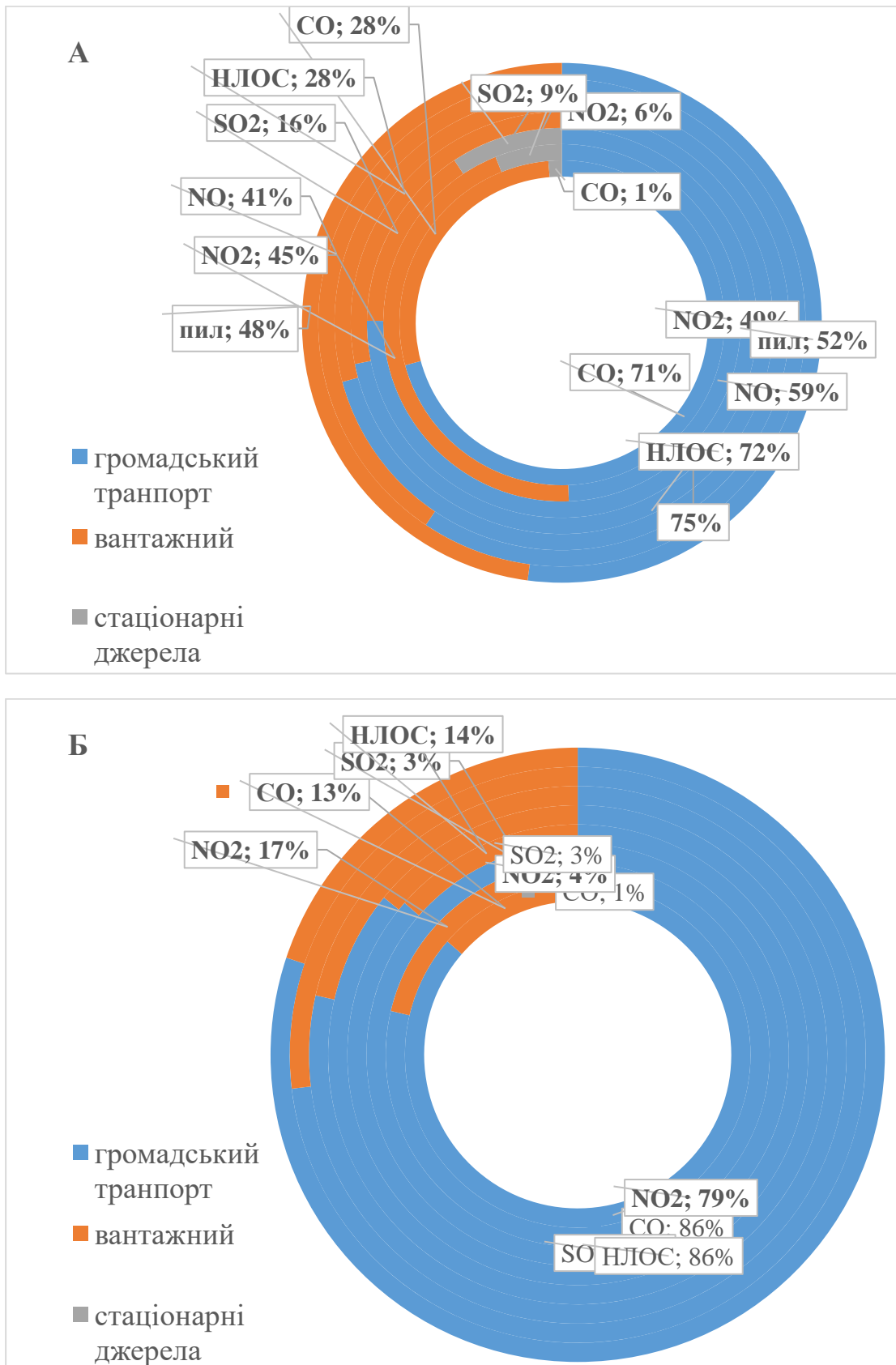


Рисунок 3.2.2.1. Кругові діаграми впливу викидів політантів (CO, NO₂, SO₂) громадським транспортом, вантажним транспортом та стаціонарними джерелами викидів у м. Миколаєві (А), м. Південноукраїнську (Б)

В першу чергу це стосується пилу, HF, NO₂, CH₂O. При цьому маємо: середньомісячні концентрації пилу (C_{пил}) складали 0,10±0,02 мг/м³, максимальні концентрації пилу були разовими, досягаючи 0,015-0,020 мг/м³, тобто перевищуючи ГДК_{с.д.} (0,15 мг/м³) (рис.2 Додатку А); середньомісячні концентрації СО (C_{СО}) складали 2,0±1,1 мг/м³, а максимальні значення досягали рівня 8 – 9 мг/м³, перевищення ГДК_{с.д.} (3 мг/м³) носили постійний характер, а перевищення ГДК_{м.р.} (5 мг/м³) – вибірковий характер (рис.1 Додатку А); середньомісячні концентрації SO₂ (C_{SO2}) складали 0,008±0,002 мг/м³, без перевищень ГДК_{с.д.} (0,05 мг/м³), ГДК_{м.р.} (0,5 мг/м³); середньомісячні концентрації NO₂ (C_{NO2}) складали 0,07±0,02 мг/м³, максимальні концентрації також перевищували ГДК_{с.д.} (0,04 мг/м³) досягаючи 0,19 мг/м³ (рис.3 Додатку А); середньомісячні концентрації NO (C_{NO}) складали 0,015±0,002 мг/м³; характерні щомісячні випадки досягнення ГДК_{с.д.} (0,06 мг/м³) (рис.4 Додатку А); середньомісячні концентрації HF (C_{HF}) складали 0,003±0,001 мг/м³; максимальні концентрації досягали рівня 0,017 – 0,022 мг/м³, перевищуючи ГДК_{с.д.} (0,005 мг/м³), ГДК_{м.р.} (0,019 мг/м³); при цьому перевищення ГДК_{с.д.} носило стійкий характер (щомісячні випадки такого перевищення) (рис.5 Додатку А); середньомісячні концентрації CH₂O (C_{CH2O}) складали 0,02±0,01 мг/м³; максимальні концентрації перевищували ГДК_{с.д.} (0,003 мг/м³), ГДК_{м.р.} (0,035 мг/м³), досягаючи 0,07 мг/м³. Перевищення ГДК_{с.д.}, ГДК_{м.р.} для CH₂O носило стійкий характер, особливо у період з квітня по жовтень (рис.6 Додатку А).

Результати розрахунку індексів забруднення атмосферного повітря у м. Миколаєві наведено у таблиці 3.3.1.

Таблиця 3.3.1 – Індеси забруднення атмосфери у м. Миколаєві

Поллютант	2015 р.	2017 р.	2019 р.	2020 р.	2022 р.	2024 р.	2025 р.
CO	0,83	0,85	1,40	1,25	1,00	1,20	1,23
SO ₂	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03
пил	0,89	0,72	0,77	0,82	0,72	0,87	0,88
NO ₂	0,97	1,10	1,00	1,02	1,10	1,01	1,07
NO	0,44	0,44	0,28	0,42	0,40	0,44	0,41
HF	4,64	4,30	5,06	4,96	4,20	4,30	4,61
CH ₂ O	2,96	4,98	4,59	5,33	4,18	4,78	4,38

Як видно з отриманих результатів ІЗА, серед 7 поллютантів, за якими ведеться моніторинг в м. Миколаєві, найбільше впливають на рівень забруднення атмосферного повітря міста наступні поллютанти:

- 1 місце – CH₂O (ІЗА вищий за 1);
- 2 місце – HF;
- 3 місце – CO та NO₂ (ІЗА вищий за 5).

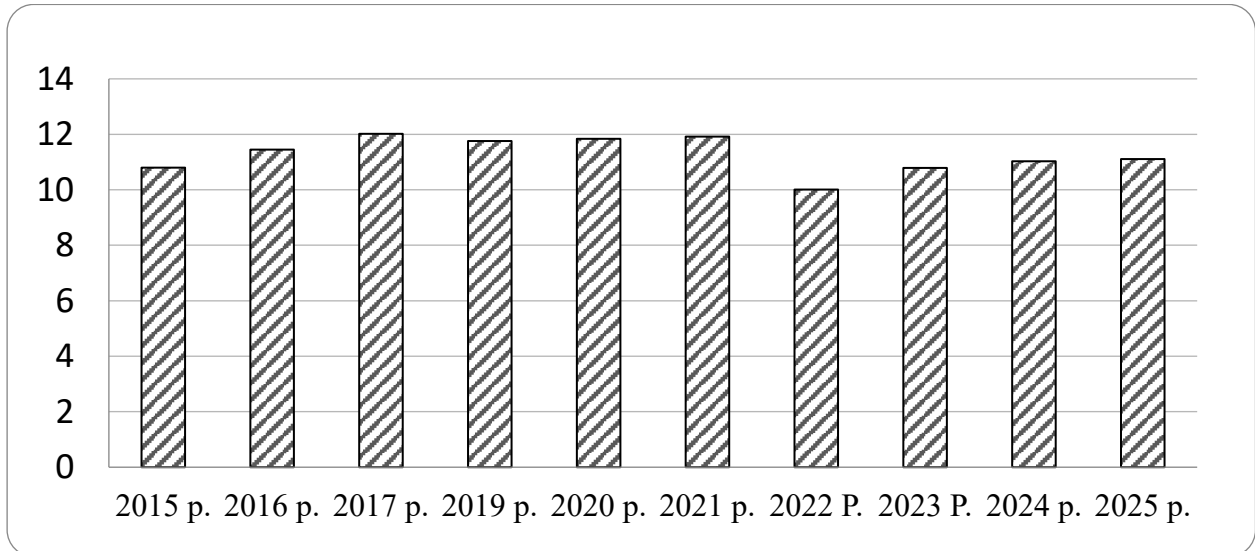
Комплексна оцінка рівня забруднення атмосферного повітря через визначення показника КІЗА, яка здійснена за 5 найбільш небезпечними поллютантами (як вимагає методика розрахунку): CH₂O, HF, NO₂, CO, пил, поллютантами свідчила:

- для 2015 р. КІЗА=10,80 → рівень забруднення високий;
- для 2016 р. КІЗА=11,45 → рівень забруднення високий;
- для 2017 р. КІЗА=12,02 → рівень забруднення високий;
- для 2019 р. КІЗА=11,76 → рівень забруднення високий;
- для 2020 р. КІЗА = 11,84 → рівень забруднення високий;
- для 2021 р. КІЗА=11,92 → рівень забруднення високий;
- для 2022 р. КІЗА=10,01 → рівень забруднення високий;
- для 2023 р. КІЗА=10,80 → рівень забруднення високий;
- для 2024 р. КІЗА=11,91 → рівень забруднення високий;

– для 2025 р. КІЗА=11,82 → рівень забруднення високий.

Динаміка комплексного показника КІЗА за 2015-2021 рр. відображена на рис. 3.3.1.

А



Б

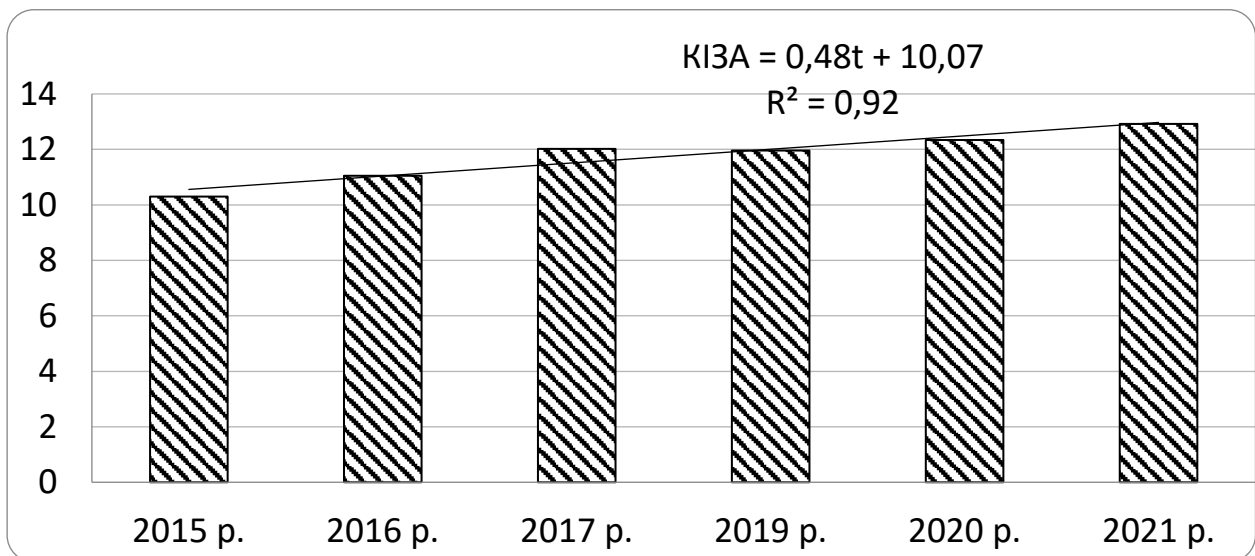


Рисунок 3.3.1 – Динаміка комплексного показника КІЗА у м. Миколаєві за 2015-21 рр. (А), за 2015-2021 рр. (Б)

Рівень забруднення атмосферного повітря за показником КІЗА диференціюють наступним чином: при $KІЗА < 5$ рівень забруднення є низьким; при $5 \leq KІЗА < 8$ – рівень підвищений; при $8 \leq KІЗА < 13$ – рівень високий; при

$KI_{3A} \geq 13$ – рівень дуже високий. Показник KI_{3A} для атмосферного повітря м. Миколаєва перевищував 10 одиниць протягом досліджуваного періоду.

Динаміку KI_{3A} за період 2015-2021 рр. описано лінією тренду (рис. 3.3.1., Б):

$$KI_{3A} = 0,48t + 10,07,$$

де t – час (рік).

Лінія тренду отримана з коефіцієнтом детермінації 0,92.

Ця лінія тренду вказала на наявність тенденції до зростання з середньорічним темпом приросту близько 0,5 одиниць.

Внески кожного поллютанта у формуванні KI_{3A} у м. Миколаєві відображено на рис. 3.3.2.

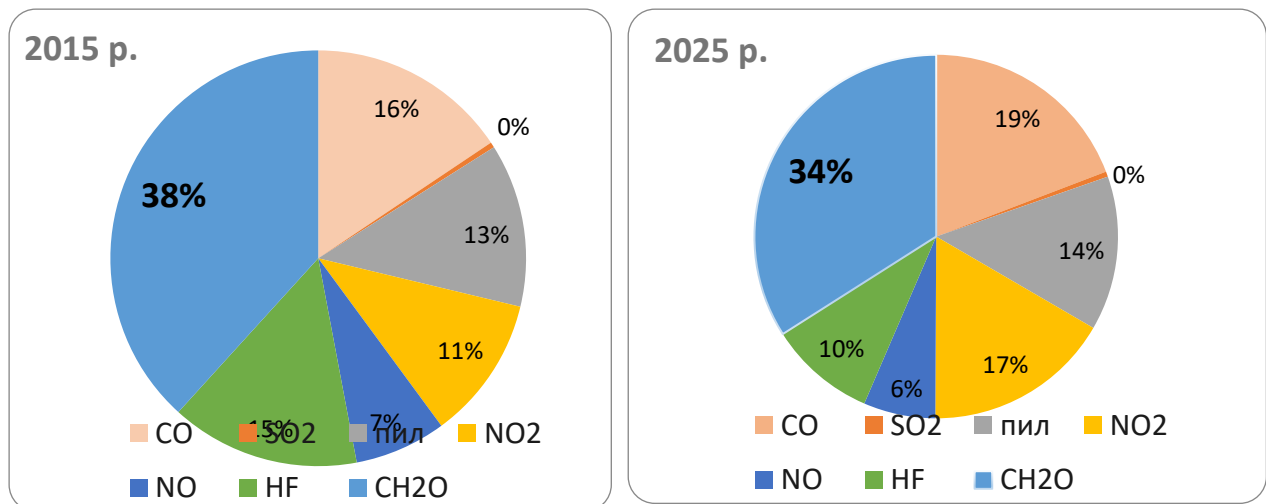


Рисунок 3.3.2 – KI_{3A} м. Миколаєва за внесками поллютантів

Як видно з рисунку, найбільший внесок у формування забруднення атмосферного повітря у м. Миколаєві здійснює формальдегід (34-38%). Істотними є також внески пилу (13-14%), CO (16-19%), діоксиду азоту (11-17%).

Типовий вигляд перевищення гранично-допустимих концентрацій $ГДК_{с.д.,i}$ для основних поллютантів атмосферного повітря у м. Миколаєві має вигляд, який зображено на рис. 3.3.3.

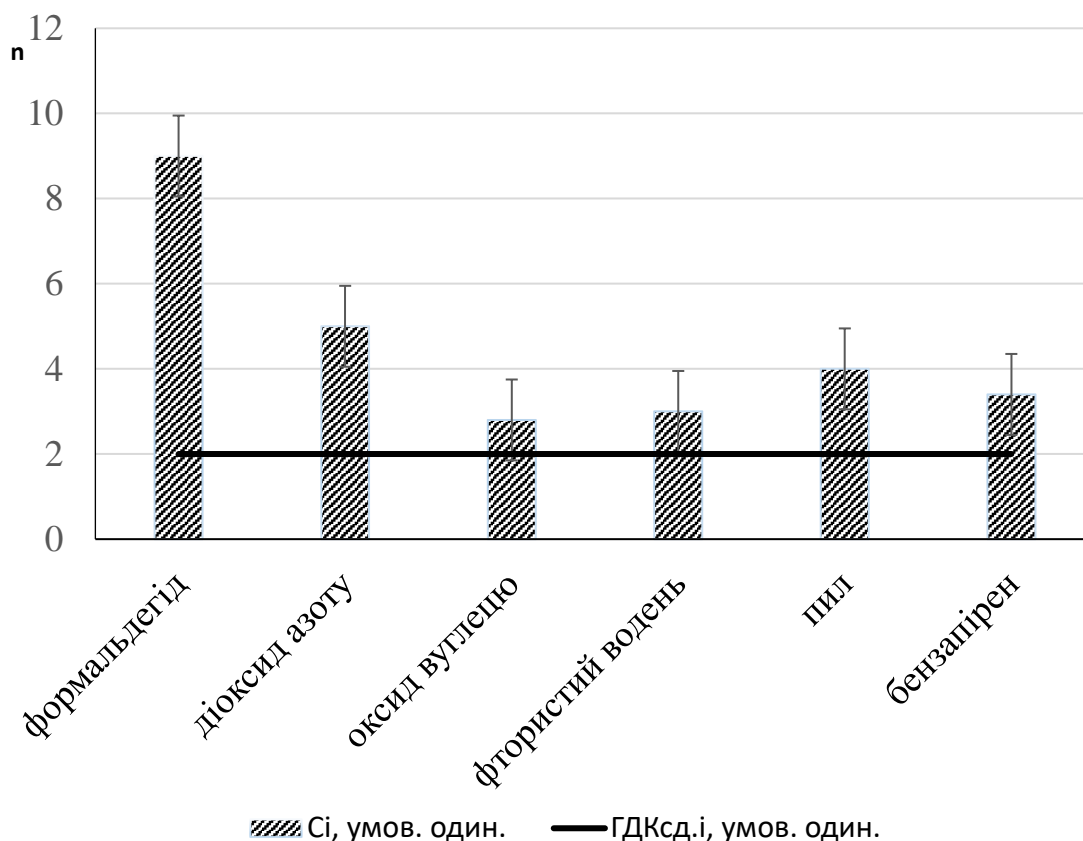


Рисунок 3.3.3 – Нормалізовані (на ГДК_{с.д.і}) концентрації основних забруднювачів атмосферного повітря у м. Миколаєві (типовий вигляд)

3.4. Якість атмосферного повітря у м. Миколаєві за результатами індикативних вимірювань

Результати спостережень за CH_2O , HF, NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} в атмосферному повітрі м. Миколаєва у точках спостережень 1, 4 (див. рис. 2.3.3.) в період 2021-2023 рр., за допомогою станцій індикативних вимірювань Oxygen Air Fresh Max, які оброблено методами математичної статистики, наведено у таблиці 3.4.1.

Таблиця 3.4.1 – Статистично оброблені результати індикативних вимірювань CH_2O , CO, NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} в атмосферному повітрі м. Миколаєва за допомогою станції Oxygen Air Fresh Max «EcoRozum» в період 2021-2023 рр., мг/м^3

Полютант	Середнє значення концентрації	Мінімальне значення концентрації	Максимальне значення концентрації	Стандартне відхилення даних
PM _{2,5}	0,015	0,01	0,05	0,01
PM ₁₀	0,03	0,01	0,09	0,01
CH ₂ O	0,02	0,01	0,06	0,01
CO	0,27	0,2	0,29	0,02
NO ₂	0,04	0,01	0,05	0,01

Ці результати вимірювань вказали на високі значення концентрацій у повітрі дрібнодисперсного пилу PM₁₀ (до 0,09 мг/м³), підтвердили факт сталості підвищених концентрацій формальдегіду (до 0,06 мг/м³), діоксиду азоту (до 0,05 мг/м³). Вміст CO зберігався на рівні $0,27 \pm 0,02$ мг/м³.

Результати вимірювань CH₂O на станціях індикативних вимірювань у т. 1, 4 у м. Миколаєві (рис. 3.4.1.) свідчили про сталість рівня концентрації формальдегіду близько до ГДК_{с.д.}, а максимальні разові концентрації досягали 0,06 мг/м³, що повністю погоджується з результатами, які отримано на стаціонарних постах м. Миколаєва (рис.6 Додатку А). Таким чином, це підтверджує висновок, що при референтному рівні забруднення атмосферного повітря екологічний моніторинг потрібно організовувати з врахуванням індикативних вимірювань за допомогою станцій індикативних вимірювань. За результатами моніторингу за допомогою станцій індикативних вимірювань у т.1, т.4 (рис. 2.3.3) динаміка дрібнодисперсних фракцій пилу зображена на рисунку 3.4.1.

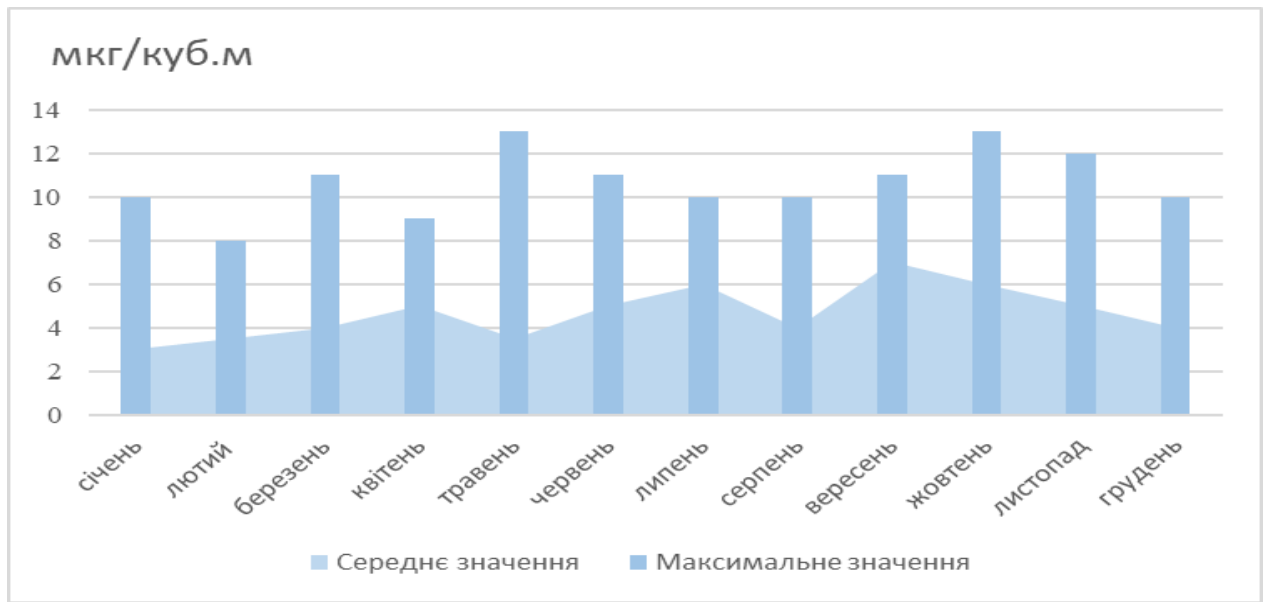


Рисунок 3.4.1 – Динаміка дрібнодисперсних фракцій пилу у повітрі м. Миколаєва впродовж 2023 р. і 2024 р. за результатами моніторингу на станціях індикативних вимірювань А) PM_{2.5}, Б) PM₁₀.

Як видно з рисунку 3.4.1. розмах варіювання концентрацій дрібнодисперсного пилу PM_{2,5} становив від 3 до 13 мкг/м³. Розмах варіювання концентрацій дрібнодисперсного пилу PM₁₀ становив від 12 до 40 мкг/м³.

У період з липня 2021 р. по 31.01.2022 р. проводилися детальні спостереження з усередненням значень вмісту PM_{2,5}, PM₁₀, CH₂O у повітрі кожні

10 діб за допомогою універсальної станції Oxugen ECO-ROZUM ЧНУ імені Петра Могили – у т.1. Ці результати спостережень за період липень 2021 р. – січень 2022 р. представлено у таблиці 3.4.2.

Таблиця 3.4.2 – Середні значення вмісту $PM_{2,5}$, PM_{10} , CH_2O у повітрі за станцією індикативних вимірювань у т.1

Дата	Середні значення кожні 10 днів, $мкг/м^3$		
	$PM_{2,5}$	PM_{10}	CH_2O
01.07.-10.07.2021	11,66	25,30	11,94
11.07.-20.07.2021	15,42	35,18	32,02
21.07.-31.07.2021	8,88	14,26	14,94
01.08.-10.08.2021	11,28	23,32	18,60
11.08.-20.08.2021	22,23	44,82	11,74
21.08.-31.08.2021	8,09	17,72	12,26
01.09.-10.09.2021	3,35	11,30	29,88
11.09.-20.09.2021	7,70	17,77	19,92
21.09.-30.09.2021	9,36	12,87	30,93
01.10.-10.10.2021	12,04	25,88	31,96
11.11.-20.11.2021	11,58	24,13	31,25
21.11.-31.11.2021	16,89	38,92	32,46
01.12.-10.12.2021	14,56	34,55	34,13
11.12.-20.12.2021	15,58	37,62	33,10
21.12.-31.12.2021	19,91	42,21	11,23
01.01.-10.01.2022	20,13	27,42	11,14
11.01.-21.01.2022	13,97	28,33	11,18
22.01.-31.01.2022	4,28	8,52	11,21

З таблиці видно, що концентрації дрібнодисперсного пилу не перевищували нормативного значення, а за формальдегідом спостерігалися перевищення ГДК_{с.д} до 7 разів.

Аналіз результатів індикативних вимірювань показників стану атмосферного повітря у м. Миколаєві за іншими 6 станціями Oxugen Air Fresh Max свідчив, що середньомісячний вміст формальдегіду коливався в межах 8,08–19,20 мкг/м³ (ГДК_{с.д} 3 мкг/м³), концентрація РМ_{2,5} по місту в середньому дорівнювала 12,66 мкг/м³ (ГДК_{с.д} 25,00 мкг/м³) та концентрація РМ₁₀ у місті в середньому дорівнювала 22,12 мкг/м³ (ГДК_{с.д} 50,00 мкг/м³).

При цьому Індекс якості повітря (AQI) знаходився, в середньому, на рівні 80 – 120 одиниць, тобто вказував на середню, прийнятну для здоров'я людини якість повітря, з коливаннями у бік показника нездорової якості повітря.

Висновки до третього розділу

Для міст Миколаївської агломерації серед атмосферних поллютантів перше місце за об'ємом викидів стаціонарними джерелами належить пилу (від 21 до 45%) та оксиду вуглецю (від 24 до 51%); друге місце займають викиди діоксиду азоту (від 12 до 25%), а третє місце належить викидам діоксиду сірки (5-16 %). Для більшості територіальних громад Миколаївщини: 1) найбільші об'єми викидів атмосферних поллютантів зі стаціонарних джерел приходяться на підприємства газотранспортної системи та підприємства теплоенергетики; 2) з 2022 р. об'єми викидів атмосферних поллютантів зі стаціонарних джерел зменшилися від 2 до 11 разів. Кількість викидів забруднюючих речовин і парникових газів прямо пропорційна кількості підприємств, які здійснюють ці викиди: для Південноукраїнської територіальної громади (2 підприємства) – 36,9 т, а для Миколаївської територіальної громади (79 підприємств) – 1432,4 т

Розраховано, що:

- Валовий викид хімічних сполук від громадського автотранспорту міста Миколаєва склав 4905,7 тис. т, а за окремими поллютантами: за CO – 203,67 тис. т, NO₂ – 22,25 тис. т, SO₂ – 1,02 тис. т, неметанові леткі органічні речовини – 32,63 тис. т, метан – 0,76 тис. т, NO – 0,09 тис. т, пил – 1,73 тис. т, CO₂ – 4643,54 тис. т, бензапірен – 0,01 тис. т.
- Валовий об'єм викидів у повітря хімічних полютантів від двигунів внутрішнього згорання транзитного вантажного транспорту, задіяного у зерновій логістиці до воєнних дій у м. Миколаєві, становив, тис. т: CO – 8,02; NO₂ – 2,01; SO₂ – 0,21; NO – 0,006; пил – 0,16; неметанові леткі органічні речовини – 1,28; CO₂ – 130,49.

Установлено, що викиди атмосферних полютантів громадським автотранспортом у містах Миколаїв та Південноукраїнськ близькі за об'ємами викидів оксиду вуглецю (78-87%), діоксиду азоту (10-12%), діоксиду сірки (менше 1%), але відрізняються за викидами неметанових летких органічних сполук, які для м. Миколаєва складають 12%, а для м. Південноукраїнська 2%. Це пояснюється різницею транспортної інфраструктури і меншою кількістю у громадському транспорті м. Південноукраїнська автотранспорту з дизельними ДВЗ, що характеризуються більшими об'ємами викидами НЛОС. Для викидів атмосферних полютантів вантажним транзитним автотранспортом: у м. Миколаєві, крізь який до воєнних часів інтенсивно курсував вантажний транспорт, задіяний у логістиці зерна, додатковий викид атмосферних полютантів становив 28% для CO, 28% - для НЛО, 45% для викидів NO₂, 41% - для NO, 48% - для пилу, 16% - для SO₂, що більше відповідних показників для м. Південноукраїнська від 2 до 5 разів. При цьому для обох міст – міст, де функціонують потужні промислові підприємства енергетичної галузі, теплоенергетики, внесок транспорту у викиди атмосферних полютантів складав

80-85%. Викиди парникових газів (CO_2) вантажним транзитним транспортом додають не менше 10% до їхніх викидів громадським автотранспортом міст.

Встановлено, що найбільший внесок у формування забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва здійснює формальдегід (39-40%), фтористий водень (35-36 %). Істотними є також внески діоксиду азоту (7-8%), пилу. Встановлено, що середньомісячний рівень вмісту формальдегіду в атмосферному просторі м. Миколаєва у період 2015-2024 рр. коливався у межах 8,08–19,20 мкг/м^3 , розмах варіювання концентрацій дрібнодисперсного пилу $\text{PM}_{2,5}$ становив від 3 до 13 мкг/м^3 , а пилу PM_{10} становив від 12 до 40 мкг/м^3 .

Головною тенденцією динаміки зміни концентрацій пилу, HF , NO_2 , CH_2O впродовж року у довоєнний час (2015-2021 рр.) було збільшення їхніх концентрацій у другій половині року та хронічне перевищення середньодобових гранично-допустимих значень. Це пов'язано з сезонною динамікою збільшення у другій половині року обсягу вантажних авто, задіяних у зерновій логістиці.

За величиною КІЗА (більше 10) рівень забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва є високим. Встановлено тенденцію до зростання забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва з середньорічним темпом зростання 0,5 ($R^2=0,92$), який свідчить про високу ймовірність досягнення дуже високого рівня забруднення повітря.

Матеріли досліджень за цим розділом частково висвітлено у наукових публікаціях [17, 18, 73, 74, 76, 79, 81, 87]

РОЗДІЛ 4. РАДІАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА У МІСЬКИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Головний внесок у природний радіаційний фон, крім космічних променів, роблять радіонукліди, що зустрічаються у гірських породах Землі — це калій-40 та члени радіоактивних семейств урана-238 та торія-232. Миколаїв, як і більшість обласних центрів України, має розвинену промисловість і транспорт, які можуть бути джерелами потрапляння радіоактивних речовин у довкілля. Через це рівень радіації в межах міста потенційно може зростати. В цілому у великих містах радіаційний фон зазвичай вищий, ніж у передмістях, навколишніх природних територіях і, особливо, в заповідних зонах. Таке явище називають техногенно підсиленим радіаційним фоном міського середовища. Це підвищення рівня радіації пов'язане з використанням будівельних матеріалів (граніту, базальту, цегли, бетону, асфальту), спалюванням палива на теплоелектроцентралях і в котельнях, а також із викидами автотранспорту. Крім того, у містах розташовано багато об'єктів, де використовуються побутові та медичні джерела іонізуючого випромінювання невеликої потужності [110].

4.1. Аналіз результатів вимірювань потужності ефективної дози у м. Миколаєві

Результати спостережень за потужністю ефективної дози у м. Миколаєві за двома пунктами спостережень: т.1, т.4 (рис. 2.3.3) наведено у таблиці 4.1.1.

Таблиця 4.1.1 – Середньомісячні значення потужності ефективної дози у м. Миколаєві протягом 2023-24 рр., $\bar{X} \pm 2\sigma$, мкЗв/год

Місяць	Т.1		Т.4	
	2023 р.	2024 р.	2023 р.	2024 р.
Січень	0,14±0,03	0,14±0,03	0,12±0,02	0,11±0,02
Лютий	0,12±0,03	0,13±0,03	0,10±0,03	0,11±0,03
Березень	0,12±0,03	0,12±0,03	0,12±0,03	0,12±0,03
Квітень	0,14±0,02	0,14±0,02	0,12±0,03	0,13±0,03

Травень	0,12±0,03	0,12±0,03	0,10±0,02	0,11±0,02
Червень	0,11±0,02	0,11±0,02	0,13±0,03	0,13±0,03
Липень	0,12±0,02	0,12±0,02	0,11±0,03	0,12±0,03
Серпень	0,10±0,03	0,12±0,03	0,10±0,03	0,12±0,03
Вересень	0,13±0,03	0,13±0,03	0,12±0,03	0,12±0,03
Жовтень	0,12±0,01	0,12±0,01	0,11±0,03	0,12±0,03
Листопад	0,11±0,01	0,11±0,01	0,11±0,03	0,11±0,03
Грудень	0,12±0,02	0,12±0,02	0,12±0,01	0,12±0,01
Середньорічне	0,11±0,02	0,12±0,02	0,12±0,03	0,12±0,03

З результатів вимірювання маємо, що середнє значення потужності ефективної дози у м. Миколаєві у 2023-24 р., за цими двома точками спостережень становило $0,12\pm 0,01$ мкЗв/год.

Результати обчислення використано при створенні карти EDRA_Муко (Effective dose rate of atmospheric air, Mykolaiv) на базі географічної інформаційної системи QGIS (рис. 4.1.1).

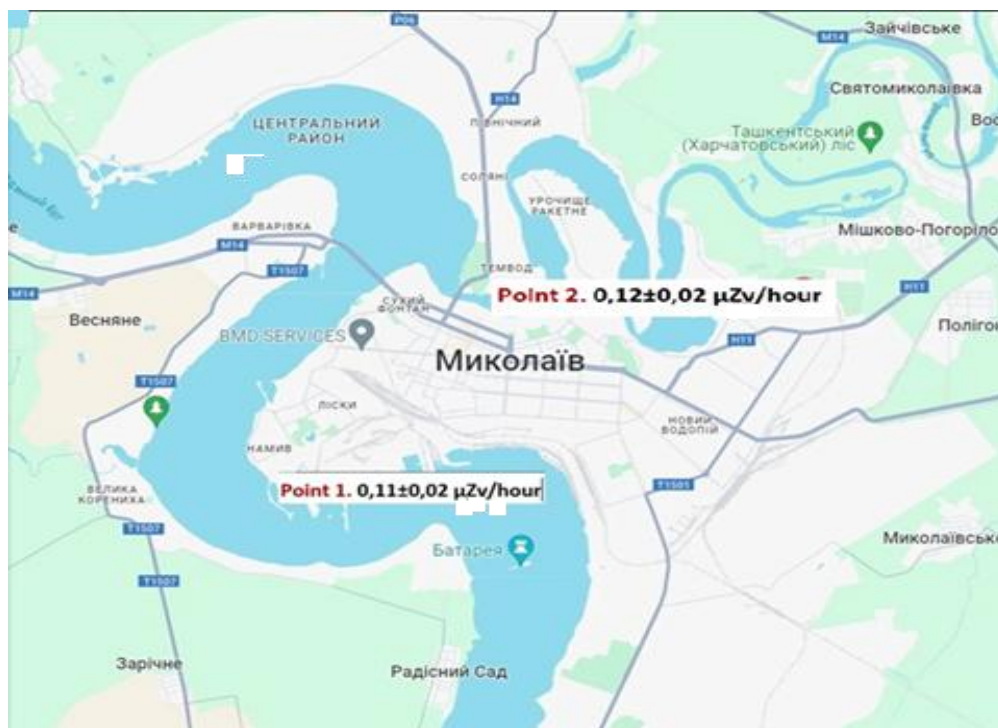


Рисунок 4.1.1 – Фрагмент карти EDRA_Муко (Effective dose rate of atmospheric air, Mykolaiv)

Також проводилися дозиметричні дослідження за допомогою дозиметрів, установлених в авто. В результаті дозиметричними дослідженнями охоплено різні типи урбосистем – вулиці, площі, тротуари, прибудинкові і паркові зони тощо.

Результати дослідження свідчили, що на дорогах з інтенсивним рухом спостерігали декілька підвищень, у порівнянні з іншими ділянками міста, рівні потужності ефективної дози. Наприклад, на перетині вулиці Аркасівської і проспекту Центрального вона коливалася у діапазоні 0,15–0,25 мкЗв/год. У південній частині м. Миколаєва, у Заводському районі, радіаційний фон істотно нижче і є в межах 0,09–0,11 мкЗв/год. На узбережжі Бузького лиману від району Намив до Корабельного району рівень потужності ефективної дози не перевищував 0,15 мкЗв/год.

В Інгульському районі вздовж р. Інгул потужність ефективної дози сягала величин 0,08–0,12 мкЗв/год. На перетині проспекту Жовтневого та проспекту Миру, поблизу міжміського автовокзалу потужність ефективної дози не перевищувала 0,20 мкЗв/год.

Порівняння з результатами моніторингу потужності ефективної дози у довоєнний період свідчило, що змін під час воєнних дій не відбулося, і значення потужності ефективної дози у м. Миколаєві не відрізнялися від довоєнного часу.

4.2. Аналіз результатів вимірювання потужності ефективної дози у населених пунктах Миколаївської області

Миколаївська область багата на різноманіття як рельєфу земної поверхні, так і його геологічного складу, де на поверхні зустрічаються як піщані - з невисокою природною радіоактивністю, так і гранітні породи з високим вмістом природних радіонуклідів. Геологія північних та центральних районів Миколаївської області характеризується розломами корінних порід та виходом гранітних пластів на поверхню, а численне розгортання у цих районах

видобувної та переробної граніт виробництв створює умови повсюдного використання гранітних порід у житловому та виробничому будівництві, що веде до техногенної зміни природного фону та визиває додаткове навантаження на людину.

Статистично оброблені результати досліджень у 2024 р. потужності ефективної дози відкритої місцевості Арбузинського району (с. Булацелово, с. Благодатне, смт. Арбузинка, с. Агрономія, с. Бузьке, с. Воронівка), Вознесенського району (с. Актово, с. Олександрівка, с. Таборівка, с. Трикрати), Казанківського району (смт. Казанка, с. Ново-Данилівка, с. Троїцько-Сафонове), Доманівського району (смт. Доманівка, с. Володимирівка, с. Копи, с. Лідівка), Братського району (смт. Братське, с. Крива Пустощ, с. Миролюбівка), Первомайського району (м. Первомайськ, с. Сінюхін Брод, с. Чаусово 1, с. Чаусово 2) наведено у таблиці 4.2.1.

Таблиця 4.2.1 – Результати вимірювання потужності ефективної дози відкритої місцевості районів Миколаївської області у 2024 р., мкЗв/год

Населений пункт	Кількість замірів	Середнє значення $\bar{X} \pm S\bar{x}$	Максимальне значення	Мінімальне значення
Арбузинський район	51	0,22±0,02	0,47	0,16
Вознесенський район	54	0,14±0,01	0,33	0,09
Казанківський район	31	0,18±0,01	0,24	0,11
Доманівський район	41	0,17±0,01	0,19	0,10
Братський район	38	0,18±0,01	0,24	0,12
Первомайський район	37	0,18±0,01	0,27	0,13

Як видно з таблиці, для усіх районів характерно широкий інтервал розкиду даних: від 0,10 до 0,47 мкЗв/год. Для окремих населених пунктів середні рівні

потужності ефективної дози відкритих територій були вищими за середні показники. Так, у с. Бузьке (Арбузинського району) середнє значення потужності ефективної дози відкритої місцевості складало $0,20 \pm 0,03$ мкЗв/год, у с. Булацелово (Арбузинського району) $0,22 \pm 0,4$ мкЗв/год, а середній рівень ПЕД у приміщеннях для Арбузинського району складав $0,17 \pm 0,02$ мкЗв/год.

Схожа ситуація спостерігалася у Казанківському районі: при середньому для району рівні ПЕД $0,18 \pm 0,02$ мкЗв/год, у с. Ново-Данилівка ПЕД складала $0,23 \pm 0,01$ мкР/год., тобто також мала значиму різницю ($\rho \leq 0.05$) у порівнянні із середньою для району величиною потужності ефективної дози відкритої місцевості. У Вознесенському районі декілька більші понад середні для району значення потужності експозиційної дози відкритої місцевості спостерігали у с. Актово (максимальне значення рівня ПЕД тут спостерігали на рівні $0,46$ мкЗв/год), с. Олександрівка. У Первомайському районі така ситуація спостерігалася у с. Чаусово 1, с. Чаусово 2

Для порівняння проаналізовано дані автоматизованої системи про радіаційний фон на місцевості 30-км зони ПАЕС (табл. 4.2.2).

Таблиця 4.2.2 – Середньомісячні величини потужності ефективної дози у населених пунктах 30-км зони ПАЕС у 2022, 2023, 2024 рр.

Пункт спостереження	$\underline{X} \pm 2\sigma$, мкЗв*/год		
	2022 р.	2023 р.	2024 р.
На проммайданчику ПАЕС	$0,11 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,02$
сmt Арбузинка	$0,13 \pm 0,03$	$0,15 \pm 0,03$	$0,15 \pm 0,03$
с. Бузьке	$0,13 \pm 0,03$	$0,14 \pm 0,03$	$0,14 \pm 0,03$
с. Агрономія	$0,14 \pm 0,03$	$0,14 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,02$
сmt Костянтинівка	$0,10 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,02$
с. Іванівка	$0,12 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,02$

с. Благодатне	0,13±0,02	0,13±0,02	0,13±0,02
м. Вознесенськ	0,10±0,02	0,10±0,02	0,10±0,02
сmt Олександрівка	0,13±0,02	0,12±0,02	0,12±0,02
сmt Доманівка	0,11±0,02	0,11±0,02	0,11±0,02
с. Богданівка	0,12±0,03	0,13±0,03	0,13±0,03
м. Южноукраїнськ	0,10±0,02	0,11±0,02	0,11±0,02

Як видно з таблиці 4.2.2, середні значення потужності ефективної дози атмосферного повітря у контрольних постах коливалися від 0,09 до 0,15 мкЗв/год. Розкид цих величин обумовлений геологічними особливостями Миколаївщини та наявністю у центрі та на півночі області геологічних розломів з виходом кристалічних порід (які характеризуються більш високим вмістом природних радіонуклідів рядів уран-радію і торію). Саме для територій центру та півночі області характерні більш високі величини потужності ефективної дози на відкритій місцевості.

Ці показники майже не відрізнялися від значень, які отримані при моніторингу «нульового» фону у районі ПАЕС за 1979-80 рр. Найбільші величини потужності ефективної дози характерні для ділянок, де скелясті породи з рожево-сірих гранітів виходять на поверхню: це території вздовж узбережжя р. Південний Буг. У цих місцях потужність ефективної дози знаходилася у межах 0,25-0,35 мкЗв/год. На відстані 5 – 10 км у бік від русла річки гранітні масиви частково вкриті осадовими породами, тому потужність дози гамма-випромінювання відкритої місцевості у цих місцях зменшувалась до 0,10 – 0,11 мкЗв/год.

Цей порівняльний аналіз вказав, що у м. Миколаєві та у населених пунктах Миколаївської області у період військових дій величини потужності ефективної дози атмосферного повітря не виходили за межі коливань природного радіаційного фону.

4.3. Радіонуклідний склад опадів з атмосфери до та під час воєнних дій
 Результати радіометрії проб опадів з атмосфери у м. Миколаєві наведено у таблиці 4.3.1.

Таблиця 4.3.1 – Результати радіометрії проб опадів з атмосфери у м. Миколаєві у 2023 і 2024 рр.

Експозиція	Загальна бета-активність, Бк/(місяць*м ²)		Вміст ¹³⁷ Cs, Бк/(місяць*м ²)	
	2023 р.	2024 р.	2023 р.	2024 р.
Один місяць у першому кварталі	12,0±3,0	12,4±3,0	1,0±0,2	1,1±0,2
Один місяць у другому кварталі	12,9±3,5	13,1±3,0	0,9±0,1	1,0±0,1
Один місяць у третьому кварталі	13,4±2,6	13,9±2,4	1,4±0,2	1,2±0,2
Один місяць у четвертому кварталі	14,0±3,0	14,1±3,0	1,3±0,3	1,2±0,3

Сумарна бета-активність опадів з атмосфери у м. Миколаєві складала, в середньому, 12,9±3,1 Бк/(місяць*м²). Активність ¹³⁷Cs в опадах дорівнювала, у середньому, 1,4±0,3 Бк/(місяць*м²).

За даними постійного радіаційного моніторингу опадів з атмосфери у м. Миколаєві загальна бета-активність опадів з атмосфери у 1990-2000 рр. варіювала у межах 11 – 25 Бк/(місяць*м²), а вміст ¹³⁷Cs не перевищував 2,2 Бк/(місяць*м²). З матеріалів оцінки нульового фону навколо ПАЕС [187] маємо, що сумарна бета-активність атмосферного повітря у м. Южноукраїнськ, м.

Вознесенськ коливалася в межах 0,200 – 0,700 Бк/л, активність ^{137}Cs атмосферного повітря не перевищував 2,5 мБк/л, активність ^{90}Sr не перевищувала 2,0 мБк/л.

У таблиці 4.3.2 наведено дані, які вказують, що під час пересування в атмосферному просторі України радіоактивної хмари з ^{106}Ru у вересні 2017 р. (через аварійне його витікання на російському підприємстві з перероблення ядерного палива «Маяк»), у пробах атмосферного повітря та у пробах атмосферних опадів реєструвався ^{106}Ru у підвищених кількостях. Рутеній-106 є бета-радіоактивним. Тому присутність його в атмосферному повітрі не могла призводити до підвищення рівня потужності ефективної/експозиційної дози, за показниками чого, як показано вище, здійснюється радіаційний контроль стану атмосферного повітря.

Таблиця 4.3.2 – Результати радіометрії проб атмосферного повітря в населених пунктах Миколаївської області під час перенесення радіоактивної хмари з ^{106}Ru у вересні 2017 р.

Населений пункт	Вміст ^{106}Ru , Бк/м ³
м. Южноукраїнськ	$1,6 \cdot 10^{-2}$
с. Бузьке	$2,4 \cdot 10^{-2}$
снт. Арбузинка	$2,9 \cdot 10^{-2}$
с. Костянтинівка	$2,3 \cdot 10^{-2}$
Середнє значення	$(2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$

Результати радіометрії проб атмосферного повітря в цих населених пунктах вказали, що вміст ^{106}Ru значно підвищився, досягнувши величини 0,03 Бк/м³. Цей β -випромінюючий радіонуклід в опадах з атмосфери було зафіксовано також у м. Южноукраїнську Миколаївської області та у прилеглих населених пунктах (табл. 4.3.3). Середнє значення вмісту ^{106}Ru в опадах з атмосфери складало $4,1 \pm 0,2$ Бк/(місяць*м²).

Таблиця 4.3.3 – Результати радіометрії проб опадів з атмосфери в окремих населених пунктах Миколаївської області під час перенесення радіоактивної хмари з ^{106}Ru у вересні 2017 р.

Населений пункт	Загальна бета-активність, Бк/(місяць* м^2)	Вміст ^{137}Cs , Бк/(місяць* м^2)	Вміст ^{106}Ru Бк/(місяць* м^2)
м. Южноукраїнськ	13,8±3,0	1,1±0,2	4,1±0,2
с. Бузьке	12,9±3,5	0,9±0,1	3,9±0,1
сmt. Арбузинка	13,4±2,6	1,1±0,2	4,1±0,2
с. Костянтинівка	14,7±3,0	1,3±0,3	4,3±0,3
Середнє значення	13,9±1,8	1,0±0,2	4,1±0,2

У м. Миколаєві такий контроль не проводився, тому інформація про вміст рутенію-106 в атмосферному повітрі та в атмосферних опадах відсутня. Вважаємо, що цей факт є показовим відносно того, що радіоекологічний моніторинг атмосферного повітря під час підвищених ризиків виникнення надзвичайної ситуації на АЕС, як це є під час військових дій, потрібно розширити до обов'язкової радіометрії проб опадів з атмосфери та, при можливості – радіометрії проб атмосферного повітря.

Висновки до четвертого розділу

У період воєнних дій у 2022-24 рр. потужність ефективної дози атмосферного повітря у м. Миколаєві складала рівні 0,12±0,03 мкЗв/год, вздовж узбережжя Бузького лиману та р. Інгул в межах міста рівень потужності ефективної дози складав 0,10±0,03 мкЗв/год.

У населених пунктах – постах контролю 30-км зони Південноукраїнської АЕС – потужність ефективної дози дорівнювала 0,12±0,02 мкЗв/год при розкиді від 0,09 до 0,15 мкЗв/год. Цей розкид значень обумовлений геологічними особливостями Миколаївщини з виходом на поверхню у центрі та на півночі

області кристалічних порід з підвищеним вмістом продуктів ділення уран-радієвого ряду. У порівнянні з даними моніторингу цих територій під час зняття «нульового» фону району Південноукраїнської АЕС встановлено, що у м. Миколаєві та у населених пунктах Миколаївської області у період воєнних дій величини потужності ефективної дози атмосферного повітря не виходили за межі коливань природного радіаційного фону.

Загальна бета-активність опадів з атмосфери у м. Миколаєві у 2023 і 2024 рр. складала в середньому $12,9 \pm 3,1$ Бк/(місяць* m^2). Вміст ^{137}Cs у цих опадах складав, у середньому, $1,4 \pm 0,3$ Бк/(місяць* m^2), що відповідає природним рівням опадів з атмосфери.

Під час пересування в атмосферному просторі України радіоактивної хмари з ^{106}Ru у вересні 2017 р. середнє значення його вмісту у повітрі населених пунктів на півночі Миколаївської області складало $(2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$ Бк/ m^3 . Загальна бета-активність опадів з атмосфери зросла до $13,9 \pm 1,8$ Бк/(місяць* m^2), активність ^{106}Ru складала $4,1 \pm 0,2$ Бк/(місяць* m^2). В пробах атмосферного повітря вміст ^{106}Ru складав $0,03$ Бк/ m^3 . При цьому потужність ефективної дози атмосферного повітря не змінилася. Це вказує, що під час підвищених ризиків виникнення надзвичайної ситуації на АЕС, як це є під час військових дій, радіоекологічний моніторинг атмосферного повітря потрібно розширити до обов'язкової радіометрії проб опадів з атмосфери та, при можливості – радіометрії проб атмосферного повітря. Вимірювання потужності ефективної дози атмосферного повітря разом з радіометрією проб опадів з атмосфери та атмосферного повітря дозволить вчасно реагувати на можливі зміни радіонуклідного складу атмосферного повітря як від гамма-випромінюючих радіонуклідів, так і від чистих бета-випромінюючих радіонуклідів.

Матеріали досліджень за цим розділом частково висвітлено у наукових публікаціях [19-21, 75, 77, 78, 80, 84, 85].

РОЗДІЛ 5. УЗАГАЛЬНЕННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ SMART-СИСТЕМИ ЕКОЛОГО-РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АГЛОМЕРАЦІЙ

5.1. Узагальнення досліджень та виявлені невирішені питання еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря в агломераціях спостережень

За результатами проведених досліджень на території Миколаївській міської агломерації та агломерацій інших територіальних громад Миколаївської області встановлено першорядну роль підприємств енергетики, теплогенеруючих підприємств, інших промислових підприємств (олійноекстракційної, будівельної галузі) у викидах атмосферних поллютантів стаціонарними джерелами викиду. За об'ємами викидів на першому місці виявилися викиди діоксиду азоту, потім оксиду вуглецю, діоксиду сірки, тверді пилові частинки.

Для Миколаївської області доведено, що вплив на стан атмосферного повітря відносно забруднення діоксидом сірки, азоту, леткими органічними сполуками здійснюють підприємства енергетики, виробничі підприємства. Також встановлено, що серед усіх стаціонарних джерел викиду у Миколаївській області основний об'єм викидів приходить на стаціонарні джерела, які розташовані у м. Миколаєві.

Для Миколаївської міської агломерації серед атмосферних поллютантів перше місце за об'ємом викидів стаціонарними джерелами належить пилу (від 21 до 45%) та оксиду вуглецю (від 24 до 51%); друге місце займають викиди діоксиду азоту (від 12 до 25%), а третє місце належить викидам діоксиду сірки (5-16 %).

Стаціонарні джерела викидів у м. Миколаєві пов'язані з діяльністю підприємств газотранспортної і газорозподільної мережі ТОВ «Оператор газотранспортної системи України», АТ «Миколаївгаз», теплогенеруючі підприємства ОКП «Миколаївоблтеплоенерго», інші підприємства: «Південьцемент», «Екотранс», ТОВ «Миколаївський глиноземний завод».

Найбільші за об'ємом викиди забруднюючих речовин у 2024 р. (383,17 т) здійснено ТОВ «Оператор газотранспортної системи України». Об'єм викидів у 2024 р. склав 383,166 т, що на 30,39 т більше за показник викиду у 2023 р. На підприємство теплогенеруючої мережі м. Миколаєва – ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» приходилося у 2024 р. 193,72 т викидів, а на підприємство ТОВ «Екотранс» - 162,87 т викидів атмосферних поллютантів на рік.

Для Південноукраїнською територіальної громади підприємствами – забруднювачами атмосферного повітря – є ВП «Південноукраїнська АЕС» (філія НАЕК «Енергоатом»), а також пов'язані з нею інфраструктурні об'єкти, зокрема підприємства теплоенергетики (котельні), які забезпечують функціонування промислової зони та міста. Викиди хімічних (нерадіоактивних) речовин у повітря Південноукраїнською АЕС (ПАЕС) за період 2023–2025 років мали стабільний рівень, який був значно нижчим за встановлені державою нормативи.

Встановлено, що для більшості територіальних громад Миколаївщини: 1) найбільші об'єми викидів атмосферних поллютантів зі стаціонарних джерел приходяться на підприємства газотранспортної системи та підприємства теплоенергетики; 2) з 2022 р. об'єми викидів атмосферних поллютантів зі стаціонарних джерел зменшилися від 2 до 11 разів. Кількість викидів забруднюючих речовин і парникових газів прямо пропорційна кількості підприємств, які здійснюють ці викиди: для Південноукраїнської територіальної громади (2 підприємства) – 36,9 т, а для Миколаївської територіальної громади (79 підприємств) – 1432,4 т.

Валовий викид хімічних сполук від громадського автотранспорту міста Миколаєва склав 4905,7 тис. т, а за окремими поллютантами: за CO – 203,67 тис. т, NO₂ – 22,25 тис. т, SO₂ – 1,02 тис. т, неметанові леткі органічні речовини - 32,63 тис. т, метан - 0,76 тис. т, NO – 0,09 тис. т, пил – 1,73 тис. т, CO₂ – 4643,54 тис. т, бензапірен – 0,01 тис. т.

Установлено, що викиди атмосферних поллютантів громадським автотранспортом у містах Миколаїв та Південноукраїнськ близькі за об'ємами викидів оксиду вуглецю (78-87%), діоксиду азоту (10-12%), діоксиду сірки (менше 1%), але відрізняються за викидами неметанових летких органічних сполук, які для м. Миколаєва складають 12%, а для м. Південноукраїнська 2%. Це пояснюється різницею інфраструктури громадського транспорту і меншою кількістю у громадському транспорті м. Південноукраїнська автотранспорту з дизельними ДВЗ, що характеризуються більшими об'ємами викидами НЛОС.

У досліджуваному регіоні Миколаївської міської агломерації місто Миколаїв розташовано на півострові, утвореному злиттям двох річок – Інгулу та Південного Бугу, зі сторони Чорного моря омивається Бузьким лиманом. Завдяки сприятливому географічному розташуванню Бузький лиман інтенсивно використовувався до російсько-української війни 2022 р. як транспортна магістраль з високо розвиненою портовою галуззю регіону. Миколаїв стоїть на перетині важливих магістралей (Н-24, М-14, Н-11, Н-14), які є ключовими автомобільними шляхами державного значення, що забезпечують транспортне сполучення Миколаївської області та півдня України, з'єднують Миколаїв з іншими регіонами (Київ, Кропивницький, Одеса, Дніпро), а також проходять через важливі райони, що забезпечувало економічний зв'язок. На першому місці виступав експорт зернових, олійних культур та продуктів їх переробки.

При цьому у довоєнні часи інтенсивність руху на підходах до міста могла сягати кількох тисяч одиниць вантажного транспорту на добу, особливо в літньо-осінній період. Визначено, що у весняно-осінній період, у пікові періоди (після жнив) кількість багатотонажних зерновозів становило від 500 до 1000 вантажівок на добу. Виконані розрахунки викидів атмосферних поллютантів двигунами внутрішнього згорання цього транзитного вантажного автотранспорту при врахуванні, що кількість вантажівок з ДВЗ на дизельному паливі складала не менше 75% від об'єму вантажівок, свідчили, що валовий об'єм викидів у повітря хімічних поллютантів від двигунів внутрішнього

згорання транзитного вантажного транспорту, задіяного у зерновій логістиці до воєнних дій у м. Миколаєві, становив, тис. т: CO – 8,02; NO₂ – 2,01; SO₂ – 0,21; NO – 0,006; пил – 0,16; неметанові леткі органічні речовини – 1,28; CO₂ – 130,49.

Додатковий викид атмосферних поллютантів вантажним транзитним автотранспортом у м. Миколаєві становив: 28% для CO, 28% - для НЛО, 45% для викидів NO₂, 41% - для NO, 48% - для пилу, 16% - для SO₂, що більше відповідних показників для м. Південноукраїнська від 2 до 5 разів. При цьому для обох міст – міст, де функціонують потужні промислові підприємства енергетичної галузі, теплоенергетики, внесок транспорту у викиди атмосферних поллютантів складала 80-85%. Викиди парникових газів (CO₂) вантажним транзитним транспортом додають не менше 10% до їхніх викидів громадським автотранспортом міст.

Як зазначено у завданнях роботи, при аналізі стану атмосферного повітря у міській агломерації головна увага була приділена спостереженням за пиловим забрудненням та за вмістом формальдегіду в атмосферному повітрі. Для цього у дисертації проаналізовано дані наземних спостережень на постах державної системи моніторингу атмосферного у м. Миколаєві за 2015-2024 рр. та результати постійних спостережень у 2021-2024 рр. за станціями індикативних вимірювань *Oxygen Air Fresh Max; Save EcoBot; Save Eco Sensor*. Такий комплексний підхід дозволив встановити певні закономірності та виявити тенденції у динаміці вмісту поллютантів в атмосферному повітрі міської агломерації. Встановлено, що найбільший внесок у формування забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва здійснює формальдегід (39-40%), фтористий водень (35-36 %). Істотними є також внески діоксиду азоту (7-8%), пилу. Встановлено, що середньомісячний рівень вмісту формальдегіду в атмосферному просторі м. Миколаєва у період 2015-2024 рр. коливався у межах 8,08–19,20 мкг/м³, розмах варіювання концентрацій дрібнодисперсного пилу PM_{2,5} становив від 3 до 13 мкг/м³, а пилу PM₁₀ становив від 12 до 40 мкг/м³.

Головною тенденцією динаміки зміни концентрацій пилю, HF, NO₂, CH₂O впродовж року у довоєнний час (2015-2021 рр.) було збільшення їхніх концентрацій у другій половині року та хронічне перевищення середньодобових гранично-допустимих значень. Це пов'язано з сезонною динамікою збільшення у другій половині року обсягу вантажних авто, задіяних у зерновій логістиці. Також цьому сприяють метеорологічні умови: безвітря або досить слабка (0-1 м/с) і помірно слабка швидкість вітру (2-3 м/с), що часто у літняні місяці, не сприяють інтенсивному розсіюванню шкідливих домішок, які надходять з викидними газами автотранспорту. Тому цей метеорологічний фактор також потрібно враховувати при оцінці забруднення повітряного простору у м. Миколаєві.

За величиною КІЗА (більше 10) рівень забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва є високим. Встановлено тенденцію до зростання забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва з середньорічним темпом зростання 0,5 ($R^2=0,92$), який свідчить про високу ймовірність досягнення дуже високого рівня забруднення повітря.

Показано, що у період воєнних дій у 2022-24 рр. потужність ефективної дози атмосферного повітря у м. Миколаєві складала рівні $0,12 \pm 0,01$ мкЗв/год; у населених пунктах – постах контролю 30-км зони Південноукраїнської АЕС – $0,12 \pm 0,02$ мкЗв/год при розкиді від 0,09 до 0,15 мкЗв/год. Цей розкид значень обумовлений геологічними особливостями Миколаївщини з виходом на поверхню у центрі та на півночі області кристалічних порід з підвищеним вмістом продуктів ділення уран-радієвого ряду. У порівнянні з даними моніторингу цих територій під час зняття «нульового» фону району Південноукраїнської АЕС встановлено, що у м. Миколаєві та у населених пунктах Миколаївської області у період воєнних дій величини потужності ефективної дози атмосферного повітря не виходили за межі коливань природного радіаційного фону.

Загальна бета-активність опадів з атмосфери у м. Николаєві у 2023 і 2024 рр. складала в середньому $12,9 \pm 3,1$ Бк/(місяць* m^2). Вміст ^{137}Cs у цих опадах складав, у середньому, $1,4 \pm 0,3$ Бк/(місяць* m^2), що відповідає природним рівням опадів з атмосфери.

Під час пересування в атмосферному просторі України радіоактивної хмари з ^{106}Ru у вересні 2017 р. середнє значення його вмісту у повітрі населених пунктів на півночі Миколаївської області складало $(2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$ Бк/ m^3 . Загальна бета-активність опадів з атмосфери зросла до $13,9 \pm 1,8$ Бк/(місяць* m^2), активність ^{106}Ru складала $4,1 \pm 0,2$ Бк/(місяць* m^2). В пробах атмосферного повітря вміст ^{106}Ru складав $0,03$ Бк/ m^3 . При цьому потужність ефективної дози атмосферного повітря не змінилася. Це вказує, що під час підвищених ризиків виникнення надзвичайної ситуації на АЕС, як це є під час військових дій, радіоекологічний моніторинг атмосферного повітря потрібно розширити до обов'язкової радіометрії проб опадів з атмосфери та, при можливості – радіометрії проб атмосферного повітря. Вимірювання потужності ефективної дози атмосферного повітря разом з радіометрією проб опадів з атмосфери та атмосферного повітря дозволить вчасно реагувати на можливі зміни радіонуклідного складу атмосферного повітря як від гамма-випромінюючих радіонуклідів, так і від чистих бета-випромінюючих радіонуклідів.

В результаті досліджень виявлено низку питань, які бажано розв'язати, щоб вдосконалити систему екологічного моніторингу атмосферного повітря у міській агломерації:

1. розширити систему моніторингу через розташування станцій індикативних вимірювань вздовж руху автотранспорту для населених пунктів, в яких значний внесок у забруднення атмосферного повітря здійснюють викиди транзитного вантажного автотранспорту;

2. задіяти методи моделювання для оперативного оцінювання дозового навантаження на населення від газоаерозольних викидів АЕС;

3. підвищувати точність спостережень за допомогою станцій індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі;

4. визначити контрольний рівень потужності ефективної дози для початку аспіраційного відбору проб повітря при аварійному викиді радіонуклідів.

Ці питання розглянуто у наступних підрозділах роботи.

5.2. Моделювання формування дозового навантаження на людину від аварійного газоаерозольного викиду радіонуклідів АЕС

Прогнозування радіаційного стану на території в зоні впливу газоаерозольних викидів АЕС було актуально до воєнних дій [35, 128], а особливо актуалізувалося під час воєнних дій на території нашої держави [58, 59, 189]. Це пов'язано з підвищенням ризиків радіоекологічних аварій, загрози зміни радіаційної ситуації, потрапляння радіонуклідів в атмосферне повітря внаслідок постійних обстрілів з боку РФ ракетами та безпілотниками територій поблизу АЕС [35, с.45].

Одним з методів, які дозволяють оперативно прогнозувати радіаційну ситуацію і радіаційне навантаження на людину, є метод, заснований на визначенні коефіцієнтів переходу від радіаційних характеристик джерела іонізуючого випромінювання – до ефективної дози опромінення людини [110]. Для оперативної орієнтації у рівнях радіаційного навантаження на населення в якості таких коефіцієнтів використовують нормалізовані показники ефективної дози – ефективні дози, віднесені до щільності випадіння радіонуклідів (в одиницях Зв/(Бк/м²)). Ці показники мають назву дозової ціни джерела випромінювання [168]. Тому одне з завдань роботи полягало у визначенні дозової ціни газоаерозольних викидів АЕС.

Спочатку представимо камерну модель перенесення радіонуклідів при газоаерозольних викидах з АЕС (рис. 5.4.1).

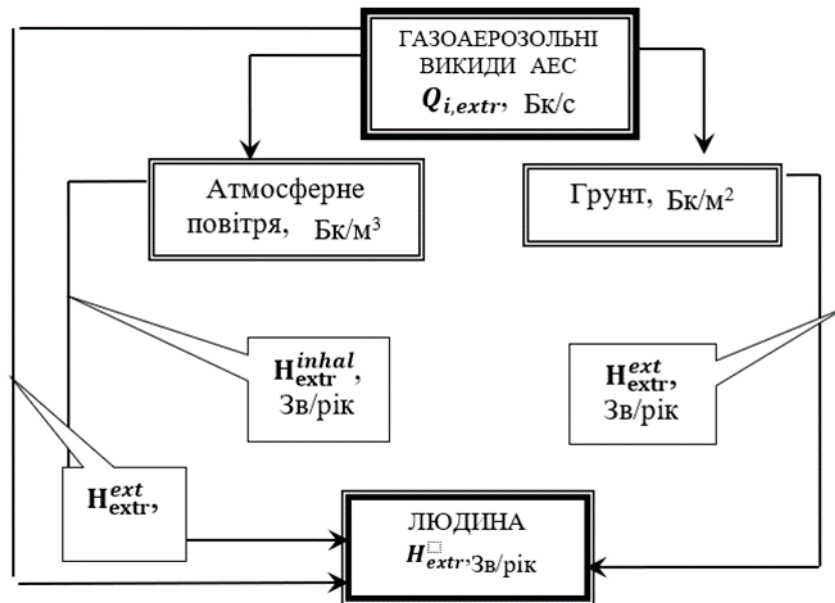


Рисунок 5.2.1 – Камерна модель формування радіаційного навантаження на людину від радіонуклідів, які надходять у довкілля з газоаерозольними викидами АЕС.

Позначення: H_{extr} - річна ефективна доза опромінення людини внаслідок газоаерозольних викидів радіонуклідів; H_{extr}^{ext} - річна ефективна доза зовнішнього опромінення людини; H_{extr}^{inhal} - річна ефективна доза внутрішнього опромінення людини при інгаляційному надходженні радіонуклідів.

На цьому рисунку представлено камерну модель перенесення радіонуклідних полютантів, за якою оцінюються шляхи формування ефективної дози опромінення людини від радіонуклідів, що надходять у довкілля з газоаерозольними викидами АЕС.

З рисунку видно, що окрім ефективної дози зовнішнього опромінення людини від хмари викидів (H_{extr}^{ext}) і зовнішнього опромінення від радіонуклідів, що випали на землю, формується доза внутрішнього опромінення людини через інгаляційне (H_{extr}^{inhal}) надходження радіонуклідів. Тому враховуються всі ці шляхи, і повна ефективна доза опромінення людини від викинутих радіонуклідів в результаті газоаерозольних викидів АЕС (H_{extr}) представляє собою суму річних ефективних доз:

$$H_{extr} = H_{extr}^{ext} + H_{extr}^{inhal} \quad (5.2.1.)$$

Для визначення нормалізованих ефективних доз від газоаерозольних викидів спочатку встановлювали показники, які виступали базовими радіаційними характеристиками цих джерел. Визначення нормалізованих ефективних доз опромінення людини здійснювали за формулою:

$$d_{pr_{i,n}} = \underline{H_{i,n}} = \frac{H_{i,n}}{BRD_{i,n}} \quad (5.2.2)$$

де $d_{pr_{i,n}}$ – дозова ціна (*dose price*) джерела n іонізуючого випромінювання за радіонуклідом i , (Зв/рік)/(Бк/м³), залежно від $BRD_{i,n}$; $H_{i,n}$ – річна ефективна доза від радіонукліду i від джерела випромінювання n , Зв/рік; $BRD_{i,n}$ – базова радіаційна характеристика джерела n іонізуючого випромінювання, визначена за радіонуклідом i , Бк/м³.

$BRD_{i,n}$ – це показник, який характеризує радіонуклідне забруднення об'єкта довкілля, що стоїть на початку дозоформуючого ланцюга та враховує інші чинники, які модифікують вплив радіонуклідного забруднення цього об'єкта на людину.

Показник $d_{pr_{i,n}}$ за своїм змістом відображує річну ефективну дозу опромінення від радіонукліду i , приведену до одиниці впливу джерела n . Через це його названо «дозовою ціною джерела n за радіонуклідом i ». Аналогічне поняття «дозова ціна аварійного забруднення» застосовано для оцінки радіаційного навантаження за усіма шляхами надходження «аварійно-чорнобильських» радіонуклідів до людини, у матеріалах [168]. При такому підході при надходженні у довкілля суміші радіонуклідів має встановлюватися базовий (реперний) радіонуклід BR (або декілька) – той, який мав більшу вагомість у величині сумарної дози і в об'ємі газоаерозольного викиду.

Для визначення базового радіонукліду проаналізовано структуру газоаерозольних викидів ПАЕС за даними валового викиду радіонуклідів з газоаерозольними викидами [162]. Результати аналізу (рис. 5.3.2) свідчили, що

у загальному радіонуклідному складі газоаерозольних викидів АЕС (не враховуючи викидів тритію) викиди ^{131}I складають до 49%.

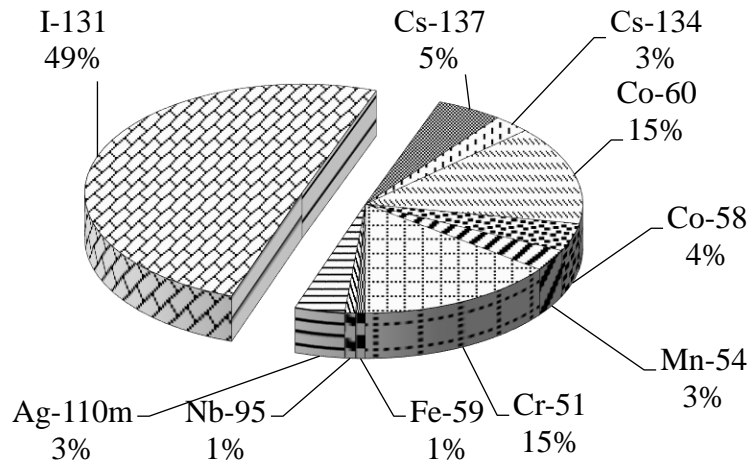


Рисунок 5.2.2 – ^{131}I у радіонуклідному складі газоаерозольних викидів ПАЕС

Середньорічні значення викидів ^{131}I у повітря знаходилися в межах 78 - 400 Бк/с, при середньому значенні 286 ± 46 Бк/с.

Середня величина фактору метеорологічного розбавлення для територій на відстані 2500 м (найближчий населений пункт) при середньорічній швидкості вітру $v=3.5$ м/с склала $(6,1 \pm 1,6) \cdot 10^{-8}$ с/м³, що повністю підтверджує отримані раніше значення $(5,9 \pm 1,7) \cdot 10^{-8}$ с/м³ [153].

При хронічних газоаерозольних викидах, коли потужність викиду не залежить від часу, користуємося стаціонарною камерною моделлю для обчислення об'ємної концентрації:

$$C_{131I}(r) = Q_{131I} \times F(r), \quad (5.2.3)$$

де $C_{131I}(r)$ – об'ємна активність ^{131}I у повітрі на відстані r від джерела викиду; Q_{131I} – об'єм газоаерозольного викиду ^{131}I у суміші радіонуклідів, Бк/с; $F(r)$ – фактор метеорологічного розбавлення для відстані r від джерела викиду, с/м³.

Фактор метеорологічного розбавлення для територій радіусом 2500 м від ПАЕС взято за матеріалами [168] і наведено на у таблиці 5.2.3.

Таблиця 5.2.3. Фактор метеорологічного розбавлення для територій 2500 м від ПАЕС за 16 румбовою системою, 10^{-8}

16- румбова система	ПнПнСх	ПнСх	СхПдСх	Сх	СПдСх	ПдСх	ПдСхСх	Пд
	4,5	5,9	5,9	8,2	6,5	6	5,4	6,5
	ПдПдЗ	ЗПдЗ	ПдЗЗ	З	ЗПНЗ	ПнЗ	ПнПнЗ	Пн
	3,7	2,4	2,4	4,3	4,4	6,9	6,4	8,8

Розрахована об'ємна активність ^{131}I у приземному шарі території радіусом 2500 м навколо ПАЕС склала величини з діапазону $(7 - 470) \cdot 10^{-7}$ Бк/м³. Як видно, для ^{131}I отримано діапазон значень, нижні і верхні границі якого відрізняються на два порядки. Це пояснюється сприятливими для цих місць метеорологічними умовами та суттєвою зміною об'ємів викидів з вентиляційної труби АЕ під час проведення ремонтних робіт обладнання блоків АЕС.

На основі цих даних розраховано значення середньої індивідуальної ефективної дози при інгаляційному надходженні суміші радіонуклідів до людини, які змінювалися в діапазоні $(10 - 250) \cdot 10^{-12}$ Зв/рік. Структуру цієї дози за внесками радіонуклідів наведено на рис. 5.4.3: ^{131}I – 63%, ^{60}Co – 17%, $^{110\text{m}}\text{Ag}$ – 7%, ^{137}Cs – 6%, ^{134}Cs – 5%, ^3H – 1%, на усі інші – в цілому 1%.

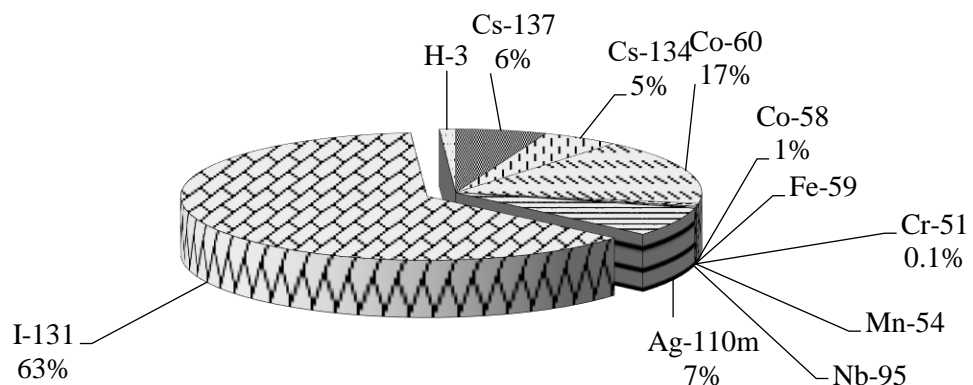


Рис. 5.2.3. Структура середньої індивідуальної ефективної дози від інгаляційного надходження суміші радіонуклідів

Визначення дози зовнішнього опромінення людини в результаті осадження радіоїоду на поверхні ґрунту здійснено для трьох варіантів: при максимальному ($13,5 \cdot 10^{12}$ Бк/рік), середньому ($2,96 \cdot 10^{12}$ Бк/рік) та мінімальному ($0,2 \cdot 10^{12}$ Бк/рік) об'ємі викиду ^{131}I з ПАЕС та при коефіцієнті осадження йоду $2 \cdot 10^{-2}$. Розрахунки свідчили, що доза зовнішнього опромінення людини від радіоїоду склала: за максимальним значенням 5,7 мкЗв/рік, мінімальним – 0,1 мкЗв/рік, середнім – 1,0 мкЗв/рік.

Через те, що об'ємна активність ^{131}I у повітрі, а також ефективна доза опромінення людини від інгаляційного і перорального надходження ^{131}I є функціями фактору метеорологічного розбавлення і залежать від відстані, неважко визначити ці величини доз для територій, розташованих на інших відстанях від АЕС.

При розрахунках прийнято, що залежність фактору метеорологічного розбавлення від відстані r має вигляд: $F(r) = F(2500) \times \sqrt{r}$. Тоді (5.4.3) буде мати вигляд:

$$C_{131I}(r) = Q_{131I} \times F(2500) \times \sqrt{r} \quad (5.2.4)$$

Відповідним чином визначення інгаляційної ефективної дози можна представити у вигляді:

$$H_{131I}^{inhal}(r) = C_{131I}(r) \times V = Q \times F(2500) \times \sqrt{r} \times V \quad (5.2.5)$$

де V – референтний об'єм вдихування повітря людиною ($\text{м}^3/\text{с}$)

На рисунку 5.2.4 відображено результати розрахунку величини середньої індивідуальної ефективної дози ^{131}I для населення, що мешкає на іншій відстані від ПАЕС.

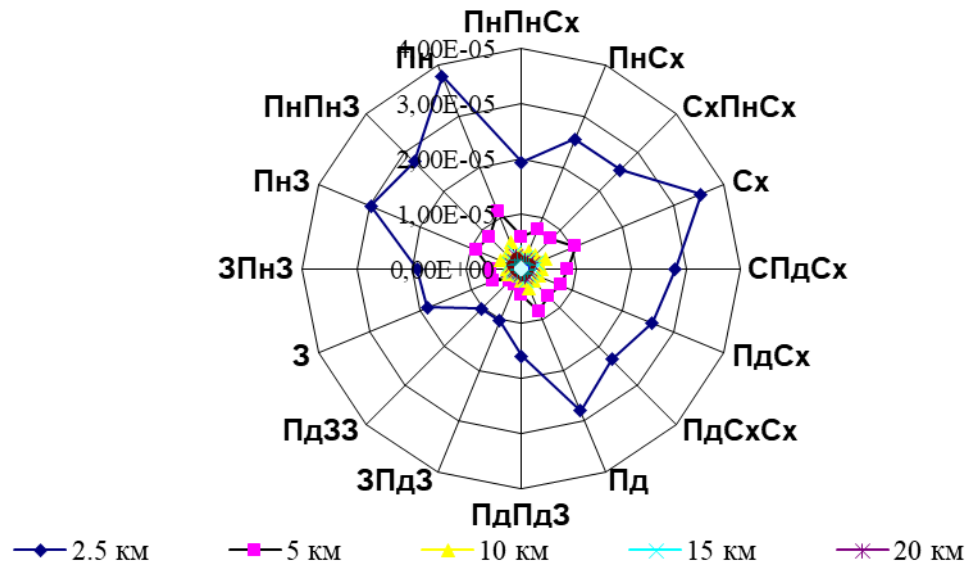


Рис. 5.2.4. Кругова діаграма ефективної дози від ^{131}I для територій, які віддалені від ПАЕС на відстань від 2,5 км до 150 км (для 16 румбів напрямку вітру)

Як видно з рисунку 5.4.4, для територій, розташованих у 30^м км зоні навколо ПАЕС, величина середньої індивідуальної дози знижується до одиниць $n \cdot 10^{-6}$ Зв, а для територій поза цієї зоною – до $n \cdot 10^{-8}$ Зв.

Знаючи базовий радіонуклід (^{131}I) можна визначити ефективну дозову ціну газоаерозольних викидів ($d_{pr}^*_{extr}$), як зважену суму відповідних дозових цін за окремими радіонуклідами:

$$d_{pr}^*_{extr} = d_{pr}_{BR,extr} + \sum_{i \neq BR} (d_{pr}_{i,extr} \times \frac{BRD_{i,extr}}{BRD_{BR,extr}}) \quad (5.2.6)$$

де $d_{pr}_{BR,extr}$ – дозова ціна газоаерозольних викидів за радіонуклідом BR ; BRD_{BR} – базова радіаційна характеристика, яка визначена за радіонуклідом BR , який у нашому випадку є ^{131}I .

Такий підхід дозволяє прогнозувати ефективну дозу опромінення людини від суміші радіонуклідів за активністю одного радіонукліду:

$$H_n^{inhal} = d_{pr}_{BR}^* \times BRD_{BR} \quad (5.2.7)$$

де H^{inhal} – річна ефективна доза внутрішнього опромінення людини від суміші радіонуклідів газоаерозольних викидів з АЕС, Зв/рік.

Нами визначалися дозові ціни газоаерозольних викидів АЕС для території радіусом 2,5 км від ПУ АЕС.

Вираз для визначення дозових цін газоаерозольних викидів АЕС має вигляд:

$$d_{pr_i} = \frac{H_{i,extr}}{BRD_{i,extr}} = \frac{H_{i,extr}}{Q_{i,extr}} \quad (5.2.8)$$

Отримаємо ефективні дозові ціни газоаерозольних викидів АЕС відповідно за інгаляційним шляхом та при зовнішньому опроміненні:

$$\begin{aligned} d_{pr_{extr}^{*inhal}} &= d_{pr_{BR,extr}^{inhal}} + \sum_{i \neq BR} (d_{pr_{i,extr}} \times \frac{Q_{i,extr}}{Q_{BR,extr}}) \\ d_{pr_{extr}^{*ext}} &= d_{pr_{BR,extr}^{ext}} + \sum_{i \neq BR} (d_{pr_{i,extr}} \times \frac{Q_{i,extr}}{Q_{BR,extr}}) \end{aligned} \quad (5.2.9)$$

де $Q_{BR,extr}$ – викид базового радіонукліду в атмосферне повітря, Бк/с.

Обчислення, які проведені відносно базового радіонукліду ^{131}I для території на відстані 2,5 км від АЕС показали:

- величини ефективної дозової ціни $d_{pr_{extr}^{*ext}}$ на рівні 0,01 – 0,5 мкЗв/рік на 1 Бк/с викиду ^{131}I ,
- величини ефективної дозової ціни $d_{pr_{extr}^{*inhal}}$ на рівні (0,07 – 1,05) мкЗв/рік на 1 Бк/с викиду ^{131}I .
- величини ефективної дозової ціни $d_{pr_{extr}^*}$ на рівні (0,01 – 1,05) мкЗв/рік на 1 Бк/с викиду ^{131}I .

Таким чином, математична модель для прогнозування ефективної дози опромінення людини через хронічні газоаерозольні викиди радіонуклідів з АЕС:

$$H_{extr} = d_{pr_{extr}^*} \times Q_{^{131}\text{I},extr} \quad (5.2.10)$$

де $Q_{^{131}\text{I},extr}$ – потужність викиду ^{131}I , Бк/с.

Для інших відстаней від АЕС маємо, враховуючи (5.4.3):

$$H_{extr}(r) = d_{pr}^*_{extr} (2500) \times Q_{131I,extr} \times \sqrt{r} \quad (5.2.11)$$

Це є математичною моделлю прогнозування ефективної дози опромінення людини через хронічні газоаерозольні викиди радіонуклідів з АЕС. Вона дозволяє швидко орієнтувати у рівнях індивідуальної та/або колективної дози опромінення людини на певній відстані від АЕС. BRD_i в цьому випадку виступатимуть викиди радіоїоду з АЕС ($Q_{131I,extr}$), а базовим/реперним BR_i радіонуклідом виступатиме ^{131}I : $BR_i = ^{131}I$.

Перевіримо надійність стохастичного прогнозування ефективної дози H_{extr} від газоаерозольних викидів радіонуклідів у районі ПУ АЕС (2,5 км від АЕС). При такому моделюванні невизначеністю характеризуються змінні величини $\frac{Q_{i,extr}}{Q_{BR,extr}}$, $Q_{131I,extr}$. Границі змін цих змінних взято як мінімальні і максимальні значення, визначені за результатами проведених досліджень і даних [160, 162].

Здійснюючи 100 випробувань моделі (5.2.7) при параметрах, значення яких випадковим чином вибиралися з їхніх інтервалів змін, отримаємо результати, які у вигляді гістограми наведено на рис. 5.2.4.

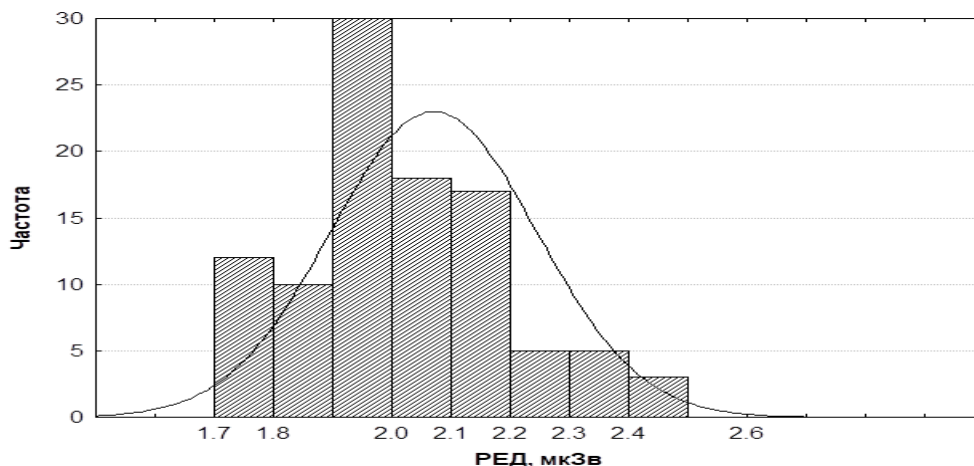


Рисунок 5.2.4 – Гістограма розподілу результатів моделювання формування річної ефективної дози H_{extr} у районі ПАЕС (2500 м від АЕС) внаслідок газоаерозольних викидів АЕС

Гістограма свідчить, що змодельований розподіл може відрізнятися від нормального. Це може свідчити про те, що у моделі деякі фактори є істотними. У даному випадку це очевидно: головний внесок в інгаляційну дозу від газоаерозольних викидів радіонуклідів здійснюють, крім ^{131}I , ^{60}Co та ^{137}Cs [52], тому рівномірний закон розподілу цих радіонуклідів практично відображується у закон розподілу дози.

Вищенаведені матеріали взято за основу при розробці алгоритму комп'ютерної програми «*Effective dose operational forecasting from radionuclides gas-aerosol emissions*» (Rademiss_Effdose).

1. Загальний вигляд моделі – це модель за формулою (5.2.11.)
2. Вихідними параметрами виступає об'єм викиду базового ^{131}I з газоаерозольними викидами АЕС.

5.3. Розширення можливостей станцій індикативних вимірювань у системі еколого-радіаційного моніторингу

5.3.1. Розрахунок поправочних коефіцієнтів для станцій індикативних вимірювань CH_2O

Аналіз результатів індикативних вимірювань показників якості атмосферного повітря у м. Миколаєві у 2021 р. за 6 станціями Oxugen Air Fresh Мах свідчив, що середньомісячний вміст формальдегіду коливався в межах 8,08–19,20 мкг/м^3 (ГДКс.д. - 3 мкг/м^3), концентрація $\text{PM}_{2,5}$ по місту в середньому дорівнювала 12,66 мкг/м^3 (ГДКс.д. – 25,00 мкг/м^3) та концентація PM_{10} у місті в середньому дорівнювала 22,12 мкг/м^3 (ГДКс.д. – 50,00 мкг/м^3).

Порівняння результатів всіх спостережень представлено у таблиці 5.3.1.1.

Таблиця 5.3.1.1 – Порівняння результатів фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р., мг/м³

Місяць спостережень	Фіксовані вимірювання*		Індикативні вимірювання**		Фонові індикативні вимірювання***	
	XX , мг/м ³	max, мг/м ³	XX , мг/м ³	max, мг/м ³	XX , мг/м ³	max, мг/м ³
Липень 2021 р.	0,073±0,007	0,010	0,015±0,004	0,034	0,014±0,010	0,031
Серпень 2021 р.	0,093±0,010	0,014	0,017±0,010	0,030	0,016±0,010	0,019
Вересень 2021 р.	0,008±0,011	0,010	0,015±0,006	0,029	0,014±0,010	0,017
Жовтень 2021 р.	0,005±0,009	0,011	0,015±0,005	0,019	0,015±0,010	0,014
Листопад 2021 р.	0,005±0,007	0,010	0,013±0,003	0,018	0,012±0,004	0,011
Грудень 2021 р.	0,0050±0,008	0,010	0,012±0,006	0,017	0,010±0,006	0,011
Січень 2021 р.	0,0052±0,009	0,010	0,012±0,004	0,015	0,011±0,005	0,011

* – за вимірюваннями на 4 стаціонарних пунктах спостережень,

** – за результатами індикативних вимірювань на 7 станціях Oxygen Air Fresh ,

*** – за результатами індикативних вимірювань на станції Oxygen Air Fresh «EcoRozum»

На стовбчикових діаграмах (рис. 5.3.1.1, 5.3.1.2) відображено результати (середні значення та максимальні значення відповідно) фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р.

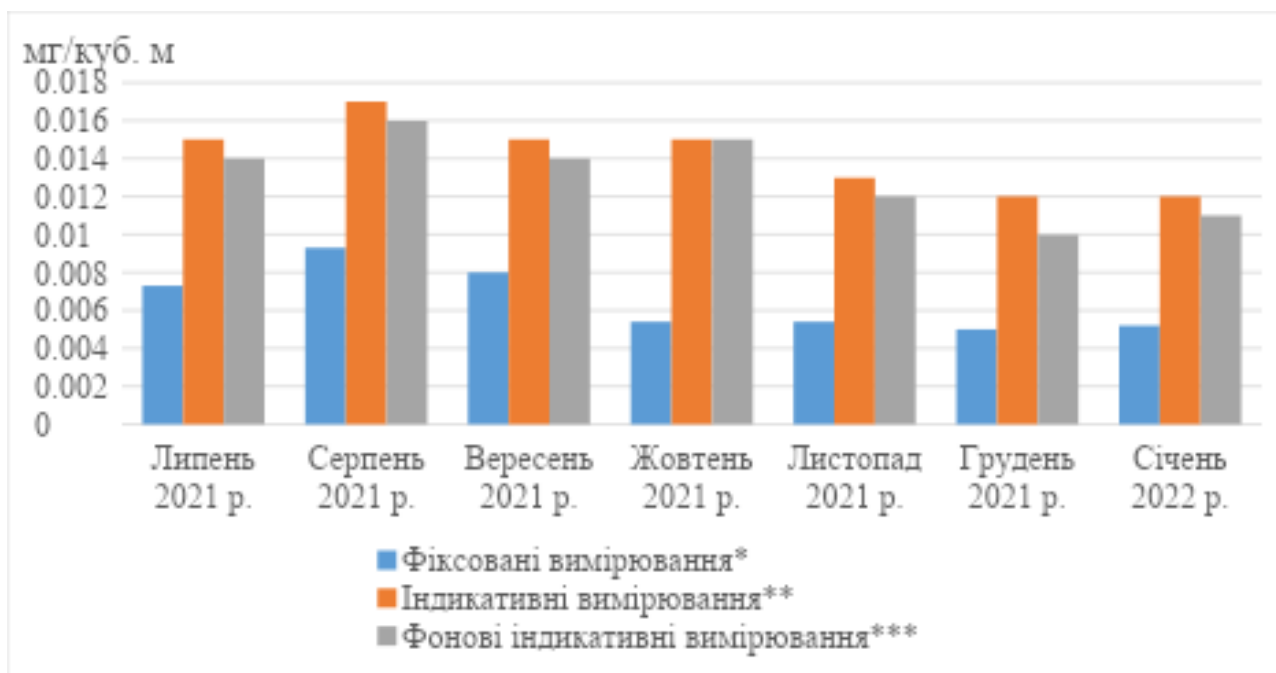


Рисунок 5.3.1.1 – Середньомісячні значення результатів фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р.



Рисунок 5.3.1.2 – Максимальні значення результатів фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р.

Як можна бачити з рисунків, за усередненими величинами результати індикативних вимірювань перевищують у 1,5-1,6 рази відповідні величини фіксованих вимірювань, а за максимальними значеннями навпаки: максимальні значення фіксованих вимірювань перевищують в 1,6-1,8 разів максимальні значення, які зафіксовано при індикативних вимірюваннях.

У вересні-листопаді 2023 р. проведено польовий експеримент. На стаціонарних постах 2, 4 державної системи моніторингу (Рис. 2.3.2.) здійснено вимірювання вмісту формальдегіду станцією Oxygen Air Fresh Max та здійснено порівняння з результатами лабораторних аналізів. Результати наведено у таблиці 5.3.1.2.

Таблиця 5.3.1.2 – Розраховані значення поправочних коефіцієнтів для станцій індикативних вимірювань Oxygen Air Fresh Max

Дата вимірювання	Результат фіксованого вимірювання, мг/м ³	Результат індикативного вимірювання, мг/м ³	Поправочний коефіцієнт
17.09.2023	0,024 ± 0,001	0,034 ± 0,001	0,705882
04.10.2023	0,019 ± 0,001	0,031 ± 0,001	0,612903
16.10.2023	0,021 ± 0,001	0,036 ± 0,001	0,583333
02.11.2023	0,018 ± 0,001	0,027 ± 0,001	0,666667
16.11.2023	0,021 ± 0,001	0,031 ± 0,001	0,677419
27.11.2023	0,020 ± 0,001	0,028 ± 0,001	0,714286
Усереднене значення			0,66 ± 0,05

Використання цього поправочного коефіцієнту може наблизити результати індикативних вимірювань до фіксованих вимірювань і дозволить масштабно

використовувати станції індикативних вимірювань у системі державного моніторингу атмосферного повітря при референтному рівні його забруднення.

Цей факт ще раз підтверджує, що при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований не тільки за допомогою організації фіксованих вимірювань, а має бути доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для здійснення індикативних вимірювань якості повітря.

Отримані близькі результати показників якості атмосферного повітря за усіма 7 станціями індикативних вимірювань вказують, що при виборі місця розташування такої станції у місті з великими транспортними потоками для здійснення фонових вимірювань показників якості атмосферного повітря така станція має розташована на великій відстані від дороги.

5.3.2. Визначення контрольного рівня потужності ефективної дози

Для швидкої орієнтації у радіаційній ситуації станції індикативних вимірювань визначають рівень потужності ефективної дози. У попередніх розділах показано, що основний об'єм (63%) газоаерозольних викидів АЕС складають викиди ^{131}I . Також радіоактивний йод є відповідальним за формування ефективної дози опромінення від інгаляційного надходження радіонуклідів людини при аварії з викидом радіонуклідних полютантів. Тому задача полягала у визначенні рівня потужності ефективної дози, який стане індикатором підвищення у повітрі рівня радіойоду до допустимих величин і, відповідно, про необхідність розпочати аспіраційний відбір проб повітря для точної ідентифікації радіонуклідного його складу.

Цю задачу вирішували за допомогою матеріалів спостережень за рівнем йоду-131 у повітрі м. Миколаєва у квітні-травні 1986 р. та рівнем потужності ефективної дози. Вимірювання потужності ефективної дози виконувалися в той час радіометром СРП-88Н. Відбір проб повітря здійснювали аспіраційним

методом, з послідуочим гамма-спектрометричним вимірюванням вмісту радіоїоду в озолених пробах повітряом.

Проаналізовані нами матеріали цих досліджень дозволили побудувати кореляційну залежність ($R^2=0,89$) між вмістом йоду-131 в атмосферному повітрі м. Миколаєва та величиною потужності ефективної дози (рис. 5.3.2.1).

Отримано лінію регресію:

$$P = 0,33 \times C_{131I} + 0,10$$

де P – потужність ефективної дози (мкЗв/год), C_{131I} – об’ємна активність ^{131}I у повітрі, Бк/куб.м.

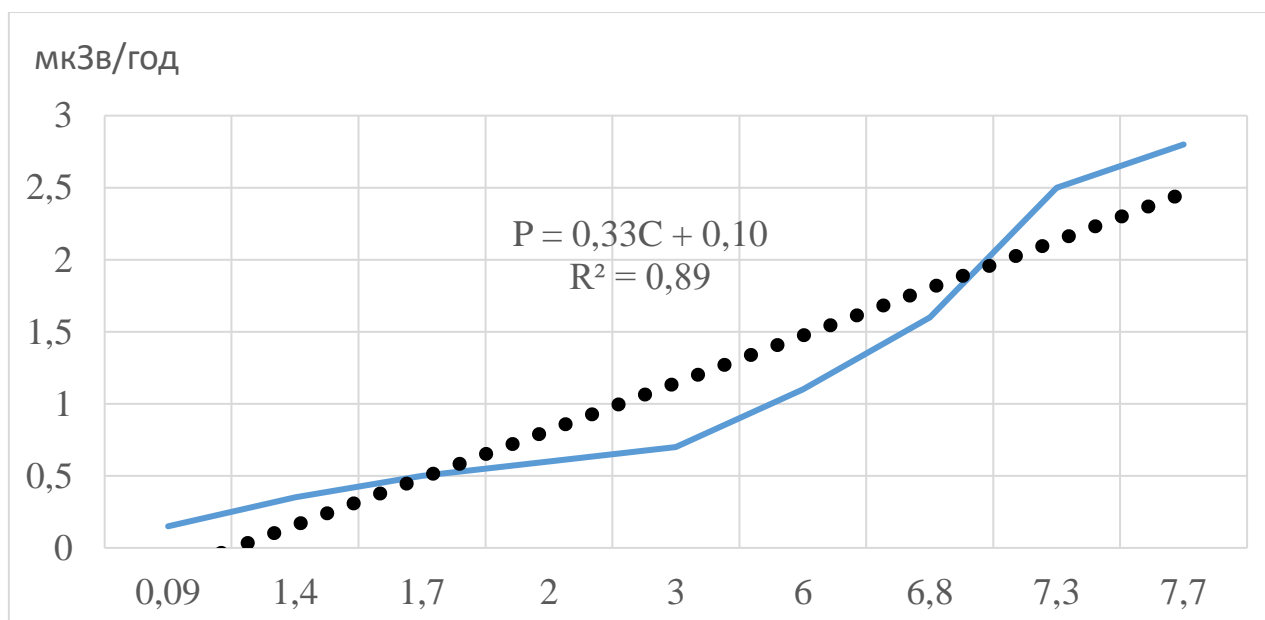


Рис. 5.3.2.1. Залежність між вмістом ^{131}I у повітрі м. Миколаєва та рівнем потужності ефективної дози, за даними [63]

З рівняння регресії маємо, що рівень потужності ефективної дози, який може свідчити про допустиму концентрацію радіоїоду у повітрі ($7,3 \text{ Бк/м}^3$) – $2,5 \text{ мкЗв/год}$. На наш погляд, можна рекомендувати рівень потужності ефективної дози $2,5 \text{ мкЗв/год}$ як контрольний для початку аспіраційного відбору проб повітря для точного визначення вмісту у повітрі радіонуклідів газоаерозольних викидів АЕС.

5.4. Пропозиції щодо Smart-системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря агломерацій

Для Миколаївської міської агломерації показано, що у повітряному просторі наявне хронічне перевищення гранично-допустимих концентрацій небезпечних поллютантів: формальдегід, фтористий водень, двоокис азоту, вуглекислий газ, бензапірен, пил. Особлива велика кратність перевищення нормативів характерна для формальдегіду, основним чинником чого виступає автотранспорт. При цьому, як показано у попередніх розділах, через автомагістралі Миколаївщини може курсувати на рівні 1000-1500 вантажівок на добу. Це пов'язано з перевезенням вантажу, в першу чергу зерна.

У воєнні роки забруднення атмосферного повітря, пов'язаного з викидами вантажним автотранспортом також було високим, адже через місто курсували воєнні машини. При таких масштабах курсуючих вантажівок кількість поллютантів, які викидаються у повітря на рік на кожні 10 км транзиту, складає: за чадним газом – більше 17,5 тон; за двоокисом азоту – близько 2 тон; за неметановими леткими органічними сполуками (в т.ч. формальдегід) – біля 5 тон.

Транзитні траси проходять безпосередньо через населені пункти (міста: Нова Одеса, Вознесенськ, Південноукраїнськ, Первомайськ, Баштанка, Новий Буг, Казанка тощо та ряд селищних населених пунктів), які не забезпечені, як в європейських країнах, жодними захисними бар'єрами, і ці поллютанти насичують повітря та потрапляють до легенів мешканців, осідають на сільськогосподарських землях тощо.

Існує проблема щодо забезпечення мешканців розташованих вздовж таких трас населених пунктів Smart-системою моніторингу атмосферного повітря, яка дозволяє в постійному он-лайн режимі здійснювати спостереження за: 1) вмістом дрібнодисперсних частинок PM10 і PM2,5, діоксиду азоту,

чадного газу, 2) вмістом формальдегіду, 3) потужністю ефективної дози (для окремих населених пунктів).

Smart-система представляє собою розміщення станцій індикативних вимірювань (станцій Save-Dnipro, станцій Eco-city тощо) у кожному населеному пункті (перед в'їздом та після) з під'єднанням станцій до онлайн-платформ SaveEcoBot , EcoCity , IQAir.

Для створення Smart-системи (рис. 5.4.1):

1. станції індикативних вимірювань формальдегіду калібруються відповідно до лабораторних вимірів вмісту CH_2O у повітрі,
2. станції індикативних вимірювань потужності ефективної дози калібруються відповідно до гранично-допустимого рівня ^{131}I у повітрі відкритої місцевості;
3. станції індикативних вимірювань розміщуються перед в'їздом у населений пункт та у населеному пункті в районі світлофора (де найбільший викид у повітря атмосферних полютантів);
4. для оперативного реагування на радіаційну загрозу: можливе під'єднання до станцій пробовідбірників атмосферного повітря з автоматичним включенням при перевищенні граничного значення потужності ефективної дози, можливе розміщення пробовідбірників опадів з атмосфери;
5. у територіальних громадах фокусується центр спостережень, доступ до електронних карт, а також можливе додаткове розташування відбору проб опадів з атмосфери та пробовідбірника опадів з атмосфери.

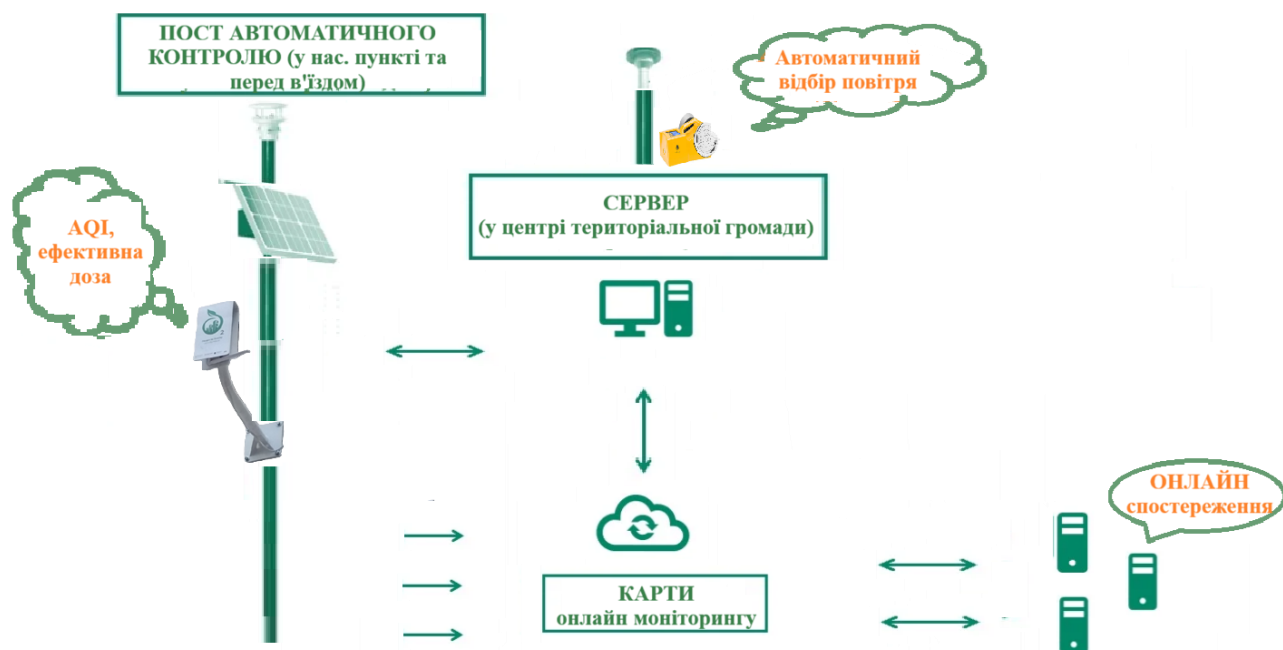


Рис. 5.4.1. Принципова схема Smart-системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря у населеному пункті, через який проходить автомагістраль

Розгортання у населених пунктах, які розташовані вздовж транспортних магістралей Миколаївщини, станцій Smart-системи дозволить кожному мешканцю:

1) в постійному онлайн режимі (на смартфонах, комп'ютерах) отримувати інформацію про рівні діоксиду азоту, чадного газу, формальдегіду, дрібнодисперсних частинок PM10 і PM2,5, потужності ефективної дози (в окремих пунктах) в атмосферному повітрі населених пунктів;

2) спостерігати про стан атмосферного повітря в населеному пункті на світовій карті моніторингу атмосферного повітря (типу eco-city.org.ua);

3) спостерігати за рівнем потужності ефективної дози опромінення;

Це надасть можливість громадам і місцевому самоврядуванню населених пунктів, через які проходять інтенсивні транспортні потоки, виробляти політику обмеження впливу цих потоків на населення та/або відшкодування завданої шкоди (наприклад, через введення екологічного податку на проїзд тощо). В умовах воєнної загрози викиду радіонуклідних полуютантів з АЕС це

дозволятиме швидко орієнтуватися у радіонуклідному складі атмосферного повітря та в оперативному введенні відповідних превентивних заходів.

В результаті буде вирішуватися питання стійкості громади до небезпечних поллютантів оточуючого середовища, в т.ч. під час воєнної екологічної загрози. Схематично це зображено на рис. 5.4.2.



Рисунок 5.4.2 – Схематичне зображення переваг від втілення Smart-системи екологічного моніторингу у населених пунктах, розташованих вздовж автомагістралей

Висновки до п'ятого розділу

Визначено питання, які можна розв'язати для вдосконалення системи радіаційно-екологічного моніторингу атмосферного повітря в агломераціях, які зазнають впливу стаціонарних, пересувних джерел та мають підвищений ризик впливу газоаерозольного викиду радіонуклідів з АЕС, в т.ч. через воєнну загрозу:

- розширити систему моніторингу через розташування станцій індикативних вимірювань вздовж руху автотранспорту для населених пунктів, в яких значний внесок у забруднення атмосферного повітря здійснюють викиди транзитного вантажного автотранспорту;

2. задіяти методи моделювання для оперативного оцінювання дозового навантаження на населення від газоаерозольних викидів АЕС;
3. підвищувати точність спостережень за допомогою станцій індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі;
4. визначити контрольний рівень потужності ефективної дози для початку аспіраційного відбору проб повітря при аварійному викиді радіонуклідів.

Розроблено математичну модель прогнозування ефективної дози опромінення людини через хронічні газоаерозольні викиди радіонуклідів з АЕС на основі теорії дозової ціни джерела випромінювання. Ця модель склала основу розробленого способу експрес-оцінювання індивідуальної та/або колективної ефективної дози опромінення людини на певній відстані від АЕС.

Представлено розрахований поправочний коефіцієнт для станцій індикативних вимірювань CH_2O . Використання цього поправочного коефіцієнту може наблизити результати індикативних вимірювань до фіксованих вимірювань і дозволить масштабно використовувати станції індикативних вимірювань у системі державного моніторингу атмосферного повітря при референтному рівні його забруднення.

Розраховано рівень потужності ефективної дози (2,5 мкЗв/год), який можна рекомендувати як контрольний для початку аспіраційного відбору проб повітря для точної орієнтації у вмісті у повітрі радіонуклідів газоаерозольних викидів АЕС.

Представлено пропозиції щодо розгортання Smart-системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря міських агломерацій та приміських зон, яка базується на використанні станцій індикативних вимірювань, для яких: 1) розширено можливості через розрахунок поправочного коефіцієнту для формальдегіду (CH_2O); 2) розраховано контрольне значення потужності ефективної дози для початку аспіраційного відбору проб повітря при аварійному викиді радіонуклідів. Це надасть можливість громадам і

місцевому самоврядуванню територіальних громад: 1) виробляти політику обмеження впливу інтенсивних транспортних потоків на мешканців та/або відшкодування завданої шкоди (через введення екологічного податку на проїзд тощо); 2) мати оперативну інформацію щодо радіонуклідного складу повітря. В результаті буде вирішуватися питання стійкості громади до небезпечних поллютантів атмосферного повітря. Ці пропозиції розроблено відповідно до плану заходів щодо реалізації у 2021-2027 роках Стратегії розвитку Миколаївської області на 2021-2027 роки за напрямом «Європейський моніторинг стану атмосферного повітря в населених пунктах вздовж автомобільних доріг Миколаївської області (Smart EcoMykolaivRegion)».

Матеріали досліджень за цим розділом частково висвітлено у наукових публікаціях [21, 72, 80, 81-83, 86, 88-90].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі узагальнення одержаних результатів теоретичних та експериментальних наукових досліджень подано розв'язання актуальної науково-практичної задачі з підвищення рівня еколого-радіаційної безпеки атмосферного повітря агломерацій, де вплив на стан атмосферного повітря вносять стаціонарні, пересувні джерела викидів атмосферних поллютантів, а у воєнні часи підвищується ймовірність викидів радіонуклідних поллютантів з розташованих поблизу атомних електростанцій. Це у сукупності спрямовано на виконання однієї із цілей сталого розвитку – посилення безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст і населених пунктів, в тому числі під час екологічної загрози, спричиненої воєнними діями.

1. Визначено, що у загальному об'ємі викидів атмосферних поллютантів стаціонарними джерелами досліджених міст викиди пилу складають 29-45%, оксиду вуглецю 35-41%, діоксиду азоту 14-25%. Для більшості територіальних громад Миколаївщини: 1) найбільші об'єми викидів атмосферних поллютантів зі стаціонарних джерел приходяться на підприємства газотранспортної системи та на підприємства теплоенергетики; 2) з 2022 р. об'єми викидів атмосферних поллютантів зі стаціонарних джерел зменшилися від 2 до 11 разів.

2. Установлено, що викиди атмосферних поллютантів громадським автотранспортом у містах Миколаїв та Південноукраїнськ близькі за об'ємами викидів оксиду вуглецю (78-87%), діоксиду азоту (10-12%), діоксиду сірки (менше 1%), але відрізняються за викидами неметанових летких органічних сполук, які для м. Миколаєва складають 12%, а для м. Південноукраїнська 2%. Це пояснюється різницею транспортної інфраструктури і меншою кількістю у громадському транспорті м. Південноукраїнська автотранспорту з дизельними ДВЗ. Для викидів атмосферних поллютантів вантажним транзитним автотранспортом: у м. Миколаєві, через який до часів російсько-української війни інтенсивно курсував задіяний у зерновій логістиці вантажний транспорт,

додатковий викид атмосферних поллютантів становив 28% для CO, 28% - для НЛОС, 45% для викидів NO₂, 41% - для NO, 48% - для пилу, 16% - для SO₂, що у 2 – 5 разів більше відповідних показників для м. Південноукраїнська.

3. Визначено, що забруднення атмосферного повітря у м. Миколаєві формується підвищеними рівнями формальдегіду CH₂O (39-40%), фтористим воднем HF (35-36 %), а також діоксиду азоту NO₂ (7-8%), пилом. Середньомісячний рівень формальдегіду в атмосферному просторі м. Миколаєва у період 2015-2025 рр. коливався у межах 8,08–19,20 мкг/м³, розмах варіювання концентрацій дрібнодисперсного пилу PM_{2,5} становив від 3 до 13 мкг/м³, а пилу PM₁₀ – від 12 до 40 мкг/м³. Визначено поправочні коефіцієнти для станцій індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі, що дозволило рекомендувати масштабне використання цих станцій у системі державного моніторингу вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі.

4. Установлено тенденцію до зростання забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва з середньорічним темпом зростання 0,5 (R²=0,92), який свідчить про високу ймовірність досягнення дуже високого рівня забруднення повітря. За величиною КІЗА (більше 10) рівень забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва є високим.

5. Установлено, що у період воєнних дій під час російсько-української війни у 2022-24 рр. потужність ефективної дози атмосферного повітря у м. Миколаєві складала в середньому 0,12±0,01 мкЗв/год; у населених пунктах – постах контролю 30-км зони Південноукраїнської АЕС – 0,12±0,02 мкЗв/год при обумовленому геологічними особливостями розкиді від 0,09 до 0,15 мкЗв/год, тобто не виходила за межі коливань природного радіаційного фону. Загальна бета-активність опадів з атмосфери у м. Миколаєві у 2023 і 2024 рр. складала, в середньому, 12,9±3,1 Бк/(місяць*м²). Вміст ¹³⁷Cs у цих опадах дорівнював, у середньому, 1,4±0,3 Бк/(місяць*м²), що відповідає природним рівням опадів з атмосфери.

6. Зафіксовані у повітрі та в опадах з атмосфери Миколаївської агломерації восени 2017 р. підвищені рівні техногенного ^{106}Ru при незмінності рівнів потужності ефективної дози обґрунтували пропозицію розширення, під час воєнних дій, радіаційного моніторингу до обов'язкової радіометрії проб опадів з атмосфери та, при можливості, радіометрії проб атмосферного повітря. Вимірювання потужності ефективної дози атмосферного повітря разом з радіометрією проб опадів з атмосфери та атмосферного повітря дозволить вчасно реагувати на можливі зміни радіонуклідного складу атмосферного повітря як від гамма-випромінюючих радіонуклідів, так і від чистих бета-випромінюючих радіонуклідів.

7. Розроблено математичну модель експрес прогнозування ефективної дози опромінення людини при аварійному газоаерозольному викиді радіонуклідів з АЕС, яка дозволяє оперативно оцінювати рівні індивідуальної та/або колективної ефективної дози від суміші радіонуклідів газоаерозольних викидів АЕС. Це дозволить приймати оперативні рішення щодо застосування превентивних контрзаходів із захисту людини під впливом газоаерозольних викидів радіонуклідів з АЕС.

8. Представлено пропозиції щодо розгортання Smart-системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря агломерацій, яка базується на: 1) використанні станцій індикативних вимірювань, для яких визначено поправочний коефіцієнт для формальдегіду (CH_2O), визначено значення потужності ефективної дози для початку аспіраційного відбору проб повітря при аварійному викиді радіонуклідів, 2) розміщенні пристроїв відбору проб повітря та опадів з атмосфери, 3) використанні відомих онлайн-платформ екологічного моніторингу. Це надасть можливість громадам і місцевому самоврядуванню виробляти політику обмеження впливу інтенсивних автотранспортних потоків та/або відшкодувати завдану шкоду, дозволить оперативно отримувати інформацію про зміну радіонуклідного складу атмосферного повітря для прийняття відповідних рішень. В результаті буде вирішуватися питання

стійкості громади до небезпечних поллютантів атмосферного повітря, в т.ч. під час екологічної загрози, спричиненої воєнними діями.

Одержані наукові результати і практичні рекомендації використовуються управлінням впровадження екологічної політики Департаменту житлово-комунального господарства Миколаївської міської ради, впроваджено у діяльність Департаменту енергетики, енергозбереження та інноваційних технологій Миколаївської міської ради, впроваджені при виконанні науково-дослідної роботи «Радіаційно-екологічна та електромагнітна безпека населених пунктів» (рег. 0112U0102237), а також реалізуються у навчальному процесі підготовки фахівців-екологів за спеціальністю 101 «Екологія» у ЧНУ ім. Петра Могили.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions / Sokhi R. S. et al. *Environment International*. 2021. Vol. 157. P. 106-818.
2. Air pollution of the largest cities in the Volyn region: preconditions, consequences and ways of solution of this problem / Melniichuk M et al. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Geology. Geography. Ecology»*. 2022. Vol. 56. P. 214-224.
3. Air quality plan for nitrogen dioxide (NO₂) in UK. Department for Environment, Food & Rural Affairs and Department for Transport. *2017 Air Quality Zones. European Commission*. 2017.
4. Almihat, Mohamed G. Moh; Kahn, M. T. E.; Aboalez, Khaled; Almaktoof, Ali M. (2022). Energy and Sustainable Development in Smart Cities: An Overview. *Smart Cities*. T. 5. № 4. P.1389-1408.
5. Atmospheric dispersion models for application in relation to radionuclide releases. Vienna : IAEA. 1986. 654 p.
6. Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting. A Safety Guide. IAEA Safety series. Vienna : IAEA, 1980. No. 50-SG-S3. 124 p.
7. Bakharev V. S., Marenych A. V., Zhuravska M. K. The adequacy of the existing network and justification of proposals for the of stationary atmospheric air state observation posts location in Kremenchuk. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. 2016. Vol. 4(99). P. 80–87.
8. Cai Y.P., Huang G.H., Lin Q.G., Nie X.H., Tan Q.. An optimization-model-based interactive decision support system for regional energy management systems planning under uncertainty. *Expert Systems with Applications* 36. 2009. P. 3470-3482.
9. Comparison of Current and Future PM_{2.5} Air Quality in China Under CMIP6 and DPEC Emission Scenarios / Cheng J. et al. *Geophysical Research Letters*. 2021. Vol. 48, Is. 11. P. e2021GL093197.

10. Cortese T., Almeida, Jairo Filho Sousa de, Batista Giseli Quirino; Storopoli José Eduardo, Liu Aaron, Yigitcanlar Tan (2022-01). *Understanding Sustainable Energy in the Context of Smart Cities: A PRISMA Review. Energies*. T. 15. № 7. P. 23-82.
11. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air.
12. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
13. Eco-management and Audit Scheme. Toolkit for Local Authorities. Prepared for the European Commission by Global to Local Ltd., 2004. 17-25.
14. Effects of meteorology and emissions on urban air quality: a quantitative statistical approach to long-term records (1999– 2016) in Seoul, South Korea / Seo J. et al. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2018. Vol. 18. Pp. 16121–16137.
15. Environmental Protection UK – Air quality committee [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.environmental-protection.org.uk/>
16. Fedonyuk, R., & Fedoniuk, T. (2019). Aerotechnogenic pollution of agricultural landscapes by inorganic dust on the example of Zhytomyr eastern industrial hub. *Scientific Horizons*. 2019. 22(1). P. 52-62.
17. Grygoriev K. Improvement of environmental and radiation monitoring of atmospheric air in urban agglomerations (in case of military). *XXVII Всеукраїнська науково-практична конференція «Могилянські читання-2024»*. Миколаїв, 6-10 листопада 2024. С. 18-19. <https://surl.lu/zomdcf>
18. Grygoriev K., Alekseyeva A. Update of approaches to the Radiation and Environmental monitoring system of atmospheric air. *Environmental and radiation safety*. 2024. V. 1. Number 1. [DOI:10.34132/ers.2024.01.02.02](https://doi.org/10.34132/ers.2024.01.02.02).
19. Grygoriev K., Alekseyeva A., Grygorieva L. System of Research Methods for Radioecological Monitoring of Atmospheric Air During Military Operations.

European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects: Monograph. Mykolaiv: PMBSNU. Bristol: UWE. 2025, P.90-102.

20. Grygoriev K. Radioecological monitoring of atmospheric air during military operations. *European dimensions of the sustainable development*, Selected Papers of the VI International Conference on European Dimensions of Sustainable Development, May 15 – 17, 2024. Kyiv: NUFT. P. 454-458. <http://dx.doi.org/10.24263/EDSD-2024-6-51>

21. Grygoriev, K. (2025). Improving the Informational Content of Radiation Monitoring of Atmospheric Air During the War. *Proceedings of the International Conference «European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects»*, June 5–7, 2025 Mykolaiv : PMBSNU, 2025, P. 30-31.

22. ICRP Publication 66. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. Oxford: Pergamon Press, 1994. 482 p.

23. ICRP Publication 67. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2. Ingestion Dose Coefficients. Oxford: Pergamon Press, 1993. 166 p.

24. Influence of aerosols on atmospheric variables in the HARMONIE model / Palamarchuk I et al. *Atmospheric Research*. 2016. Vol. 169. Pp. 539-546.

25. Kammen, Daniel M.; Sunter, Deborah A. City-integrated renewable energy for urban sustainability. *Science (англ.)*. 2016. Т. 352. № 6288. P. 922-928.

26. Maka, Ali O M; Alabid, Jamal M. Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy*. 2022. Т. 6. № 3. 476-483.

27. Moran, Emilio F.; Lopez, Maria Claudia; Moore, Nathan; Müller, Norbert; Hyndman, David W. (2018). Sustainable hydropower in the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Т. 115. № 47. P. 11890-11898.

28. Przewodnik wdrażania EMAS dla miast/gmin w Unii Europejskiej. Pierwsze kroki w procesie wdrażania EMAS. Na podstawie doświadczeń zdobytych przez 16 miast z Państw Członkowskich Unii Europejskiej (w tym z 8 Państw nowo przyjętych do Unii Europejskiej), 2004. P. 36–41.

29. Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments. Vienna : IAEA, 2009. 616 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1616_web.pdf. (дата звернення: 16.05.2025).
30. Razmjoo, Armin; Gandomi, Amir H.; Pazhoohesh, Mehdi; Mirjalili, Seyedali; Rezaei, Mostafa. The key role of clean energy and technology in smart cities development. *Energy Strategy Reviews*. Т. 44. P.100.
31. Sadorsky Perry. Wind energy for sustainable development: Driving factors and future outlook. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Т. 289. 125779.
32. Savenets M. Remotely visible atmospheric NO₂ changes in Ukraine due to the Ukrainian – Russian war using TROPOMI data. Astronomy and Space Physics in the Kyiv University: Book of abstracts of International Conference, October 18–21, Kyiv, Ukraine, 2022. P. 102.
33. Savenets, M., Pysarenko, L., Krakovska, S., Mahura, A., and Petäjä, T.: Enviro-HIRLAM model estimates of elevated black carbon pollution over Ukraine resulted from forest fires, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 15777–15791.
34. Vadurin K., Perekrest A., Bakharev V., Shenyryk V., Parfenenko Yu., Shendryk S. Towards Digitalization for Air Pollution Detection: Forecasting Information System of the Environmental Monitorin. *Sustainability*. 2025. 17. 3760.
35. Vitko V.I., Goncharova L.I., Kartashev V.V., Kovalenko G.D., Khabarova A.V. Transboundary impact on the territory of the russian federation of the design accident with the generator collector cover tearing off at Zaporozhskaya AES/. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVI м/н науково-практичної конференції 13–17 вересня 2019 року. УКРНДІЕП. 2019. 87-93.*
36. World Air Quality Report 2024 [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.iaaqm.com/world-air-quality-report>
37. Yatsenko Y. Atmospheric diffusion of PM_{2.5} as a result of a fire at an oil depot in Chernihiv. XVI International Scientific Conference “Monitoring of

Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, 15–18 November 2022, Kyiv, Ukraine

38. Амбіційні плани Китаю по побудові еко-міста (англ.) [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу:

<http://www.csmonitor.com/Environment/Living-Green/2008/1223/in-china-overambition-reins-in-eco-city-plans>

39. Ананьєва О. В. Вдосконалення гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 14.02.01 «гігієна та професійна патологія». Київ, 2017. 22 с.

40. Ангурець О., Хазан П., Колесникова К., Куц М., Чернохова М., Гавранек М. Україна, шкода довкіллю, екологічні наслідки війни. 2023. 84 с.

41. Андрієнко М. Стан і проблеми функціонування системи моніторингу довкілля у сфері реалізації державної екологічної політики. Інвестиції: практика та досвід. 2017. № 17. С. 75–81.

42. Архіпова Г.І., Ткачук І.С., Глушков Є.І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах. *Екологічний журнал України*. 2011. № 7(3). С. 45-52.

43. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Оцінка забруднення атмосфери міст автомобільним транспортом у проєктах управління екологічним станом мегаполісу. *Проблеми інноваційно інвестиційного розвитку*. 2021. № 26. С. 98-104.

44. Банк даних на сайті держстату [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу:

[https://stat.gov.ua/uk/explorer?urn=SSSU:DF_POLLUTANTS_GASES_EMISSION_S\(12.0.0\)](https://stat.gov.ua/uk/explorer?urn=SSSU:DF_POLLUTANTS_GASES_EMISSION_S(12.0.0)) Дата доступу: 31.03.2025 р.

45. Барбашев С.В., Скалозубов С.І. Радіаційний вплив аварії на АЕС «Фукусіма-1» на навколишнє середовище і населення та оцінка радіаційних

ризиків від запроектованих аварій на АЕС з ВВЕР-1000. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. №1. С. 10–15.

46. Бахарев В.С. Комплексна система екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем: *автореф. дисерт. на здобуття наук. ступеня докт. тех. наук*. Суми. 2018. 39 с.

47. Бахарев В.С. Недосконалість існуючої системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на рівні урбосистем: причини, наслідки, шляхи вдосконалення. *Екологічна безпека*. 2016. Vol. 5. С. 76–81.

48. Баштаннік М., Жемера Н., Кіптенко Є., Козленко Т. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2014. Вип. 266. С. 70-93.

49. Бевз О.В. Оцінка впливу автомобільного транспорту на якість повітряного середовища Кіровоградщини. *Вісник Центральноукраїнського національного технічного університету*. 2018. №4. С. 271-277.

50. Беляєв С. В. Екологічні проблеми транспорту і шляхи їх вирішення. К.: Вища школа. 2019. 231 с.

51. Белоконь К.В., Пірогова І.М., Мальований М.С., Комариста Б.М. Вдосконалення систем прогнозування та регулювання забруднення атмосферного повітря міста Запоріжжя за несприятливих метеорологічних умов. *Український журнал природничих наук* № 13. С.350-360.

52. Богданьок О. «Енергоатом» та Westinghouse оголосили про розширення співробітництва. Суспільне. Новини. 3 червня 2022, 13:30. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://suspilne.media/246322energoatomtawestinghouseogolosili-prorozsirennaspivrobitnictva/>

53. Богорад В. І., Слепченко О. Ю., Литвинська Т. В., Бєлих Д. О., Калита І. А., Полудненко В. А. Радіаційні аспекти захисту населення на етапі раннього викиду в разі важкої аварії на АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 3 (87). 2020. С.62-73.

54. Бончук Ю. В., Ратиа Г. Г., Кашпаров А. В. Викиди при нормальній експлуатації АЕС і опромінення населення. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2009. Вип. 1. С. 12-17.
55. Васенко О., Рибалова О., Артем'єв С. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія. 2015. 419 с.
56. Васькін Р. А. Аналіз динаміки забруднення атмосферного повітря України викидами автотранспорту / Р. А. Васькін, І. В. Васькіна // *Вісник Кременчуцького політехн. ун-ту*. 2009. Вип. 5 (58). ч. 1. С. 109-112.
57. Васькіна І.В. Аналіз впливу автотранспортних засобів на навколишнє середовище в селітебних зонах міст. *Екологічна безпека*. 4/2009(8) С. 16-20.
58. Вітько В. Брудна бомба на ЗАЕС. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей XVIII м/н науково-практичної конференції (м. Харків, 15-16 вересня 2022 р.). С. 92–99.
59. Вітько В. Про можливі наслідки ядерної аварії на Запорізькій АЕС // *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей XIX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 14-15 вересня 2023 р.) С. 85-91.
60. Вітько В., Карташов В., Хабарова Г. Радіаційний вплив АЕС України на кордоні суміжних країн. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: збірник наукових статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків, 14-18 вересня 2020 р. С. 110–114.
61. Вітько В.І., Карташов В.В., Хабарова Г.В. Оцінка транскордонного впливу викидів радіонуклідів АЕС України при нормальних та аварійних умовах експлуатації. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*: збірник наукових праць. Вип.42, Харків, 2020. С. 92–98.
62. Вітько, В., Карташов, В., [Хабарова, Г.](#) Радіаційний вплив АЕС України на кордоні суміжних країн. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей XVII Міжнародної науково-практичної конференції 14–18 вересня 2020 року. УКРНДІЕП. 2020. С. 110-114.

63. Вітько, В., [Хабарова Г.](#) Радіаційний вплив АЕС України та Європи на кордоні. *Екологічна безпека: Проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей XVII Міжнародної науково-практичної конференції 13-17 вересня 2021 р. УКРНДІЕП, 2021. 85-93.

64. Вміст радіонуклідів в об'єктах зовнішнього середовища на території Миколаївської області: Звіт НДЛ "Ларані". Миколаїв, 2001. № 59/2. 22 с.

65. Волошкіна О.С., Сіпаков Р.В., Березницька Ю.О., Клімова І.В. Оцінка ризику для здоров'я населення від викидів автомобільного транспорту у м. Києві. *Екологічна безпека*. 2018. № 1. С. 45-52.

66. Вплив діяльності Рівненської АЕС на природне та соціальне середовище зони спостереження / В. А. Прилипко, М. М. Морозова, І. В. Бондаренко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2019. Вип. 24. С. 131-149.

67. Гаврилюк О. А. Екологічний вплив автотранспорту на довкілля: глобальні та локальні проблеми. *Екологія і життя*. 2021. 3(22). С. 42–47.

68. Галицька Є., Данилевський В., Сніжко С. Динаміка аерозолів у атмосфері над Східною Європою за даними AERONET під впливом погодних умов протягом літа 2010. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. Вип. 17. С. 5-16.

69. Головкова Т.А., Шевченко О.А., Грузд В.В. Оцінка ризику впливу забруднення атмосферного повітря міста Дніпро на здоров'я населення. *Environmental and Health*. 2025. №1. С. 51-56.

70. Горбачов П. Ф., Холодова О.О. Аналіз забруднення повітря транспортними потоками. *Автомобільний транспорт: зб. наук. праць. Х.: ХНАДУ, 2008. вип. 22. 77-81.*

71. Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць // Лист Головного державного санітарного лікаря від 03 березня 2015 року Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та

біологічними речовинами) затверджені наказом МОЗ від 9 липня 1997 року № 201.

72. Григор'єв К. Газоаерозольні викиди радіонуклідів з АЕС та середньоіндивідуальна ефективна доза для населення прилеглих міських агломерацій. *XX м/н наук. конф. «Радіаційна, техногенно-екологічна та біологічна безпека: стан, шляхи і заходи покращення»*. 09 червня 2025. С. 134-138

73. Григор'єв К. Викиди хімічних поллютантів автотранспортом у місті Миколаєві під час війни. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2025. №1. С.58–63. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-1-8>

74. Григор'єв К. Оцінка стану атмосферного повітря у місті Миколаєві *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. №4. С.121-129. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-5>

75. Григор'єв К. Радіоекологічний моніторинг стану атмосферного повітря на Миколаївщині. *Environmental Safety of the State: abstracts of XVII Pan-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students*, Kyiv, April 18, 2024, Kyiv Aviation Institute. К. : KAI, 2025. С.48-50.

76. Григор'єв К., Алексєєва А. Екологічний моніторинг хімічних поллютантів атмосферного повітря у місті Миколаєві у воєнні часи. *Екологічні науки*. 3(60). 2025. С. 160-165 <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.26>

77. Григор'єв К., Григор'єва Л. Радіоактивні опади в атмосфері та їх радіоекологічний моніторинг у контексті військових дій. *Український журнал природничих наук*. 2025. №12. С. 344-352. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.34>

78. Григор'єв, К. (2024). Радіонуклідний склад випадінь з атмосфери на Миколаївщині. *VI Всеукраїнської науково-практична конференція «Євроінтеграція екологічної політики України»*, м. Одеса, 6 листопада 2024р. С.144 – 146.

79. Григор'єв, К. (2024) Індикативні вимірювання полютантів для вирішення атмосферних небезпек поблизу маслоекскракційного заводу. XIX Міжнародна наукова конференція *«Радіаційна, техногенно-екологічні та біологічна безпека: стан, шляхи і заходи покращення»*, Миколаїв, 20-23 червня 2024 р.

80. Григор'єв, К. (2024) Пропозиції до радіаційного моніторингу атмосферного повітря під час воєнних дій. I Міжнародна науково-практичній конференції *«Європейське майбутнє: філософсько-освітні студії»*, Херсон, червень, 2024.

81. Григор'єв, К. (2024). Еколого-радіаційний моніторинг атмосферного повітря у місті Миколаєві. *Миколаївські міські читання: збірник тез доповідей конференції*, м. Миколаїв, листопад, 2024.

82. Григор'єв, К. (2024). Модернізація системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря: уроки війни. *Екологічна безпека в умовах війни* : збірник. тез доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 21 листопада 2024 року. Львів: ЛДУБЖД, 2024. С.117-118.

83. Григор'єв, К. Моделювання дозового навантаження від радіоактивних викидів при управлінні радіаційно-екологічною безпекою територій. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. X Міжнародний молодіжний конгрес*, 27-28 березня 2025, Україна, Львів. С. 59

84. Григор'єв, К. Радіоекологічний моніторинг стану атмосферного повітря на Миколаївщині. *Екологічна безпека держави, XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів*, 17 квітня 2025 року, Україна. Київ. С. 60

85. Григор'єв, К., Алексеєва, А. (2024) Радіоекологічна оцінка атмосферних випадінь на Миколаївщині під час воєнних дій. XIX Міжнародна наукова конференція *«Радіаційна, техногенно-екологічні та біологічна безпека: стан, шляхи і заходи покращення»*, Миколаїв, 20-23 червня 2024 р.

86. Григор'єв, К., Григор'єва Л. (2025). Ефективна доза іонізуючого випромінювання від викидів ^{131}I з АЕС. *Екологічні науки*. 2025. 3(60). С. 37-40
<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.6>

87. Григор'єва Л.І., Алексеєва А.О., Макарова О.В., Буровицька Ю.М., Григор'єв К.В. Екологічний моніторинг стану атмосферного повітря за індикативними вимірюваннями. *Екологічні науки*. №47, 2023. С. 137-142.

88. Григор'єва Л.І., Григор'єв К.В. Методологія використання дозових цін при експрес-оцінюванні та моделюванні ефективної дози від газоаерозольних викидів радіонуклідних полютантів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2025. №4. С. 98-107.

89. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А., Григор'єв К.В. Експрес-прогноз дозового навантаження на населення від газоаерозольних викидів АЕС. *Ядерна фізика та енергетика*. 2014. Т.15. №3. С. 269-276.

90. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А., Григор'єв К.В. Радіоекологічний ризик винесення радіонуклідів у довкілля з викидами та скидами АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. 1(53). С. 30-36.

91. Дані Головного статистичного управління в Миколаївській області. Викиди в атмосферне повітря за джерелами забруднення. [Електронний ресурс]. Доступно на: https://www.mk.ukrstat.gov.ua/stat_inf/oblast/priroda/priroda.htm

92. Державне регулювання викидів CO_2 та споживання енергії дорожнім транспортом: Європейський досвід та перспективи України. Support to Climate Mitigation and Adaptation in Russia and ENP East countries. 28.10.2016. Київ, Міністерство інфраструктури України. 132 с.]

93. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). Затверджена Наказом Міністерством охорони здоров'я України від 09 липня 1997 р. № 201.

94. Деякі питання створення та функціонування Інтегрованої автоматизованої системи радіаційного моніторингу: Постанова КМ України від

11 лютого 2026 р. №175. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2026-%D0%BF#Text>

95. Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 21 травня 2008 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text

96. Дмитрієва О. О., Варламов Є. М., Квасов В. А., Палагута О. А., Нестеренко Л. М., Нестеренко У. Ю. Стан мережі спостереження за атмосферним повітрям в Україні та її відповідність вимогам директиви 2008/50/ЄС. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2016. № 38. С. 99–110.

97. Довкілля Сумщини у 2023 році. Комплексна економічна доповідь. Офіційне видання. Головне управління статистики у Сумській області. Суми, 2023. 42 с.

98. Долженкова О. Застосування світового досвіду охорони атмосферного повітря в Україні». *Challenges and Issues of Modern Science*. 2024. № 2.

99. Доценко Л. В., Демиденко А. С. Порівняльний аналіз методів визначення рівня забруднення атмосферного повітря. *Екологічна безпека*. № 2/2014 (18). С. 70-74

100. Дрозд І.П., Сова О. А., Липська А.І. Моделювання аварійного викиду ¹³¹I. Процеси дозоутворення. *Ядерна фізика та енергетика*. 2015. Т. 16. № 2. 157 – 163.

101. Еко-міста та еко-кластери в Україні. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://ucluster.org/universitet/klastery-ukraina/2012-study/vpliv-globalizacii-na-shlyakhi-zbalansovanogo-vodokoristuvannya-okhoroni-ta-vidtvorennya-vodnikh-resursiv/eko-mista-i-eko-klasteri/>

102. Євстігнєєва О. Завдання для України – стати лідером зеленої енергетики в ЄС. Економічна правда. 10 січня 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/01/10/695821>

103. Єременко О.І. Особливості забруднення атмосфери автотранспортом в урбанізованому середовищі / О.І. Єременко, Т.О. Зубок, М.В. Несукай // Збірник тез доповідей наукової конференції НУБіП. – 2022. – Р. 68-72.

104. Забруднення повітря в Україні з космосу. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2020/11/cleanair.org.ua-ukraine-space-ua-final-web.pdf> (дата звернення 24.12.2023)

105. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2027 року» від 21 12. 2020 р. № 2818-VI [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>.

106. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16 вересня 1992 року № 2707-XII. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>

107. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.

108. Захворюваність на злоякісні новоутворення мешканців малих забруднених радіонуклідами територіальних одиниць чорнобильського регіону у віддаленому післяаварійному періоді / А. Є. Присяжнюк, М. М. Фузік, Н. А. Гудзенко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2020. Вип. 25. С. 265-284.

109. Звіт щодо стану атмосферного повітря у Дніпропетровській, Запорізькій, Харківській та Донецькій областях за грудень. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://cleanair.org.ua/18555/zvit-po-yakosti-povitrya-za-hruden-2025/>

110. Іванов Є.А., Кравців С.С., Войтків П.С. Радіоекологічний моніторинг урбосистем Львова. *Екологічні науки*. 2025. 4. С.123-131.

111. Інформація зі зведених результатів діяльності оперативного штабу, що діє на базі Держекоінспекції. Державна екологічна інспекція України. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.dei.gov.ua/posts/2226> (дата звернення: 11.01.2023).

112. Каніло П. М. Автомобіль та навколишнє середовище / П. М. Каніло, І. С. Бей, О. І. Ровенський. Х.: Прапор, 2000. 304 с.

113. Кванге –стабільне місто в Кореї (англ.). [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://inhabitat.com/2008/12/08/gwanggyo-city-center-by-mvrdiv/>

114. Кириєнко П. Г., Варламов Є. М., Квасов В. Є., Лобов С. О. Організація моніторингу за станом атмосферного повітря у м. Харків. Екологічна безпека та природокористування. № 48(8), 2023. С. 81–90.

115. Кіптенко Є. М., Козленко Т. В. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря у містах України. Наукові праці УкрНДГМІ. 2002. Вип. 250. С. 288-298.

116. Клименко О.А. Управління якістю атмосферного повітря за допомогою європейської системи THOR-AIR-PAS / О.А. Клименко, С.М. Тарабан // Автошляховик України. – 2015. – № 3. – Р. 15-20.

117. Клімова І., Сіпаков Р. Вплив метеорологічних факторів на вторинне забруднення атмосферного повітря формальдегідом (на прикладі м. Києва) *Наукові праці екологічного напрямку*. 2019. № 4(2). С. 133-139.

118. Колесник В., Павличенко А., Калініна К. Екологічна класифікація якості атмосферного повітря за комплексними індексами його забруднення. *Геотехнічна механіка*. 2017. Вип. 137. С. 156-169.

119. Концепція сталого розвитку населених пунктів. Затв. Постановою Верховної Ради України від 24 грудня 1999 року N 1359-XIV. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1359-14#Text>

120. Котельнікова Ю.О., Чугай А.В. Динаміка зміни рівня забруднення атмосфери м. Одеса. *Проблеми матеріальної культури*. 2014. С. 104-110.
121. Кузик, А.Д., Думас, І.З., Олійник, О.Т. (2024). Забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом на в'їздах до м. Львова. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 29. С. 12-23.
122. Кустов М., Слепужніков Е., Ліповой В, Хмирьов І., Дадашов І., Бускін О. Процедура реалізації методу штучного осадження радіоактивних речовин з атмосфери. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 3 (83). С. 13–25.
123. Лежнева О.І., Желновач Г.М., Очеретенко С.В. та ін. Екологічні аспекти транспортної системи міста: *монографія*. Харків: Зебра, 2017. 180 с.
124. Литвиненко А.С. Військово-технологічні та соціогуманітарні дослідження в Національній Академії наук України під час російсько-української війни. *Наука та наукознавство*. 2023. № 2 (120). 95-115.
125. Лісняк А.А., Білянський І.В. Оцінка впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря в центральній частині міста Харкова. [*Людина та довкілля. Проблеми неоекології*](#). 1-2. 2018. 115-121.
126. Лотиш О. Стратегія муніципального екологічного менеджменту: сутність та чинники розвитку. *Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць*. Львів: НЛТУ України. 2010. Вип. 12. 86–90.
127. Лотиш О.Л. Екологічна політика як важлива складова процесу формування системи муніципального екологічного менеджменту для досягнення сталого розвитку території. Матеріали 2-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції «*Сталий розвиток та екологічна безпека суспільства в економічних трансформаціях*», м. Бахчисарай, 23-24 вересня 2010 р. С. С. 227–230.
128. Луньова О. В., Кахукіна А. М. Аналіз стану атмосферного повітря міста Житомира. *Екологічні науки*. 2023. 3 (48). 65-69.

129. Магась Н.І., Соченінова І.О. Оцінка якості атмосферного повітря м. Миколаєва. Екологія. Довкілля. Енергозбереження - 2025: колективна монографія / під ред. О. Е. Ілляш. Полтава. НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». 2025. С. 39-56.

130. Максимів Л.І. Запровадження екологічного менеджменту в систему органів місцевого самоврядування: передумови та цілі. *Теоретичні та прикладні питання економіки: Збірник науково-технічних праць*. Вип.21. Київ, 2010. С. 193–199.

131. Мастабай С. Шляхи вдосконалення сталого розвитку міст. *Сучасні виклики у розвитку міст та регіонів України: збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 листопада 2022 року м. Ірпінь* ; Державний податковий університет. Ірпінь, 2023. С. 77-81.

132. Матейчик В.П. Дослідження впливу режимів руху транспортного потоку на рівень забруднення придорожного середовища / В.П. Матейчик, О.К. Гришук, Г.О. Вайганг, О.В. Блажчук // Вісник Національного транспортного університету. 2015. № 2. С. 26-33.

133. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів» Затв. Держ. комітетом статистики України. Наказ від 13.11.2008 №452. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/FIN42578>.

134. Методичні рекомендації з нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних, інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та технікою» / ДП «ДержавтотрансНДІпроект» (редакція 1 від 17.11.2023)

135. Мозговий А.А. Сталий розвиток міст: передумови та суперечності. *Сучасні виклики у розвитку міст та регіонів України : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 листопада 2022 року м. Ірпінь*. Державний податковий університет. Ірпінь, 2023. С. 137-141.

136. Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. [Електронний ресурс]. 2024 р. Режим доступу до ресурсу:

https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj_monitoryng/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-pryrodnogo-seredovyshha-v-ukrayini/ Дата доступу: 29.03.2025 р.

137. Некос А. Н., Молдован Я.Є. Стан, проблеми та недоліки функціонування системи моніторингу атмосферного повітря м. Харкова. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. Х: ХНУ. 2021. № 1-2. С. 47-53.

138. Нетробчук І., Силивонюк К. Аналіз впливу автотранспорту на якість атмосферного повітря вулиць міста Луцька. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 1 (405). 2020. С. 37-42.

139. Новосьолов Г., Масько М. Про радіаційний вплив Запорізької та Южно-Української АЕС на навколишнє середовище. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2019. №2 (14). 58–70.

140. Ночвай В.І. Інформаційні системи управління якістю повітря. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/11152/1/Nochvay.pdf>

141. ОКП Миколаївоблтеплоенерго. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://dgkh.mkrada.gov.ua/povidomlennya-pro-namir-otrymaty-dozvil-na-vykydy-okp-mykolayivoblteploenergo/>

142. Оліферчук В. П. Вплив забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту на стан здоров'я школярів міста Львова / В. П. Оліферчук, В. Р. Кокот, Г. П. Гарник, Н. С. Уманець // *Наук. вісн. Укр. держ. лісотехн. ун-ту*. 2003. Вип. 13.5. С. 125–130.

143. Петровська М., Моркович, В. Аналіз впливу автотранспорту на забруднення атмосферного повітря перехресть вулиць Львова монооксидом карбону. *Вісник Львівського університету*. Серія географічна. 2014. Випуск 47. С. 217–223.

144. Південноукраїнська АЕС. Енергоблок №3: звіт з періодичної переоцінки безпеки. Фактор безпеки №14. Вплив на навколишнє середовище. Київ. 2019. 158 с.

145. План адаптації до змін клімату в Миколаєві. Миколаїв. 56 с.

146. План дій сталого енергетичного розвитку та клімату міста Миколаєва до 2030 року. Миколаїв, 2019. 156 с.

147. Повітря війни. Чисте повітря для України. Режим доступу до ресурсу: <https://cleanair.org.ua/event/war-air-conference/> (дата звернення: 11.01.2024).

148. Поліщук С., Даценко Л. Оцінка впливу метеорологічних факторів на стан забруднення атмосферного повітря м. Дніпропетровська (на прикладі формальдегіду). Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. 2015. С. 266-270.

149. [Прилипка В. А.](#) Інформаційна складова радіаційного захисту населення зони спостереження АЕС / В. А. Прилипка, Ю. Ю. Озерова, П. Ф. Кратик, К. К. Шевченко, І. В. Бондаренко, М. М. Морозова // *Довкілля та здоров'я*. 2016. № 4. С. 30-34.

150. Прилипка В. А., Морозова М.М., Озерова Ю.Ю., Гришан А.В., Пелюх Ю.Ю. Динаміка викидів та скидів радіонуклідів у природне середовище зони спостереження Південноукраїнської АЕС. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2023. Вип. 28. С.158-175.

151. Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів «Норми радіаційної безпеки України»: Постанова N 62 від 01.12.97. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v006228297#Text> (дата звернення: 02.05.2023)

152. Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля: Постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998р. № 391 [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF>.

153. Про затвердження Порядку інформування населення про якість повітря за основними показниками з використанням індексу якості повітря в Україні: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 24.03.2025 року №590.

154. Про затвердження Порядку розміщення пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря в зонах та агломераціях: Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 21.04.2021 №300. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0635-21#Text>

155. Про затвердження Порядку розроблення та затвердження планів поліпшення якості атмосферного повітря: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 01.08.2022 № 268. . [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1071-22#Text>

156. Про затвердження форми Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 25.02.2021 №147. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0543-21#Text>

157. Про можливі наслідки ядерної аварії на Запорізькій АЕС. Екологічна безпека: Проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції 14-15 вересня 2023 р. /УКРНДІЕП.–ПП «Стиль-Іздат», 2023. 85-91.

158. Про схвалення розроблених Міністерством екології та природних ресурсів планів імплементації деяких актів законодавства ЄС : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 квітня 2015 р. № 371-р. [Електронний ресурс]. Доступно на: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-%D1%80>.

159. Проблеми медичної експертизи захворювань, що призвели до втрати працездатності та смерті внаслідок впливу іонізуючого опромінення в умовах чорнобильської катастрофи у віддаленому післяаварійному періоді / В. О.

Сушко, О. О. Колосинська, О. М. Татаренко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2018. Вип. 23. С. 471-480.

160. Радіаційна обстановка в районі розташування ПАЕС за 2014–2018 рр.: *звіти лабораторії зовнішньої дозиметрії ПАЕС*. 2019. 124 с.

161. Радіаційна обстановка навколо Південноукраїнської атомної електростанції у передпусковий період (зняття нульового фону): *Звіт НДР*. К., 1980. 147 с.

162. Радіаційна та екологічна обстановка в зоні розташування філії «ВП «ПАЕС». [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://energoatom.com.ua/news/radiaciina-ta-ekologicna-obstanovka-v-zoni-roztasuvannia-filiyi-vp-paes13>

163. Регіональна доповідь «Про стан навколишнього середовища у Миколаївській області. Управління екології та природних ресурсів Миколаївської ОВДА». 2024. 196 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/1726742763.pdf>

164. Регіональна доповідь Про стан навколишнього середовища у Миколаївській області. Управління екології та природних ресурсів Миколаївської ОВДА. 2025. 194 с.

165. Рейтинг міст України з найбільш забрудненим повітрям (за даними центральної геофізичної лабораторії України). Режим доступу <https://ibigdan.livejournal.com/21927755.html>

166. Рибалова О. В. та ін. Якісний стан атмосферного повітря в Україні. *Science and education: problems, prospects and innovations*. 2021. 37-43.

167. Ризик розвитку судинної патології сітківки у опромінених у різному віці осіб внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС / П. А. Федірко, Т. Ф. Бабенко, Р. Ю. Дорічевська, Н. А. Гарькава. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2015. Вип. 20. С. 467-473.

168. Розроблення методу оцінки еколого-дозового ризику на основі принципу дозової ціни і реперного екотоксиканта: звіт з НДР / НІнРТЕБ ЧДУ імені Петра Могили. 2019. 49 с.

169. Розроблення реєстру стаціонарних постів спостереження атмосферного повітря відомчих та регіональних систем моніторингу : звіт про НДР. УкрНДІ екологічних проблем. Харків, 2020. 249 с.

170. Русіло П. О. Вплив на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. №18(3). С. 85-89.

171. Савенець М. В. Моніторинг якості атмосферного повітря над територією України з деталізацією для міст за даними супутника Sentinel-5P. *Вісник НАН України*. 2023. № 10.

172. Савенець М. В. Сучасний стан забруднення атмосферного повітря в Україні за даними супутника Sentinel-5P / М. В. Савенець, І. В. Дворецька, Л. М. Надточій // [*Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія. Екологія*](#). 2019. Вип. 51. С. 221-233.

173. Савенець М.В., Дворецька І.В., Козленко Т.В., Комісар К.М., Уманець А.П., Н. С. Жемера Н.С. Стан забруднення атмосферного повітря в Україні напередодні повномасштабного російського вторгнення. *Український гідрометеорологічний журнал* 2023. №31. С.69-87.

174. Самойленко Є.С. Моделювання рівня забруднення міст шляхом управління параметрами транспортного потоку. *Вісник Національного транспортного університету*. 2015. № 53. С.322-328.

175. Семененко Ю. М., Коваленко С. І. (2019). Зелені технології в транспорті: екологічні аспекти". *Екологічний вісник*. 2019. № 2. С.31–35.

176. Солошин І. О. Вплив транспортних потоків центральної частини м. Кременчука на рівень забруднення атмосферного повітря. *Екологічна безпека*. 2009. № 1(5). С.40-44.

177. Солошич І. О., Підліснюк В.В. Дослідження забруднення повітря транспортними потоками центральної частини Банська-Бистриця (СЛОВАЦЬКА РЕСПУБЛІКА). *Екологічна безпека*. №4/2009 (8). С. 43-48.

178. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України / Баштаннік М. П. та ін. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2014. Вип. 266. С.70-93.

179. Статистичні дані головного управління статистики у Миколаївській області. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/1726742763.pdf>

180. Степанчук І. М. Автомобільний транспорт і екологічні проблеми міст. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2019. №6. С.88-93.

181. Стратегія адаптації до зміни клімату для Миколаївської області: Посилення спроможності регіональних та місцевих органів влади для впровадження та застосування законодавства ЄС у сферах захисту навколишнього середовища, протидії кліматичним змінам та розвитку інфраструктурних проєктів. Миколаїв, 2024. 77 с.

182. Тимченко О. І. Загрози для здоров'я населення від впливу антропогенних чинників та можливості їх попередження. Київ: ІГМЕ АМН України, 2022. С.5.

183. Ткачук Л.В., Борейко В.І. Проблема забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом та шляхи її вирішення. *Науковий вісник Сумського державного університету*. 2009. № 5(1). С. 122-128.

184. Ткачук О. П., Вергеліс В. І. Екологічна ефективність громадського моніторингу атмосферного повітря в Україні. *Екологічні науки*. 2020. Т. 1(58). С. 225–232.

185. Товариство з обмеженою відповідальністю «Оператор газотранспортної системи України» [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://dgkh.mkrada.gov.ua/tovarystvo-z-obmezhenoyu-vidpovidalnisty-uy-operator-gazotransportnoyi-systemy-ukrayiny/>

186. Томілін Ю. А., Григор'єва Л. І. Управління еколого-техногенним та радіаційним ризиком у південному регіоні України. *Наукові праці. Серія: Техногенна безпека*. 2013. Т.203. Вип. 191. С. 69-80.

187. Томілін Ю. Радіаційна обстановка навколо Південноукраїнської атомної електростанції у передпусковий період (зняття нульового фону): *Звіт НДР*. Миколаїв, 1980. 147 с.

188. Турос, О. І., Ананьєва, О. В., Петросян, А. А. Вдосконалення підходів до кількісної оцінки забруднення атмосферного повітря викидами автомобільних транспортних засобів. *Гігієна населених місць*. 2014. С.23-30.

189. Фаррахов О. Вражаючі фактори радіоактивного і хімічного забруднення атмосфери. Аналіз існуючих методів захисту населення. *Грааль науки*. 2022. №17. С.171-176.

190. Федонюк В.В. До питання удосконалення системи державного екологічного моніторингу стану атмосферного повітря. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2013. №2. С. 123-129.

191. Хацей А., Трус І. Динаміка викидів забруднюючих речовин в Україні та м. Києві у атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел забруднення. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2025 (351). Вип.1. Т.1. С.557-564.

192. Черниченко І.О., Першегуба Я.В., Литвиченко О.М. До питання оцінки стану забруднення атмосферного повітря і його безпеки для населення. *Довкілля та здоров'я*. 2019. №3. С.20-22.

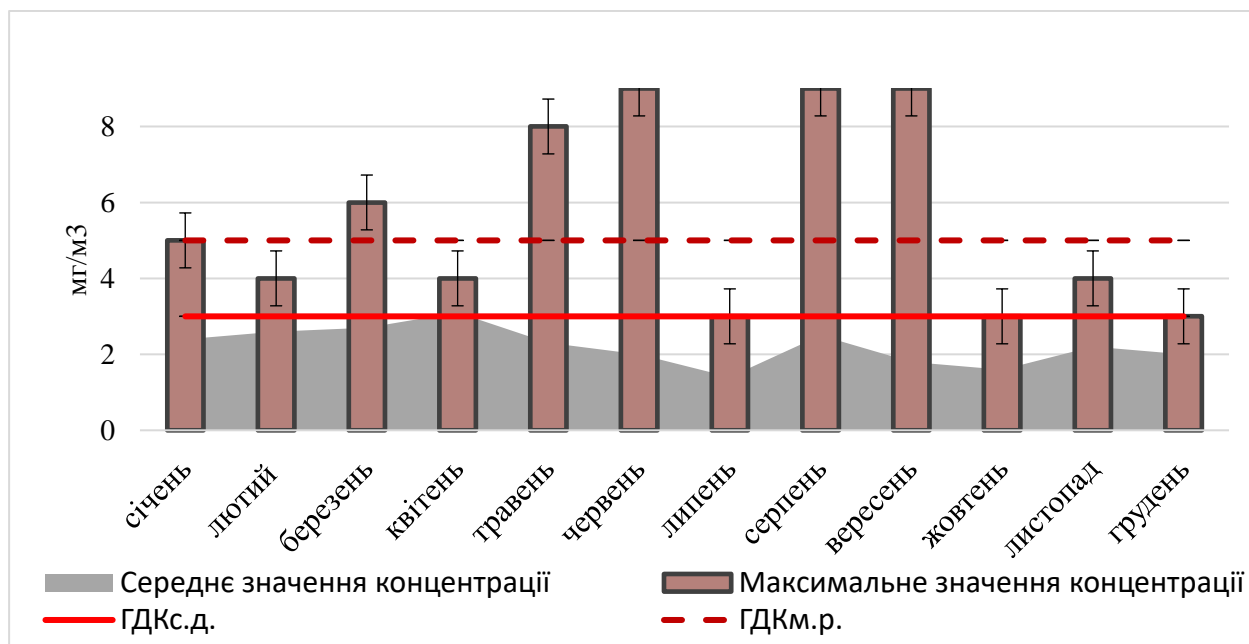
193. Чугай А. В., Сафранов Т. А. Особливості забруднення атмосферного повітря міст Північно-Західного Причорномор'я. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2020. Вип. 52. С. 251-260.

194. Чугай А.В., Чернякова О.І., Клімов І.О. Аналіз впливу військової діяльності в Україні на стан атмосферного повітря. *Екологічні науки*. 4(49). С. 26-31.

195. Шевченко О. Г. та ін. Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. 14. С. 97-92.
196. Шевченко О. Г. та ін. Стан забруднення атмосферного повітря в містах України. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. № 31.
197. Шевченко О. І. Сучасні екологічні технології для зменшення шкідливих викидів транспортом. *Транспорт та довкілля*. 2020. 4(15). С. 60–67.
198. Шевченко О., Сніжко С., Данілова Н. Забруднення атмосферного повітря міста Києва двоокисом азоту. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. Вип. 16. С. 6-16. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.01>
199. Шевченко О.Г., Кульбіда М.І., Сніжко С.І., Щербуха Л.С., Данілова Н.О. Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. № 14. С. 32-39.
200. Шевченко О.Г., Сніжко С.І., Данілова Н.О. Забруднення атмосферного повітря міста Києва двоокисом азоту. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. №16. С. 6-16.
201. Шкода довкіллю України завдана російською збройною агресією. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Режим доступу до ресурсу: <https://drive.google.com/file/d/11LFDr0sthMfdiqgH20QT4HIEp2z2GRoY/view> (дата звернення: 11.01.2023).
202. Яворська О. М., Іконніков О. В. Статистичний аналіз якості атмосферного повітря в Україні. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вип. 20.9. С. 45-49.

Додаток А. Динаміка об'ємних концентрацій поллютантів в атмосферному повітрі м. Миколаєва

А



Б

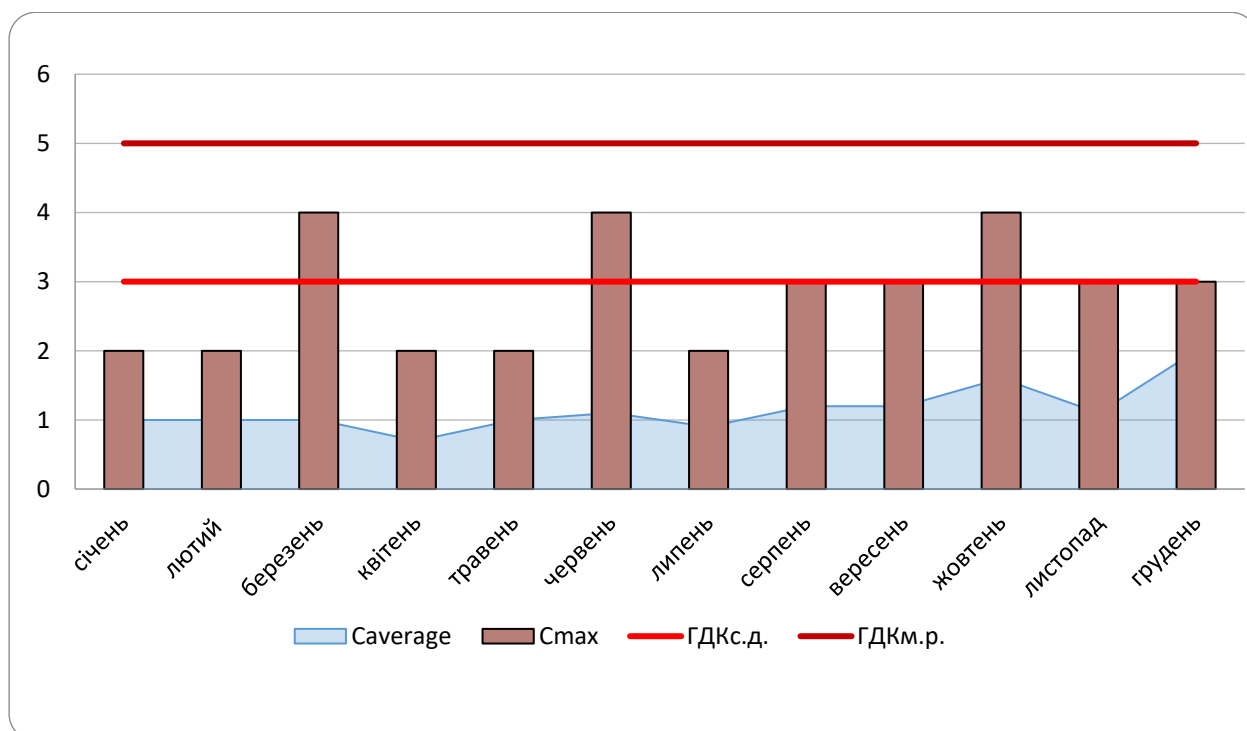
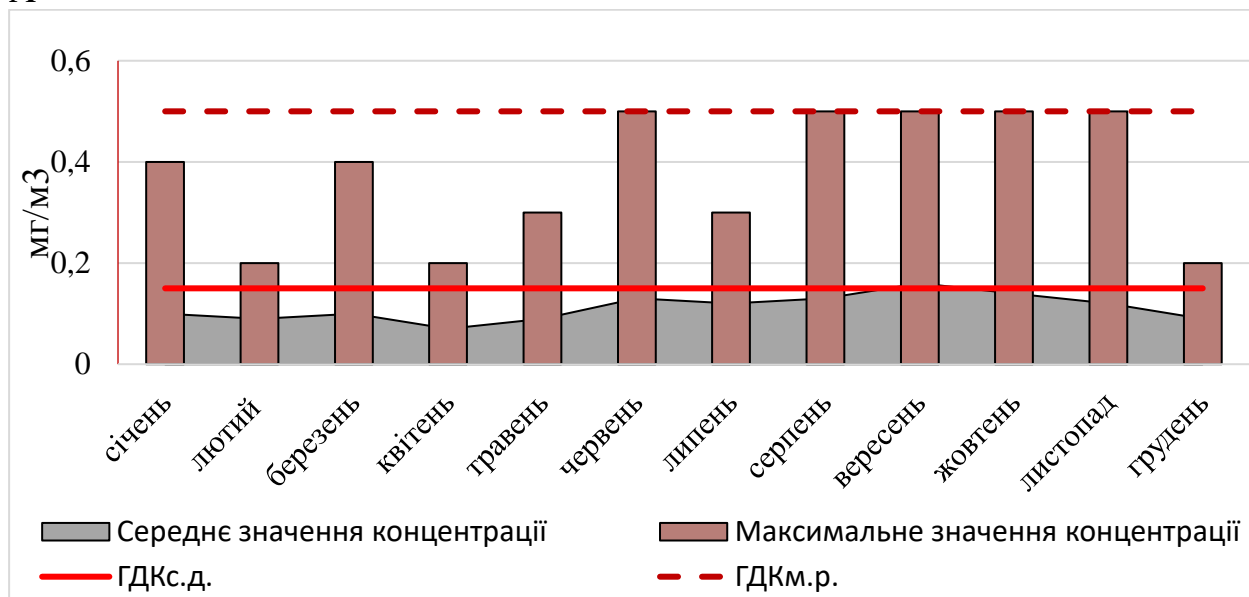


Рис. 1. Динаміка середньомісячних (А - за 2015-2021 рр., Б – за 2022-25 рр.) об'ємних концентрацій CO у повітрі м. Миколаєва за середніми і максимальними величинами, mg/m^3 .

А



Б

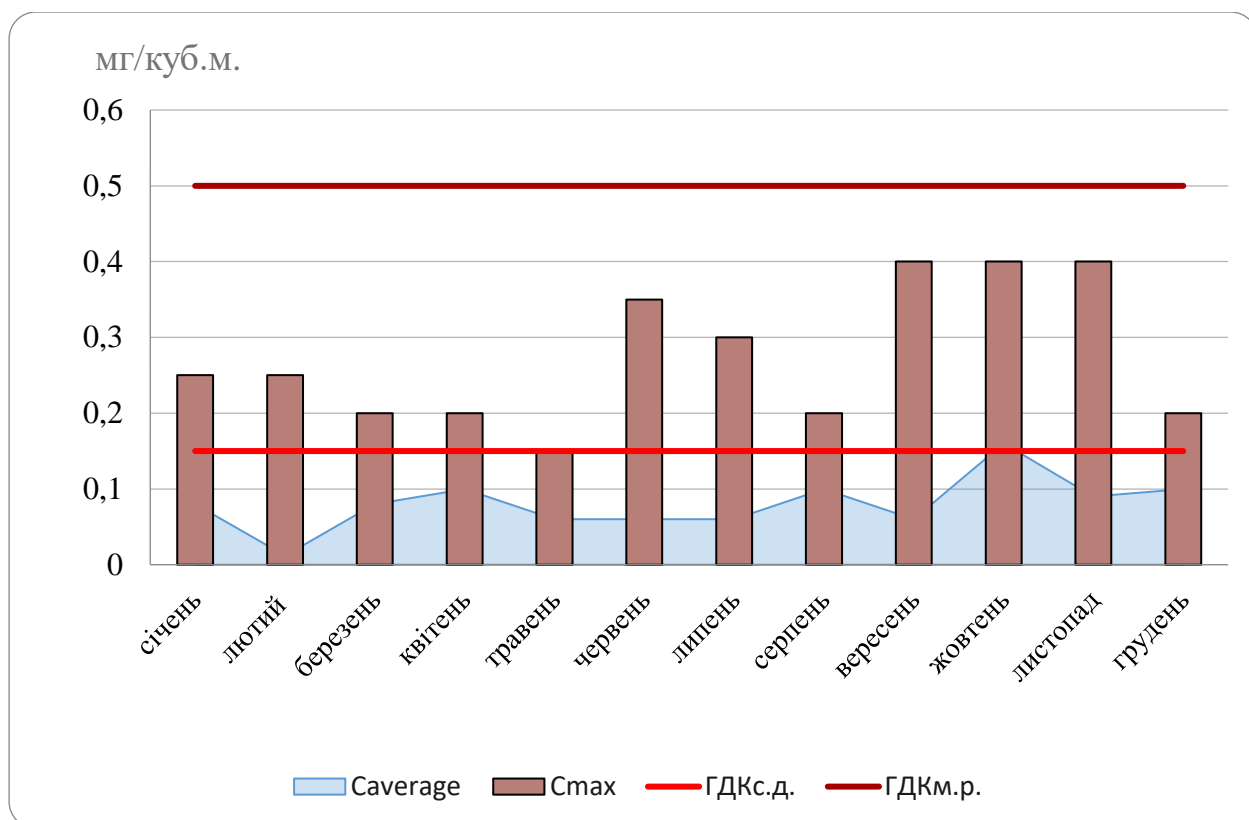
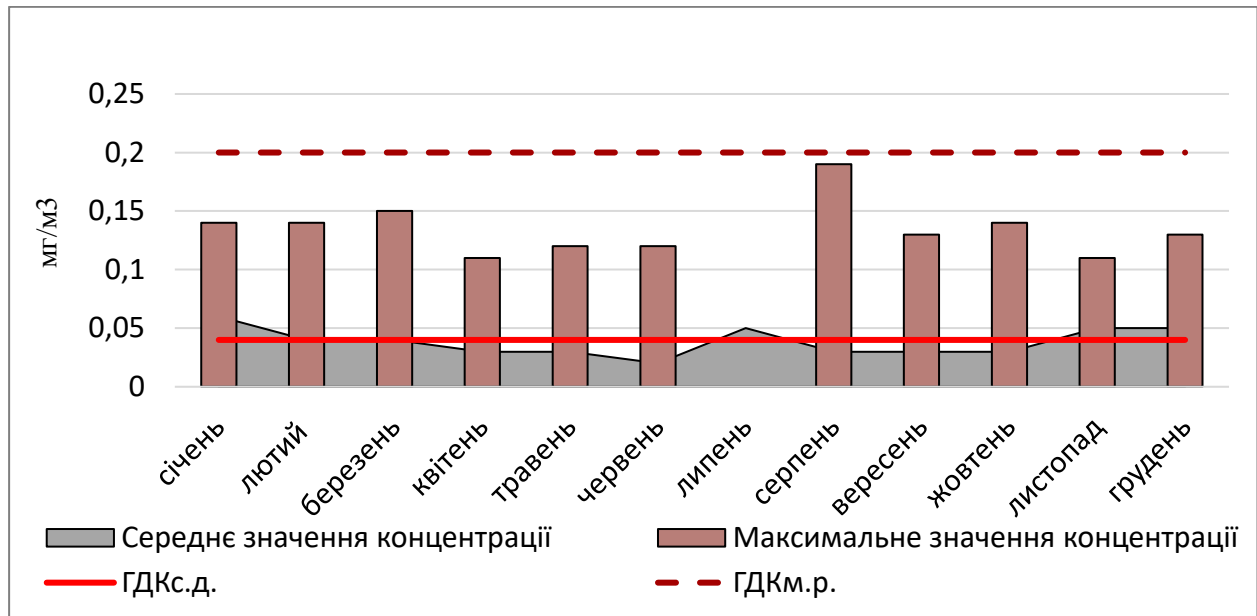


Рис. 2. Динаміка середньомісячних (А - за 2015-2021 рр., Б – за 2022-25 рр.) об'ємних концентрацій пилу у повітрі м. Миколаєва за середніми і максимальними величинами, мг/м³

А



Б

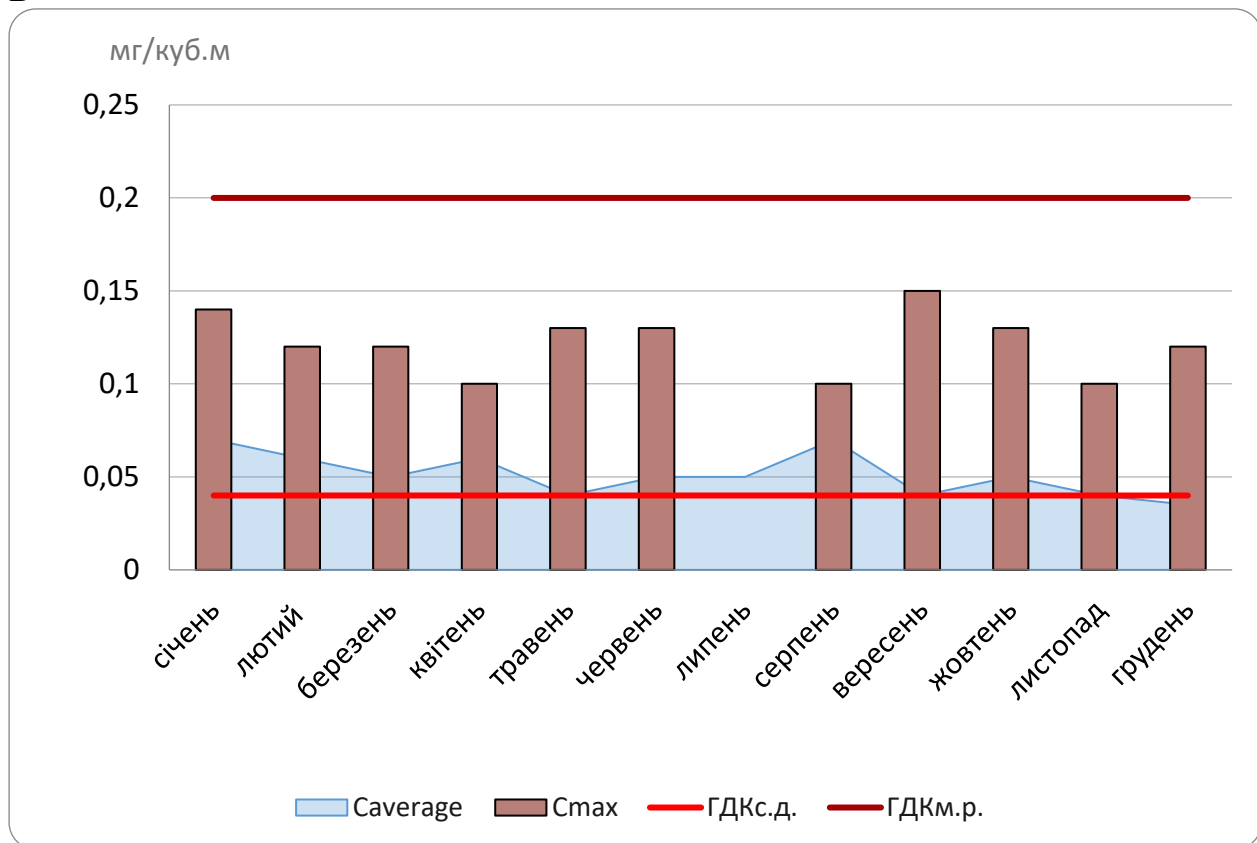
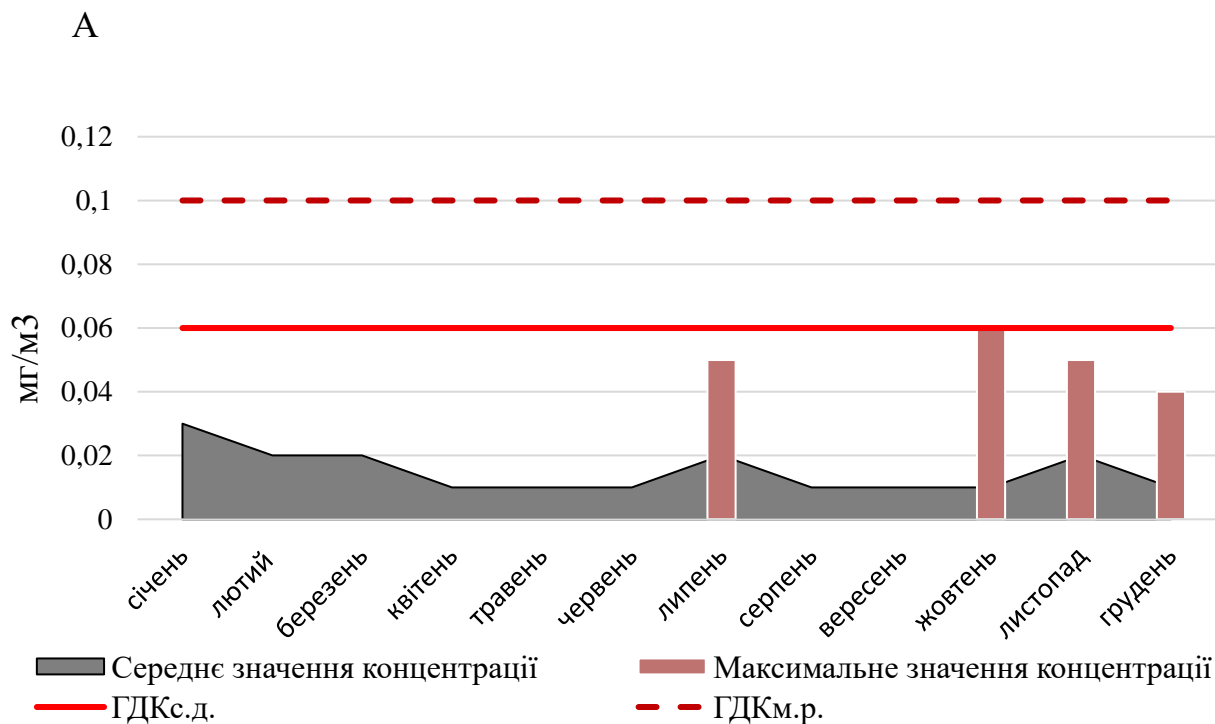


Рис. 3. Динаміка середньомісячних (А - за 2015-2021 рр., Б – ЗА 2022-25 рр.) об'ємних концентрацій діоксиду азоту у повітрі м. Миколаєва за середніми і максимальними величинами, мг/м³



Б

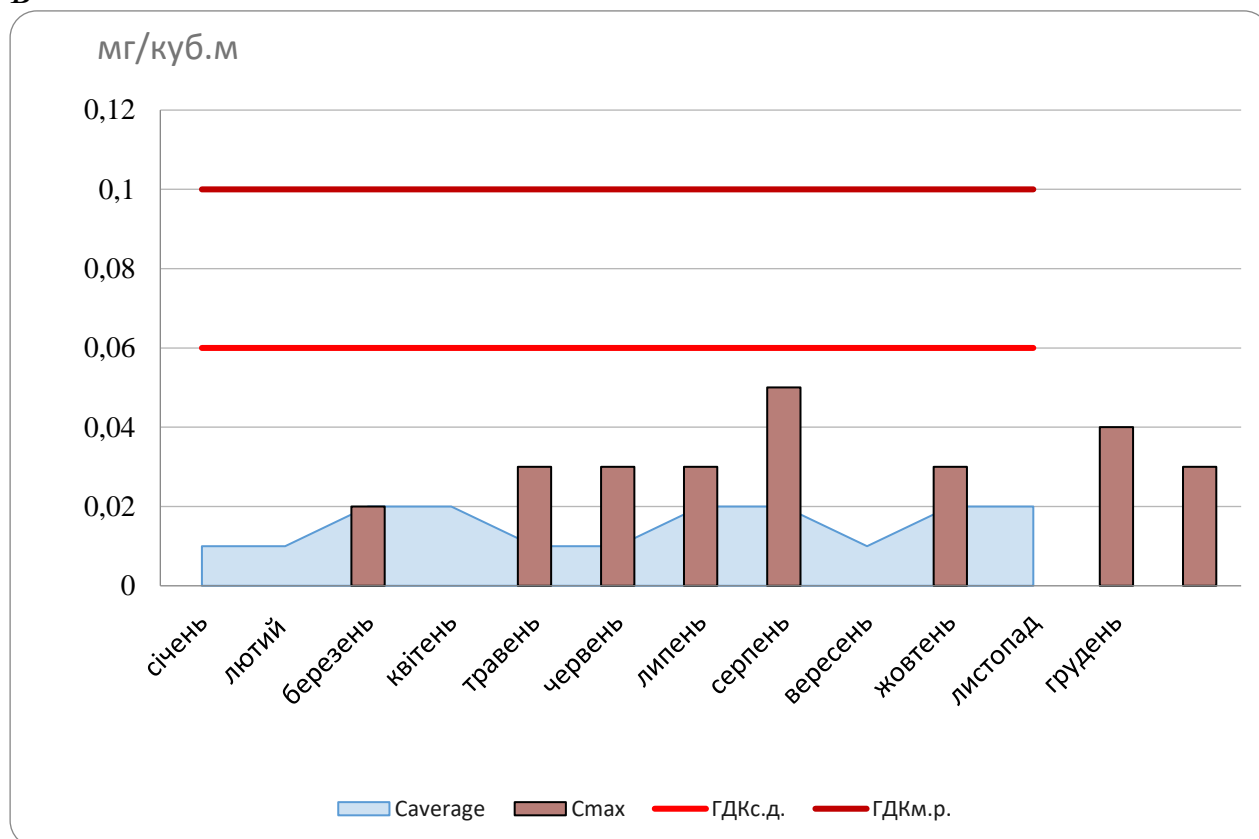
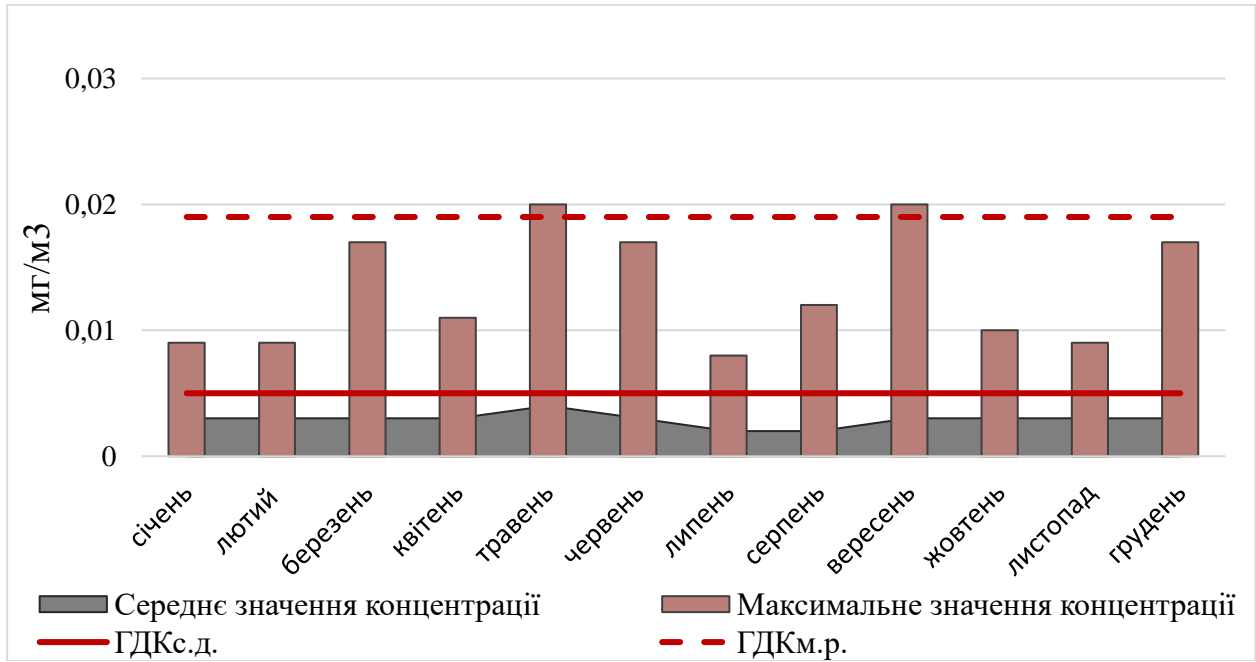


Рис. 4. Динаміка середньомісячних (А - за 2015-2021 рр., Б – за 2022-25 рр.) об'ємних концентрацій оксиду азоту у повітрі м. Миколаєва за середніми і максимальними величинами, мг/м³

А



Б

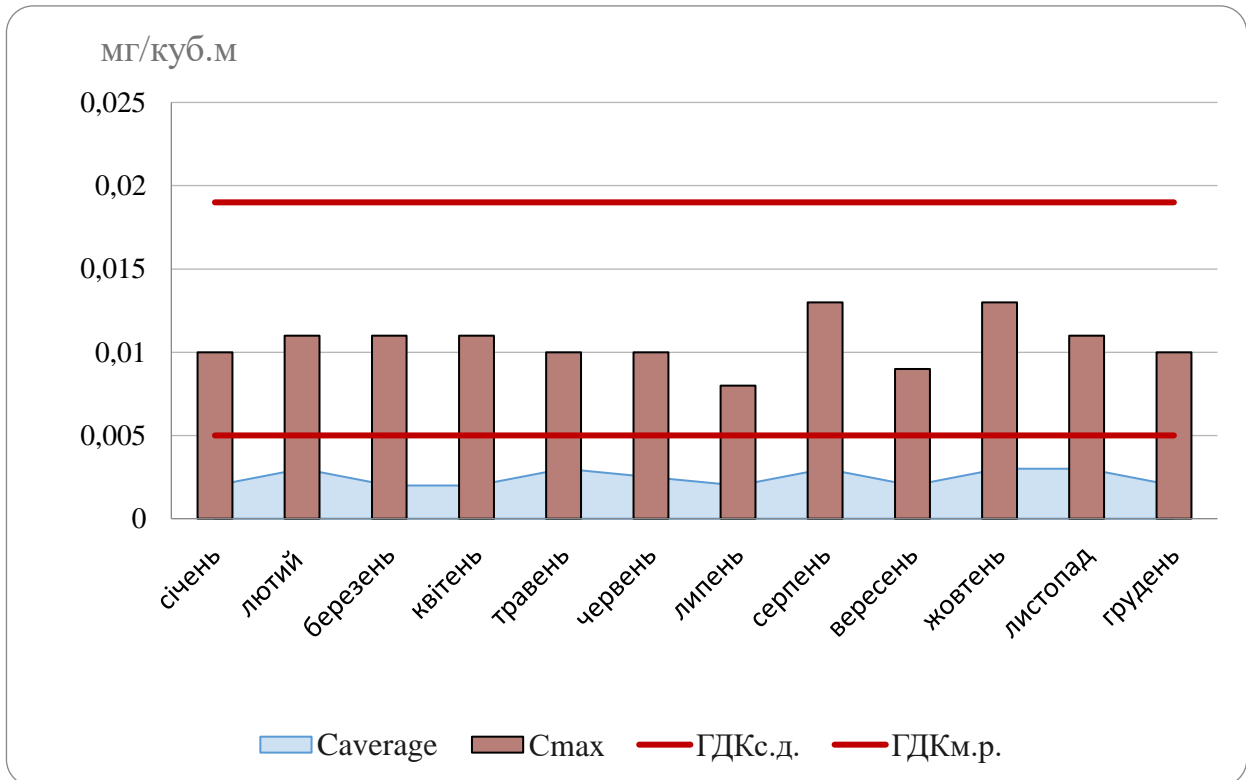
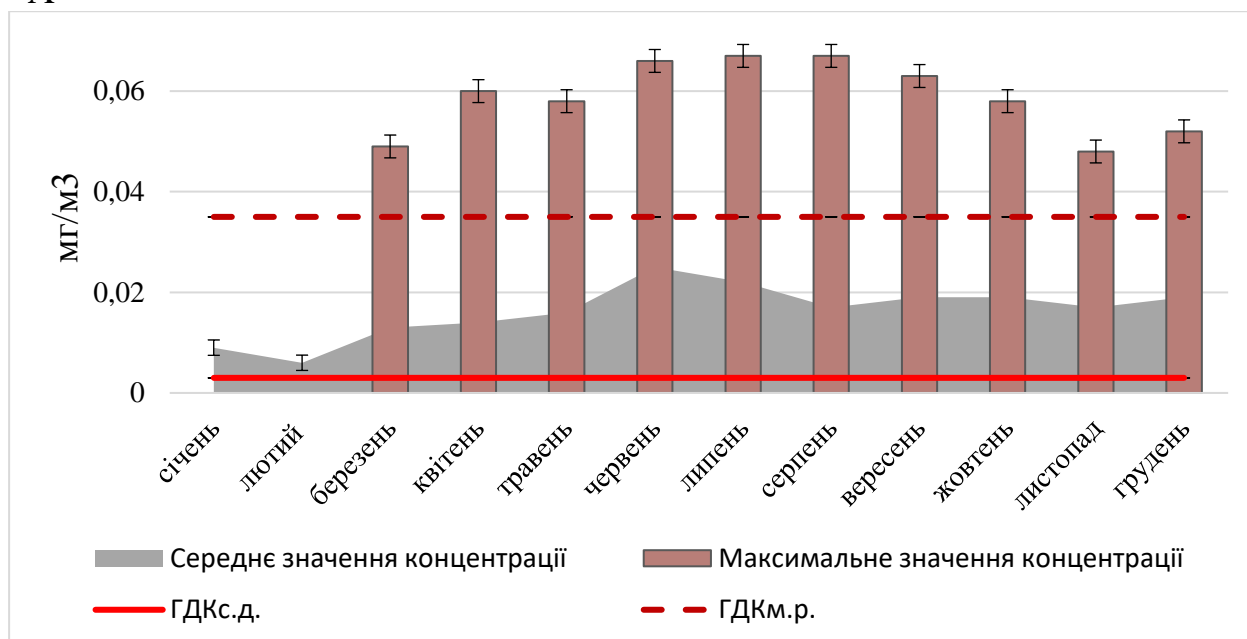


Рис. 5. Динаміка середньомісячних (А - за 2015-2021 рр., Б – за 2022-25 рр.) об'ємних концентрацій фтороводню у повітрі м. Миколаєва за середніми і максимальними величинами, МГ/М³

А



Б

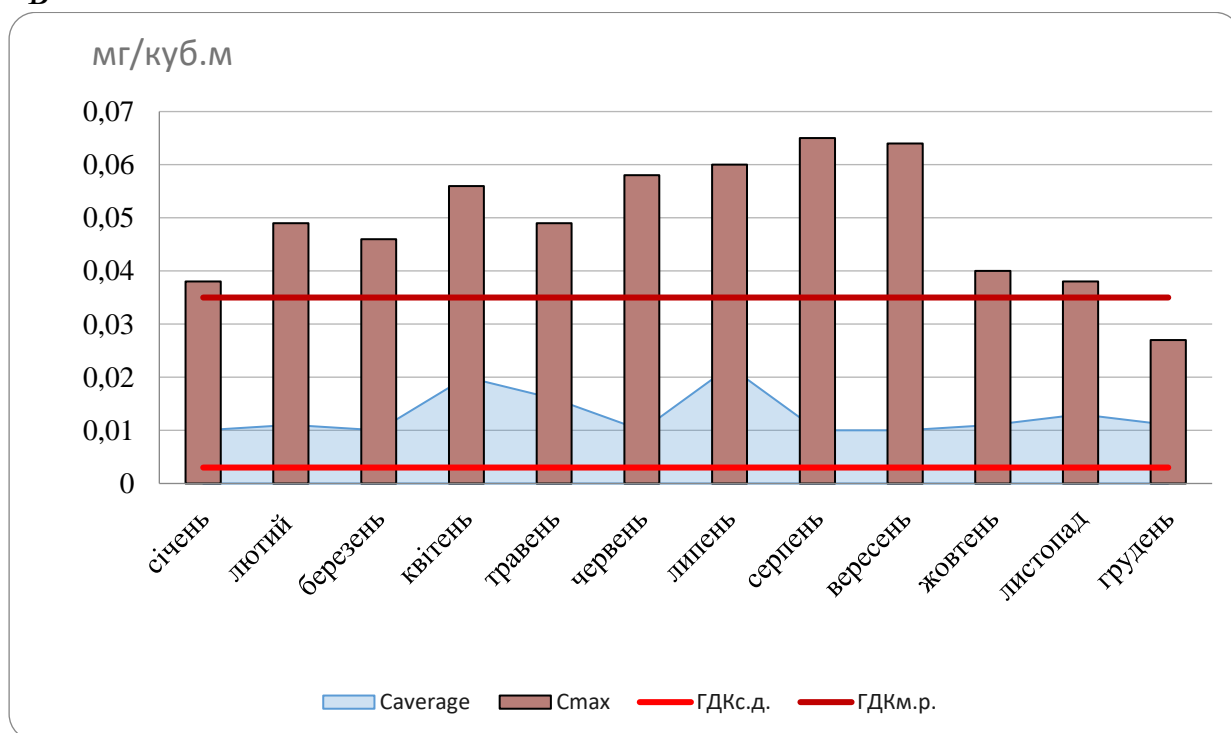


Рис. 6. Динаміка середньомісячних (А - за 2015-2021 рр., Б – ЗА 2022-25 рр.) об'ємних концентрацій формальдегіду у повітрі м. Миколаєва за середніми і максимальними величинами, mg/m^3

Додаток Б. Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Публікації у наукових фахових виданнях України

1. Григор'єв К. Екологічний моніторинг стану атмосферного повітря за індикативними вимірюваннями /А.О. Алексєєва, Л.І. Григор'єва, О.В. Макарова, Ю.М. Буровицька, К.В. Григор'єв. *Екологічні науки*. №47. 2023. С. 137-142.

URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2023/2/22.pdf>

DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.22>

(Особистий внесок автора: Спостереження за допомогою індикативних вимірювань за вмістом PM_{2,5}, PM₁₀, CH₂O та порівняння даних за системою фіксованих вимірювань. Показано різницю в 1,5-1,8 разів між результатами фіксованих та індикативних вимірювань. Обгрунтовано що при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований за фіксованими вимірюваннями і доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій індикативних вимірювань якості повітря)

Ключові слова: атмосферне повітря, забруднення, екологічний моніторинг, індикативні вимірювання, фіксовані вимірювання, формальдегід, пил.

2. Григор'єв К. Оцінка стану атмосферного повітря у місті Миколаєві. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. №4. С. 121-129.

URL: <https://journals.vnu.volyn.ua/index.php/chemistry/article/view/1558>

DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-5>

Ключові слова: екологічний моніторинг, полутанти атмосферного повітря, індекс забруднення атмосфери, індикативні вимірювання

3. Григор'єв К. Викиди хімічних поллютантів автотранспортом у місті Миколаєві під час війни. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2025. №1. С.58-63. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-1-8>

URL: <https://journals.vnu.volyn.ua/index.php/chemistry/article/view/2214>

DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-1-8>

Ключові слова: викиди хімічних поллютантів, громадський автотранспорт, транзитний автотранспорт, атмосферне повітря

4. Григор'єв К., Григор'єва Л. Радіоактивні опади в атмосфері та їх радіоекологічний моніторинг у контексті військових дій. *Український журнал природничих наук*. 2025. №12. С.344-352.

(Особистий внесок автора: Проведення радіоекологічних досліджень з оцінювання радіонуклідного складу опадів з атмосфери в м. Миколаєві, потужності ефективної дози атмосферного повітря. Аналіз результатів бета-гамма-спектрометрії проб опадів з атмосфери у м. Миколаєві. Узагальнення висновків щодо наукової новизни відносно розширення уявлення про формування радіоекологічної ситуації під час воєнного часу, яка може визначатися розповсюдженням у просторі чистих бета-випромінюючих радіонуклідів і потребуватиме додаткового її обстеження.)

URL: <https://naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns/article/view/327>

DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.34>

Ключові слова: опади з атмосфери, радіонукліди, потужність ефективної дози, радіоактивна хмара, радіоекологічний моніторинг

5. Григор'єв К., Алексеєва А. Екологічний моніторинг хімічних поллютантів атмосферного повітря у місті Миколаєві у воєнні часи. *Екологічні науки*. 2025. №3(60). С. 160-165.

URL: <https://naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns/article/view/327>

DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.26>

(Особистий внесок автора: аналіз результатів власних спостережень за вмістом пилу, формальдегіду у повітрі м. Миколаєва за допомогою станцій

індикативних вимірювань та узагальнення рівня забруднення атмосферного повітря через комплексний індекс забруднення атмосфери).

Ключові слова: екологічний моніторинг, фіксовані вимірювання, індикативні вимірювання, пил, формальдегід, індекс забруднення.

6. Григор'єв К. Ефективна доза іонізуючого випромінювання від викидів ^{131}I з АЕС. / К.В. Григор'єв, Л.І. Григор'єва // *Екологічні науки*. 2025. 3(60). С. 37-40.

URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2025/60/8.pdf>

DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.6>

(Особистий внесок автора: Аналіз складу газоаерозольних викидів ПАЕС та визначення об'ємної активності ^{131}I у повітрі. Обґрунтування вибору ^{131}I в якості реперного радіонукліду при моделюванні формування ефективної дози опромінення населення від викидів АЕС).

Ключові слова: газоаерозольні викиди АЕС, ^{131}I , фактор метеорологічного розбавлення, ефективна доза.

7. Григор'єв К. Методологія використання дозових цін при експрес-оцінюванні та моделюванні ефективної дози від газоаерозольних викидів радіонуклідних поллютантів. / Л.І. Григор'єва, К.В. Григор'єв // *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2025. №4. С.26-37.

URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2025/60/8.pdf>

DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.6>

(Особистий внесок автора: Аналіз складу газоаерозольних викидів ПАЕС та визначення об'ємної активності ^{131}I у повітрі. Обґрунтування вибору ^{131}I в якості базового радіонукліду при моделюванні формування ефективної дози опромінення населення від викидів АЕС).

Ключові слова: газоаерозольні викиди АЕС, ^{131}I , фактор метеорологічного розбавлення, ефективна доза.

Публікації у наукових виданнях інших держав, що входять до міжнародних наукометричних баз (Scopus)

8. Григор'єв К. Радіоекологічний ризик винесення радіонуклідів у довкілля з викидами та скидами АЕС /Л.І. Григор'єва, Ю.А. Томілін, К.В. Григор'єв. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. 1(53). С. 30-36.

<https://nasplib.isofts.kiev.ua/items/dedb45d6-84fd-4423-b743-c8d38b8c1b83>

(Scopus).

URI: <https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/97211>

(Особистий внесок автора: узагальнення даних математичними методами та прогнозування ефективної дози опромінення людини від газоаерозольних викидів радіонуклідів).

Ключові слова: газоаерозольні викиди, рідкі скиди АЕС, дозова ціна, радіоекологічний ризик.

9. Григор'єв К. Експрес-прогноз дозового навантаження на населення від газоаерозольних викидів АЕС /Л.І. Григор'єва Л.І., Ю.А.Томілін, К.В. Григор'єв. *Ядерна фізика та енергетика*. 2014. Т.15. №3. С. 269-276.

(Scopus).

URL: <https://jnrae.kinr.kyiv.ua/15.3/html/jnrae-2014-15-269-Grygorieva.html>

DOI: <https://doi.org/10.15407/jnrae2014.03.269>

(Особистий внесок автора: Визначення потужності експозиційної дози відкритої місцевості в місцях розташування стаціонарних постів спостереження 30-кілометровій зони ПАЕС).

Ключові слова: газоаерозольні викиди АЕС, ¹³¹I, фактор метеорологічного розбавлення, ефективна доза.

Наукові праці, в яких додатково відображено наукові результати дисертації:

10. Grygoriev K. Update of approaches to the Radiation and Environmental monitoring system of atmospheric air. /K. Grygoriev, A. Alekseyeva. *Environmental and radiation safety*. 2024. V.1. Number 1. P.8-12.

URL: <https://ers-journal.com.ua/index.php/journal/article/view/14>

DOI: <https://doi.org/10.34132/>

(Особистий внесок автора: проаналізовано досвід організації ефективної системи радіаційного моніторингу атмосферного повітря в Миколаївській області, а також інших матеріалів власних спостережень за можливими радіаційними загрозами та наукових матеріалів щодо організації радіаційного моніторингу з використанням датчиків для індикативних вимірювань показників якості атмосферного повітря. Показано, що система радіаційного моніторингу атмосферного повітря може ґрунтуватися на індикативних вимірюваннях потужності опромінення або еквівалентної дози (залежно від калібрування), але з обов'язковим калібруванням датчиків станції радіоактивним йодом.)

Ключові слова: газозаерозольні викиди АЕС, ^{131}I , фактор метеорологічного розбавлення, ефективна доза

11. Grygoriev K. System of Research Methods for Radioecological Monitoring of Atmospheric Air During Military Operations. /K. Grygoriev, L. Grygorieva. *European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects*: Monograph. Mykolaiv: PMBSNU. Bristol: UWE. 2025. P.90-102.

ISBN 978-617-8176-43-3

Keywords: radioecological monitoring, atmospheric air, atmospheric precipitation, radiometry, sampling

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації (тези конференцій)

- Григор'єв К. Пропозиції до радіаційного моніторингу атмосферного повітря під час воєнних дій. *Європейське майбутнє: філософсько-освітні студії*»: I міжнар. наук.-практ. конф.: тези доповідей, м. Херсон, м. Хмельницький: ХНТУ, 9-10 червня, 2024. – С. 105.

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Григор'єв К., Алексєєва А. Радіоекологічна оцінка атмосферних випадінь на Миколаївщині під час воєнних дій. *Радіаційна, техногенно-екологічна та біологічна безпека: стан, шляхи і заходи покращення*: XIX міжнар. наук. конф.: тези доповідей, Миколаїв: ЧНУ імені Петра Могили, 20-23 червня 2024 р. С. 161-164.

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Григор'єв К. Індикативні вимірювання полютантів для вирішення атмосферних небезпек поблизу маслоекскракційного заводу. *Радіаційна, техногенно-екологічна та біологічна безпека: стан, шляхи і заходи покращення*: XIX Міжнародна наукова конференція: тези доповідей. м. Миколаїв, 20-23 червня 2024 р. – С. 135-37.

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Grygoriev K. Radioecological monitoring of atmospheric air during military operations. *European dimensions of the sustainable development: Selected Papers of the VI International Conference on European Dimensions of Sustainable Development*. May 15-17, 2024. Kyiv: NUFT. – P. 459-465.

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Григор'єв К.. Модернізація системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря: уроки війни. *Екологічна безпека в умовах війни*: збірник тез доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 21 листопада 2024 р. Львів: ЛДУБЖД, 2024. – С.117-118.

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Григор'єв К. Еколого-радіаційний моніторинг атмосферного повітря у місті Миколаєві. *Миколаївські міські читання: Всеукр. наук.-практ. конф.: тези доповідей*, м. Миколаїв, листопад, 2024. – С. 38.

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Grygoriev K. Improvement of environmental and radiation monitoring of atmospheric air in urban agglomerations (in case of military). *Могілянські читання-2024: XXVII Всеукраїнська науково-практична конференція: тези доп.* Миколаїв: ЧНУ імені Петра Могили, 6-10 листопада 2024. – С. 18-19.

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Григор'єв К.. Радіонуклідний склад випадінь з атмосфери на Миколаївщині. *Євроінтеграція екологічної політики України: VI Всеукр. наук.-практ. конф.: тези доп.*, Одеса, 6 листопада 2024 р. – С.144-146.

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Григор'єв К. Моделювання дозового навантаження від радіоактивних викидів при управлінні радіаційно-екологічною безпекою територій. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: X Міжнар. молод. конгрес, 27-28 березня 2025, Львів.* – С. 59

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Григор'єв К. Радіоекологічний моніторинг стану атмосферного повітря на Миколаївщині. *Екологічна безпека держави: XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, 17 квітня 2025 року, Київ.* – С. 60.

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Григор'єв К. Газоаерозольні викиди радіонуклідів з АЕС та середньоіндивідуальна ефективна доза для населення та середньоіндивідуальна

ефективна доза для населення прилеглих міських агломерацій. *Радіаційна, техногенно-екологічна та біологічна безпека: стан, шляхи і заходи покращення: XX м/н наук. конф.: тези доповідей. 09 червня 2025. Миколаїв. – С. 132-135.*

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Grygoriev K. Improving the Informational Content of Radiation Monitoring of Atmospheric Air During the War. *European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects: Proceedings of the International Conference, June 5-7, 2025 Mykolaiv: PMBSNU, 2025. – P. 30-31.*

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

- Григор'єв К. Радіоекологічний моніторинг стану атмосферного повітря на Миколаївщині. *Environmental Safety of the State: abstracts of XVII Pan-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students, April 18, 2024. К.: КАІ, 2025. – С.48-50.*

Форма участі – усна доповідь, публікація тез.

Додаток В. Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження



УКРАЇНА
МИКОЛАЇВСЬКА МІСЬКА РАДА
ДЕПАРТАМЕНТ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА
ЗАПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
МИКОЛАЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ

вул. Адміральська, 20, м. Миколаїв, 54001, (0512) 37 10 70
email: d_energy@mkrada.gov.ua
Код ЄДРПОУ 41210490

АКТ

про впровадження науково-практичних результатів

дисертаційної роботи аспіранта кафедри екології Чорноморського
національного університету

імені Петра Могили

Григор'єва Костянтина

У департаменті енергетики, енергозбереження та запровадження інноваційних технологій Миколаївської міської ради розглянуто результати дисертаційної роботи Григор'єва Костянтина за темою «Еколого-радіаційний моніторинг атмосферного повітря агломерацій». У роботі містяться ряд результатів та корисних висновків і рекомендацій, які можуть бути застосовані у роботі департаменту.

Такими результатами є методичні рекомендації щодо ідентифікації вмісту в атмосферному повітрі радіонуклідних полунуклідів та оцінюванні радіаційної ситуації за показниками ефективної дози, а також запропонована відповідна комп'ютерна програма. Також заслуговують уваги пропозиції щодо розроблення SMART-системи еколого-радіаційного моніторингу повітряного середовища міських та приміських агломерацій з підвищеними вантажними автотранспортними потоками.

Ці матеріали впроваджено у роботу Департаменту енергетики, енергозбереження та інноваційних технологій Миколаївської міської ради і можуть бути використані у заходах підвищення стійкості міської громади.

Директор департаменту енергетики,
енергозбереження та запровадження
інноваційних технологій
Миколаївської міської ради

Алла ЛУЦЬКА

АКТ
про впровадження науково-практичних результатів
дисертаційної роботи аспіранта кафедри екології
ЧНУ імені Петра Могили Григор'єва Костянтина

Результати дисертаційної роботи аспіранта Григор'єва Костянтина за темою «Еколого-радіаційний моніторинг атмосферного повітря агломерацій», у частині запропонованої методики коригування результатів вимірювань вмісту формальдегіду на відкритому просторі для їх використання у системі екологічного моніторингу атмосферного повітря, а також розроблена методика експрес-оцінювання індивідуальної дози опромінення людини при викидах з АЕС, разом з рекомендаціями щодо впровадження радіометрії проб опадів з атмосфери для ідентифікації радіонуклідного забруднення, розглянуто та частково задіяно у роботі відділу впровадження екологічної політики управління сталого розвитку міста ДЖКГ Миколаївської міської ради.

Ці матеріали сприятимуть формуванню стійкості міських агломерацій та приміських зон до реагування на несприятливий стан атмосферного повітря та повітряного середовища відкритої місцевості.

Начальник відділу впровадження
екологічної політики управління
сталого розвитку міста ДЖКГ
Миколаївської міської ради



Ірина БАБІЙ

АКТ
впровадження результатів дисертаційного дослідження
на здобуття рівня PhD (доктор філософії) зі спеціальності
101 «Екологія» аспіранта кафедри екології
Григор'єва Костянтина Володимирівича

Результати дисертаційної роботи Григор'єва К.В. у частині отриманих результатів досліджень, спрямованих на розв'язок задачі вдосконалення системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря у міських агломераціях та їхніх приміських зонах, де вплив на стан атмосферного повітря вносять як стаціонарні, так і пересувні джерела викидів атмосферних поллютантів, а у воєнні часи підвищується ймовірність впливу викидів радіонуклідних поллютантів розташованими поблизу атомними електростанціями.

Отримані результати полягають у розширенні переліку вимірюваних показників за допомогою станцій індикативних вимірювань, включення в систему екологічного моніторингу бета-радіометрії атмосферних опадів та використання методики дозових цін при експрес-оцінюванні та моделюванні ефективної дози від газоаерозольних викидів радіонуклідних поллютантів. Це дозволить:

- формуванню стійкості міських аглоерацій та приміських зон до реагування на несприятливий стан атмосферного повітря та повітряного середовища відкритої місцевості;
- наблизити впровадження у систему державного моніторингу атмосферного повітря світових підходів через запровадження індексу якості атмосферного повітря (AQI);
- оперативно оцінювати стан атмосферного повітря за вмістом основного поллютанта пересувних транспортних джерел – формальдегіду (CH₂O);
- ідентифікації вмісту в атмосферному повітрі радіонуклідних поллютантів та оцінюванні радіаційної ситуації за показниками ефективної дози;
- оперативно розраховувати та оцінювати ефективну дозу іонізуючого випромінювання від радіонуклідних поллютантів атмосферних викидів.

Ці результати дисертаційної роботи впроваджені у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили при виконанні планових наукових досліджень за темою науково-дослідної роботи «Радіаційно-екологічна та електромагнітна безпека населених пунктів» (реєстраційний № НДР 0124U002910, термін виконання 2024-2027 рр.)

Проректор з наукової роботи
ЧНУ імені Петра Могили



Роман ДІНЖОС

Провідний фахівець відділу науково-інноваційного супроводу освітнього процесу
ЧНУ імені Петра Могили

Ірина ЛАЗАРЕНКО