

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

МАКСЮТА НАТАЛІЯ СЕРГІЇВНА

УДК 504.3/.7

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**УДОСКОНАЛЕННЯ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**  
**АГЛОМЕРАЦІЙ (НА ПРИКЛАДІ М. ПОЛТАВА)**

183 Технології захисту навколишнього середовища  
18 Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

\_\_\_\_\_/Н.С. Максюта/

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник

Голік Юрій Степанович, к. т. н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Полтава – 2021

## Анотація

**Максюта Н.С. Удосконалення моніторингу атмосферного повітря агломерацій (на прикладі м. Полтава).** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 183 – «Технології захисту навколишнього середовища». Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, 2021.

Результатом проведення комплексу теоретичних та експериментальних досліджень у дисертаційній роботі обґрунтовано наукові положення та запропоновано рекомендації, які дозволяють розв'язати актуальне науково-практичне завдання щодо моніторингу стану атмосферного повітря в агломераціях, як інструменту захисту навколишнього середовища.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше впроваджено системний громадський моніторинг за станом атмосферного повітря міста як інструмент в імплементації удосконаленої структури взаємодії державного контролю та громадськості.

Проаналізовано методи оцінки стану забруднення атмосферного повітря в українській та закордонній практиці. Визначено основні недоліки найбільш широко використовуваних підходів оцінки стану забруднення атмосфери з точки зору їх відповідності сучасним пріоритетам щодо моніторингу якості повітря урбанізованих систем.

Розраховано розсіювання забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери від стаціонарних джерел викиду міста за допомогою програми ЕОЛ. Проведено аналіз стану забруднення атмосферного повітря за даними стаціонарних постів спостереження та державної статистики. Здійснено

порівняльний аналіз стану забруднення атмосферного повітря міст Лейпциг (Німеччина) та Полтава. Проаналізовано деяку залежність якості атмосферного повітря від показника метеорологічного потенціалу атмосфери міста та залежність якості атмосферного повітря. Удосконалено обрахування вказаного показника, в особливості його річного значення для міста Полтава (приведення коефіцієнту теплового потенціалу до середньорічних температур, та прив'язка до норм кількості опадів). Встановлено, що головною проблемою є відсутність спостережень за PM2.5 та PM10 відповідно до постанови КМ від 14 серпня 2019 року №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря», відсутність автоматизованого аналізу забруднення повітря та відсутність широкого інформування та зацікавлення громадськості щодо стану атмосферного повітря міста.

Виявлено ряд недоліків діючої системи моніторингу атмосферного повітря міста. Запропоновано та введено в дію мережу громадського моніторингу, що на час експерименту включила заміри за допомогою 9 датчиків визначення концентрації твердих часток. Надано рекомендації встановлення датчиків вимірювання та приклад оптимального розбиття сітки міста для ефективного вимірювання запиленості повітря міста, та для подальшого інформування населення. На основі отриманих даних громадського контролю складено базу даних для порівняння значень концентрацій PM2.5 від метеорологічних параметрів. Складено базу даних для встановлення взаємозв'язку з метеорологічними параметрами, виведено та розраховано рівняння залежності їх впливу, та побудовано трьох вимірні моделі залежності забруднення повітря PM2.5 та наступних метеорологічних параметрів: температура повітря, швидкість вітру, вологість повітря.

Задля інформування населення щодо отриманих даних реалізовано веб-сайт для публікацій результатів вимірювання рівня забруднення атмосферного повітря за допомогою громадського контролю. В результаті розрахунки та аналітичні

дослідження перетворюються у зрозумілі користувачеві тематичні карти забруднення атмосферного повітря міста PM2.5 та PM10.

Обґрунтовано можливість імплементації Порядку здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря, враховуючи результати впровадження громадського моніторингу міста. Відмічено, що мережа громадського моніторингу виступає допоміжним інструментом в імплементації постанови щодо здійснення моніторингу.

Надані рекомендації щодо удосконалення існуючої системи моніторингу з огляду укомплектування сучасним автоматизованим обладнанням стаціонарних постів спостереження. Наведено рекомендації щодо типів газоаналізаторів, та їх головні характеристики, що можуть бути використані при плануванні укомплектування постів спостереження.

**Ключові слова:** агломерація, атмосферне повітря, громадськість, державний контроль, інформування населення, карта забруднень, метеорологічні фактори, моніторинг, пил, порівняльний аналіз, спостереження, стан забруднення, тверді частки, PM2.5, PM10.



## Abstract

***Nataliia Maksiuta. Improving the monitoring of agglomerations atmospheric air (on the example of Poltava).*** – Qualifying scientific work as a manuscript.

The dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy in specialty 183 – «Environmental protection technologies». National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, 2020.

On the result of a set of theoretical and experimental studies in the dissertation, the scientific provisions and recommendations that allow solving the current scientific and practical problem of monitoring the state of atmospheric air in agglomerations are substantiated as a tool for environmental protection.

The scientific novelty of the obtained results is that the systematic public monitoring of the city air was introduced for the first time as a tool in the implementation of an improved structure of interaction between state control and the public.

Methods for assessing the air pollution in Ukrainian and foreign practice are analyzed. The main shortcomings of the most widely used approaches to assessing the air pollution in terms of their compliance with modern priorities for air quality monitoring in urban systems are identified.

The scattering of pollutants in the surface layer of the atmosphere from stationary sources of urban emissions using the EOL program is calculated. The analysis of air pollution according to the stationary observation posts and state statistics is carried out. A comparative analysis of air pollution in Leipzig (Germany) and Poltava is provided. Some dependence of atmospheric air quality on the indicator of the meteorological potential as for the city atmosphere and dependence of atmospheric air quality is analyzed. The calculation of this indicator has been improved, especially its annual value for Poltava (bringing the coefficient of thermal potential to average annual temperatures, and linking it to the norms of precipitation). It is established that the main

problem is the lack of monitoring of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in accordance with the Resolution of the Cabinet of Ministers of August 14, 2019 No. 827 «Some issues of state monitoring in the field of air protection», lack of automated analysis for air pollution and insufficient public informing and interest in the state of the city air.

Methods for assessing the state of air pollution in Ukrainian and foreign practice are analyzed. The main shortcomings of the most widely used approaches to assessing the state of air pollution in terms of their compliance with modern priorities for air quality monitoring of urban systems are identified.

The scattering of pollutants in the surface layer of the atmosphere from stationary sources of urban emissions using the EOL program is calculated. The analysis of the state of air pollution according to the data of stationary observation posts and state statistics is carried out. A comparative analysis of the state of air pollution in Leipzig (Germany) and Poltava is provided. Some dependence of atmospheric air quality on the indicator of the meteorological potential of the city atmosphere and dependence of atmospheric air quality is analyzed. The calculation of this indicator has been improved, especially its annual value for Poltava (bringing the coefficient of thermal potential to average annual temperatures, and linking it to the norms of precipitation). It is established that the main problem is the lack of monitoring of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in accordance with the Resolution of the Cabinet of Ministers of August 14, 2019 №827 «Some issues of state monitoring in the field of air protection», lack of automated analysis of air pollution and lack of public information and interest about the state of the city air.

A number of shortcomings of the current city air monitoring system have been identified. A public monitoring network was proposed and put into operation, which at the time of the experiment included measurements using 9 sensors for determining the concentration of particulate matter. Recommendations for the installation of measurement sensors and an example of optimal division of the city grid for effective city air dust measurement, and for further informing the population. Based on the data

obtained from the public control, a database was compiled to compare the values of PM<sub>2.5</sub> concentrations from meteorological parameters. A database was compiled to establish the interrelation with meteorological parameters, the equation of their dependence was derived and calculated, and three-dimensional models of dependence for PM<sub>2.5</sub> air pollution and the meteorological parameters (air temperature, wind speed, humidity) were constructed.

In order to inform the population about the obtained data, a website was implemented where results of measuring the air pollution level through public control are published. As a result, calculations and analytical studies are transformed into user-friendly thematic maps PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> of air pollution in the city.

The possibility of implementation of the Procedure for state monitoring in the field of air protection is substantiated, taking into account the results obtained from the implementation of the city public monitoring. It is noted that the public monitoring network acts as an auxiliary tool in the implementation of the resolution on monitoring.

Recommendations for improving the existing monitoring system with regard to setting up the stationary observation posts with modern automated equipment are provided. Recommendations on the types of gas analyzers and their main characteristics that can be used for setting up the observation posts are given.

**Keywords:** agglomeration, atmospheric air, public, state control, informing the population, pollution map, meteorological factors, monitoring, dust, comparative analysis, observation, state of pollution, particulate matter, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>.

## Список опублікований праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях, які включені до науково-метричних баз даних Scopus:

1. N. Maksiuta, Yu. Golik, O. Iliash. Urban "heat-island effect" and its connection with architectural and climatic features on the example of Poltava. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2) (2018), published on: 20-06-2018, pp. 597-601, DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14598.
2. N. Maksiuta, Yu. Golik. Comparative Analysis of Pollution of Atmospheric Air in Cities (an Example of Leipzig and Poltava). *Proceedings of CEE 2019 - Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering, volume 47 - ISSN 2366-2565 Lecture Notes in Civil Engineering*, volume 47, pp. 260-267, DOI: 10.1007/978-3-030-27011-7.
3. Golik Yu., Iliash O., Chuhlib Yu., Maksiuta N. Environmental areas of Poltava planning development. *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations (2020) - ISSN 2366-2565 Lecture Notes in Civil Engineering*, pp. 375-383, DOI: 10.1007/978-3-030-42939-3.

Статті у наукових фахових виданнях України:

4. N. Maksiuta, Yu. Golik. Analysis of atmospheric air of Poltava city. *ISSN 2073-5057 Scientific journal «Ecological safety» Issue 1/2016 (21)*. – Kremenchuk: KrNU, 2016, pp. 60-63.
5. N. Maksiuta, Yu. Golik. Comprehensive study of atmospheric pollution in cities. *Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво*, №1(50), Полтава: ПолтНТУ, 2018, С. 285–291, DOI: 10.26906/znp.2018.50.1087.
6. Holik Yu., Maksiuta N. Establishment of a network for the public atmospheric air monitoring and informing the population. *Technology audit and production reserves (2020) – №4/3(54)*, pp. 36-40, DOI: 10.15587/2312-8372.2020.210376.

Результати, опубліковані в документах регіонального значення:

7. Ю.С. Голік, В.М. Калініченко, В.П. Волік, М.Є. Шиянов, Н.С. Максюта. План дій сталого енергетичного розвитку міста Полтави до 2020 року, затверджений рішенням дев'ятої сесії Полтавської міської ради сьомого скликання від 31 січня 2017 року, 65 с.

8. В.О. Онищенко, Ю.С. Голік, О.Е. Ілляш, Н.С. Максюта та ін. Регіональна програма охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на 2017–2021 роки («Довкілля – 2021»). – Полтава, 2017. – 131с.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Н.С. Максюта, Ю.С. Голік. Комплексна оцінка атмосферного повітря міста Полтави. *Збірник матеріалів 4-ого Міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»* (21–23 вересня 2016 р.). – Львів, 2016, с.22.

10. Н.С. Максюта, Ю.С. Голік. Перспективи комплексного аналізу стану атмосферного повітря (на прикладі міста Полтава). *Матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів «Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку»* (7–15 листопада 2016 р.). – Ірпінь: УДФСУ, 2016, с.139–141.

11. Н.С. Максюта, Ю.С. Голік. Перспективи аналізу стану забруднення атмосферного повітря міста Полтава. *Матеріали IV Міжнародної наукової конференції молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»* (1–2 грудня 2016 р.). – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016, с.129–131.

12. Н.С. Максюта, Ю.С. Голік. Актуальність дослідження стану забруднення атмосферного повітря міста Полтава. *Збірник наукових праць за матеріалами IX Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми й*

*перспективи розвитку академічної та університетської науки» (7–9 грудня 2016 р.). – Полтава: ПолтНТУ, 2016, с.129–132.*

13. Н.С. Максюта. Обґрунтування проведення оцінки стану атмосферного повітря міста за допомогою методів біоіндикації. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства» (27–28 квітня 2017 р.). – Тернопіль: Крок, 2017, с.71–73.*

14. Н.С. Максюта, Ю.С. Голік. ГІС технології в управлінні якістю довкілля міста. *Збірник наукових праць за матеріалами X Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки» (6–8 грудня 2017 р.). – Полтава: ПолтНТУ, 2017, С. 196–200.*

15. Голік Ю.С., Ілляш О.Е., Чухліб Ю.О., Максюта Н.С. Екологічні напрями планування розвитку міста Полтави. *Збірник наукових праць II Міжнародної українсько-азербайджанської конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2019», 23 – 24 травня 2019 року – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – С. 249-251.*

16. Ю.С. Голік, О.Е. Ілляш, Н.С. Максюта. Кліматичні особливості міста та острів тепла. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Архітектура: Естетика+Екологія+Економіка». — Полтава: ПолтНТУ, 2019. – С. 92-93.*

17. Н.С. Максюта. ГДК забруднюючих речовин на території міста (Україна – Європа). *Тези 72-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету, присвяченої 90-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Том 1. (Полтава, 21квітня –15травня 2020р.) – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2020. – С. 285-286.*

18. Голік Ю.С., Ілляш О.Е., Максюта Н.С. Концепція створення громадського моніторингу стану забруднення атмосферного повітря в місті Полтава. *Збірник наукових праць III Міжнародної азербайджансько-української науково-практичної конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2020»*, 1 – 2 червня 2020 року – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка», 2020. – С. 271-273.

19. Голік Ю.С., Максюта Н.С. Громадський моніторинг як інструмент контролю стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції «ENVIRONMENT PROTECTION - 2020»*, 5 червня 2020 року. Випуск 1. – Київ: Київського національного університету будівництва і архітектури, 2020. – С. 22-23.

## Зміст

<b>Вступ .....</b>	<b>18</b>
<b>Розділ 1. Аналіз методів моніторингу за станом забруднення атмосферного повітря в місті .....</b>	<b>23</b>
1.1. Роль методів біоіндикації в оцінці рівня забруднення атмосферного повітря .....	23
1.2. Методи розрахунку індексів забруднення атмосферного повітря ..	26
1.3. Застосування технологій географічно-інформаційних систем для аналізу якості атмосферного повітря міста .....	29
1.4. Визначення впливу метеорологічних факторів на стан забруднення атмосферного повітря .....	35
1.5. Стационарні пости спостереження за рівнем забруднення атмосферного повітря .....	42
1.6. Пересувні пости спостереження за станом атмосферного повітря (на прикладі м. Кременчук) .....	45
1.7. Гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин в Україні та Європі .....	48
1.8. Порівняльний аналіз методів оцінки атмосферного повітря міст в Україні та Європі .....	51
1.9. Висновки до розділу .....	57
<b>Розділ 2. Методи оцінювання рівня забруднення атмосферного повітря міста Полтава .....</b>	<b>59</b>
2.1. Характеристика міста з точки зору розрахунку забруднення приземного шару атмосфери за допомогою програми ЕОЛ .....	60
2.2. Характеристика забруднення повітря за даними стаціонарних постів спостереження та державної статистики .....	67



2.3. Порівняльний аналіз стану забруднення повітря Полтави та Лейпцигу (Німеччина) .....	75
2.4. Розрахунок показника метеорологічного потенціалу атмосфери міста та його вплив на якість атмосферного повітря.....	95
2.5. Вразливість до змін клімату та виявлення «острову тепла» міста ..	99
2.6. Висновки до розділу .....	112
<b>Розділ 3. Громадський моніторинг стану атмосферного повітря міста Полтава.....</b>	<b>114</b>
3.1. Концепція створення громадського моніторингу атмосферного повітря .....	114
3.2. Методика встановлення громадського контролю та визначення залежності запиленості від метеорологічних параметрів.....	117
3.3. Інформування населення щодо рівня забруднення повітряного басейну територій міста .....	126
3.4. Висновки до розділу .....	133
<b>Розділ 4. Реалізація задач захисту атмосферного повітря міста Полтава в рамках проекту «Інтегрований розвиток міста».....</b>	<b>134</b>
4.1. Інтеграція порядку здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря .....	134
4.2. Рекомендації щодо впровадження удосконаленої системи моніторингу повітряного середовища міста .....	138
4.3. Екологічні напрями планування розвитку міста Полтава .....	142
4.4. Висновки до розділу .....	151
<b>Висновки.....</b>	<b>153</b>
<b>Література .....</b>	<b>156</b>
<b>Додатки .....</b>	<b>171</b>

## Список рисунків

Рисунок 1.1 – Візуалізація результатів моделювання поширення викидів в атмосфері за допомогою ГІС-інструментарію .....	31
Рисунок 1.2 - Структура СППР-ГІС компонентів системи управління якістю повітря .....	33
Рисунок 1.3 – Розміщення стаціонарних постів спостереження в місті Полтава.....	44
Рисунок 1.4 – Структурна схема організації оперативних моніторингових спостережень в м. Кременчук .....	48
Рисунок 1.5 - Приклад подання показника якості повітря в Саксонії.....	54
Рисунок 2.1 – Розташування м. Полтава .....	60
Рисунок 2.2 – Карта забруднення атмосферного повітря м. Полтави:.....	64
Рисунок 2.3 – Стаціонарні пости в м. Полтава .....	68
Рисунок 2.4 – Температура ( $^{\circ}\text{C}$ ): а) середня по Лейпцигу; б) середня по Полтаві; в) абсолютний мінімум та максимум.....	78
Рисунок 2.5 – Розташування станцій вимірювання викидів у Саксонії .....	79
Рисунок 2.6 – Автоматизовані прилади вимірювання забруднення атмосфери повітря в м. Лейпциг .....	80
Рисунок 2.7 – Забруднювачі, що вимірюються на станціях спостереження.....	82
Рисунок 2.8 – Результати розрахунку ІЗА для Лейпцига .....	90
Рисунок 2.9 – Результати розрахунку ІЗА для Полтави.....	93
Рисунок 2.10 – Порівняльний аналіз ІЗА для міст Лейпциг та Полтава .....	94
Рисунок 2.11 – Графік кореляції коефіцієнту теплового потенціалу міста від середньорічної температури повітря ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	96
Рисунок 2.12 – Графік показників ПМПА та ІЗА за 3 роки .....	98

Рисунок 2.13 – Поширення острова тепла (температура зазначена в градусах Фаренгейта) .....	105
Рисунок 2.14 - Розташування метеостанцій Полтавського обласного центру з гідрометеорології .....	109
Рисунок 2.15 - Графік порівняння температур міста Полтави та малих оточуючих міст .....	111
Рисунок 3.1 – Початковий вигляд сітки громадського моніторингу	118
Рисунок 3.2 – Удосконалений вигляд сітки громадського моніторингу .....	119
Рисунок 3.3 – Графік для знаходження діапазону значень коефіцієнту $c$ .....	123
Рисунок 3.4 – Графік функції $u = f(x_1, x_2)$ .....	124
Рисунок 3.5 – Графік функції $u = f(x_1, x_3)$ .....	125
Рисунок 3.6 – Графік функції $u = f(x_2, x_3)$ .....	126
Рисунок 3.7 – Схема макета головної сторінки сайту .....	128
Рисунок 3.8 – Схема макету публікації поста .....	130
Рисунок 3.9 – кінцевий інтерфейс користувача типу Maps Data .....	130
Рисунок 3.10 – Наповнення поста змістом .....	131
Рисунок 3.11 – вигляд поста після публікації .....	132
Рисунок 4.1 – Концентрація PM2.5 за 18 квітня 2020 року .....	137
Рисунок 4.2 – Різниця висот рельєфу м. Полтава .....	138
Рисунок 4.3 – Газоаналізатор APNA-370 .....	139
Рисунок 4.4 – Газоаналізатор APMA-370 .....	140
Рисунок 4.5 – Аналізатор SM200 .....	141
Рисунок 4.6 – Екологічні напрями планування розвитку міста .....	144

## Список таблиць

Таблиця 1.1 – Відбір проб на ПЗС №1 .....	45
Таблиця 1.2 – Характеристика державної та муніципальної систем оцінки якості атмосферного повітря.....	46
Таблиця 1.3 – Граничні значення концентрацій забруднюючих речовин в Україні та Європі .....	51
Таблиця 1.4 – Шкала груп для оцінки якості повітря в Німеччині ...	55
Таблиця 2.1 – Кількість підприємств.....	61
Таблиця 2.2 – Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря	62
Таблиця 2.3 – Речовини, концентрація яких перевищувала ГДК за ЕОЛ (2015 р.) .....	66
Таблиця 2.4 – Відомості щодо мережі спостережень за забрудненням повітря за 2017р.....	68
Таблиця 2.5 – Кількість спостережень за концентраціями домішок у повітрі по м. Полтава за 2017р. ....	69
Таблиця 2.6 - Характеристика забруднення атмосферного повітря (мг/м <sup>3</sup> ).....	70
Таблиця 2.7 – Метеорологічні характеристики по м. Полтава за 2017 рік .....	71
Таблиця 2.8 - Зміна середнього рівня забруднення атмосферного повітря (мг/м <sup>3</sup> ) по місту .....	72
Таблиця 2.9 - Дані для порівняння двох міст: Полтава та Лейпциг ..	76
Таблиця 2.10 – Метеорологічні дані: Лейпциг та Полтава.....	77
Таблиця 2.11 – Вимірювання забруднюючих речовин на станціях Саксонії.....	79
Таблиця 2.12 – Забруднюючі речовини, що вимірюються на стаціонарних постах спостереження .....	81

Таблиця 2.13 - Концентрації забруднюючих речовин в Лейпцигу (мкг/м <sup>3</sup> ).....	84
Таблиця 2.14 - Концентрації забруднюючих речовин в Полтаві (мкг/м <sup>3</sup> ) .....	86
Таблиця 2.15 - Визначення значень індексу забруднення повітря .....	87
Таблиця 2.16 – ІЗА 2015 Лейпциг.....	88
Таблиця 2.17 – ІЗА 2016 Лейпциг.....	88
Таблиця 2.18 – ІЗА 2017 Лейпциг.....	89
Таблиця 2.19 – ІЗА 2015 Полтава.....	91
Таблиця 2.20 – ІЗА 2016 Полтава.....	91
Таблиця 2.21 – ІЗА 2017 Полтава.....	92
Таблиця 2.22 – Коефіцієнт теплового потенціалу міста Полтава .....	96
Таблиця 2.23 – Результати розрахунку показника метеорологічного потенціалу атмосфери міста Полтава .....	97
Таблиця 2.24 – Показник метеорологічного потенціалу атмосфери міста .....	97
Таблиця 2.25 – Зведена таблиця показників ПМПА та ІЗА .....	98
Таблиця 3.1. – Розміщення датчиків громадського контролю в м. Полтава.....	120
Таблиця 3.2 – Запиленість повітря міста та метеорологічні умови .	121
Таблиця 4.1 – Підвищені концентрації твердих часток за громадським моніторингом .....	135

## Вступ

**Актуальність теми.** Якість повітряного середовища міста має важливий характер як складова середовища проживання, а тому має вплив на здоров'я громадян. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 року №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря», та за результатами порівняльного аналізу моніторингу України та країн Європейського союзу, встановлено ряд недоліків, серед яких відсутність автоматизованого аналізу забруднення повітря, зокрема на вміст твердих часток, та відсутність широкого інформування та зацікавлення громадськості щодо стану атмосферного повітря в містах. Важливою задачею є створення мережі моніторингу стану забруднення атмосферного повітря міста, що дозволить здійснити незалежне спостереження за забрудненням повітря, враховуючи нормативні документи та постанови. Так, громадський моніторинг може стати не лише інструментом в залучені громадськості до актуальних проблем міста, але і дозволить усунути ряд недоліків діючої системи моніторингу атмосферного повітря.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційну роботу виконано відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 року №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря». В основу роботи покладено результати науково-дослідної роботи, у якій автор брав участь як виконавець, – «Комплексна оцінка стану забруднення атмосферного повітря м. Полтави сучасними методами дослідження», номер державної реєстрації НДР: 0116U006931. Також результати досліджень використані в Плані дій сталого енергетичного розвитку міста Полтави до 2020 року, затвердженому рішенням дев'ятої сесії Полтавської міської ради сьомого скликання від 31 січня 2017 року, в розділі «Екологічна ситуація в місті», та регіональній програмі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення

екологічної безпеки з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на 2017–2021 роки («Довкілля – 2021»), в розділі «Стан атмосферного повітря».

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є удосконалення рівня існуючої системи моніторингу забруднення атмосферного повітря, з точки зору відповідності сучасним вимогам та міжнародним критеріям, шляхом впровадження нових методів за засобів дослідження якості повітряного середовища.

Для досягнення мети поставлено наступні задачі:

- проаналізувати стан забрудненості атмосферного повітря (на прикладі міста Полтава) за різними методами;
- на прикладі реальних урбосистем провести аналітично-порівняльне дослідження стану якості повітряного басейну міст;
- обґрунтувати концепцію створення громадського моніторингу атмосферного повітря міста та відповідно інформування населення щодо його результатів;
- розробити метод розмітки сітки міста для встановлення додаткового контролю за вмістом пилу, відповідно до постанови щодо деяких питань моніторингу атмосферного повітря;
- встановити особливості залежності метеорологічного потенціалу міста та стану забруднення атмосфери з точки зору екологічної безпеки міста;
- актуалізувати впровадження реалізації задач щодо захисту повітря, що визначені в рамках проекту «Інтегрований розвиток міст в Україні».

***Об'єктом дослідження*** є моніторинг якості атмосферного повітря в містах.

***Предметом дослідження*** є методи та засоби моніторингу стану забруднення атмосферного повітря агломерацій (на прикладі м. Полтава).

***Методи дослідження.*** Теоретичні методи дослідження ґрунтуються на застосуванні системного аналітичного підходу щодо оцінювання методів моніторингу якості атмосферного повітря міст. Під час проведення експериментальних досліджень були використані такі методи: аналіз і

узагальнення наукових результатів, отриманих іншими авторами; розрахункові методи обчислення індексів забруднення атмосферного повітря; розрахунки та створення карт розсіювання за допомогою програмного забезпечення ЕОЛ-2000; визначення впливу метеорологічних факторів на забруднення атмосферного повітря твердими частками за допомогою математичної обробки бази даних (розрахунок систем рівнянь за методом Жордана-Гауса); використано пакети програм Microsoft Excel, систему управління контентом Wordpress, JavaScript бібліотека GMapsTable для створення сайту інформування населення щодо стану забруднення атмосферного повітря міста.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- набула розвитку концепція створення громадського моніторингу атмосферного повітря міста;
- вперше створено систему інформування населення щодо результатів громадського моніторингу, з точки зору площинного відображення стану забруднення повітря міста на відміну від точкового;
- вдосконалено розрахунок теплового потенціалу міста, що входить до обчислення показника метеорологічного потенціалу міста, з врахуванням середньорічних температур повітря;
- набув подальшого розвитку розрахунок впливу метеорологічних факторів на стан забруднення атмосферного повітря пиловими частинками PM2.5.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

- впроваджено аналіз стану забруднення атмосферного повітря агломерації пиловими частинками PM2.5 та PM10 за допомогою громадського моніторингу;
- розроблено сайт інформування населення щодо результатів громадського моніторингу за підтримки Інституту розвитку міста Полтава. Сайт завантажено на хостинг за адресою <http://city-air-dust.ho.ua/>;



- результати досліджень впроваджені в регіональній програмі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на 2017–2021 роки, в розділі «Стан атмосферного повітря»;
- результати оцінки стану атмосферного повітря міста використано в Плані дій сталого енергетичного розвитку міста Полтави до 2020 року, затвердженому рішенням дев'ятої сесії Полтавської міської ради сьомого скликання від 31 січня 2017 року, в частині розділу «Екологічна ситуація в місті».

**Особистий внесок здобувача.** Особистий внесок автора полягає у проведенні аналізу літературних джерел за тематикою дисертації, формулюванні практичної новизни отриманих результатів, обробленні та систематизації отриманих експериментальних результатів та їх математичний аналіз. Постановка основних завдань, обґрунтування мети та окреслення наукової новизни отриманих результатів, планування досліджень, здійснено під керівництвом к.т.н., доцента Голика Ю.С.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати наукових досліджень неодноразово доповідалися на ряді міжнародних та Всеукраїнських наукових з'їздах, конференціях, симпозіумах, нарадах, зокрема: 4-ий Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (21–23 вересня 2016 р.) – Львів; VI Всеукраїнська науково-практична конференція викладачів, аспірантів та студентів «Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку» (7–15 листопада 2016 р.) – Ірпінь; IV Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» (1–2 грудня 2016 р.) – Харків; IX Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки» (7–9 грудня 2016 р.) – Полтава; III Міжнародна науково-практична конференція «Екологія і природокористування в

системі оптимізації відносин природи і суспільства» (27–28 квітня 2017 р.) – Тернопіль; X Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки» (6–8 грудня 2017 р.) – Полтава; II Міжнародна українсько-азербайджанська конференція «BUILDING INNOVATIONS – 2019» (23–24 травня 2019 року) – Полтава; IV Міжнародна науково-практична конференція «Архітектура: Естетика + Екологія + Економіка» — Полтава; 72-а наукова конференція професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету, присвячена 90-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (21квітня–15травня 2020р.) – Полтава; III Міжнародна азербайджансько-українська науково-практична конференція «BUILDING INNOVATIONS – 2020» (1–2 червня 2020 року) – Полтава; Міжнародна науково-практична онлайн-конференція «ENVIRONMENT PROTECTION - 2020» (5 червня 2020 року) – Київ. Проходження мовного та наукового стажування в Німеччині за грантовою програмою «DBU Scholarship Programme with CEE Countries» наданою німецьким федеральним фондом Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 21.08.2018 - 18.02.2019.

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 19 наукових робіт, в тому числі: 6 статей, 3 з яких опубліковано у фахових виданнях України та 3 публікації, що входять до наукометричної бази Scopus, 11 тез доповідей, 2 документи регіонального значення.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел зі 127 найменувань, додатків. Робота має загальний обсяг 240 сторінки, у тому числі 135 сторінок основного тексту, 37 рисунків, 32 таблиці.

## **Розділ 1. Аналіз методів моніторингу за станом забруднення атмосферного повітря в місті**

Питання захисту атмосферного повітря в Україні гарантуються Конституцією України [1] та забезпечуються Законами України «Про охорону навколишнього природного середовища» [2] та «Охорону атмосферного повітря» [3]. Сумарний рівень забруднення повітря у великих та середніх містах України [4] у 2-4 рази перевищує гранично-допустимий рівень і є небезпечним для здоров'я населення, спостерігаються тенденції до зростання рівня забруднення атмосферного повітря міст.

Отже, питання якості повітряного середовища має важливий характер. Для її забезпечення необхідним являється комплексна оцінка стану атмосферного повітря з можливістю прогнозування. Для цього необхідно враховувати не лише наявні забруднювачі та їх концентрації, а і їх безпосередні джерела знаходження та вплив метеорологічних факторів, які сприяють чи перешкоджають можливому посиленню забрудненості атмосфери. Для цього, необхідно встановити, які методики врахування такого впливу наявні на сьогодні та чи дозволяють їх результати провести якісне прогнозування якості приземного шару атмосфери в містах та надати рекомендації щодо підходів до врегулювання антропогенного забруднення навколишнього середовища.

### **1.1. Роль методів біоіндикації в оцінці рівня забруднення атмосферного повітря**

Ступінь чистоти повітря можна визначити багатьма методами, але більшість з них дуже складні або дорогі. Економічна ситуація в Україні зумовлює необхідність пошуку альтернативних варіантів для визначення забруднення атмосферного повітря, тому часто застосовуваними методами дослідження стану атмосферного повітря в містах являються методи біоіндикації, які є значно

простішими і не потребують значних матеріальних витрат [5]. Даний метод дозволяє охопити значні площі міста для проведення спостереження за станом атмосферного повітря, що на стаціонарних постах досить важко й затратно в економічному плані [6].

Відомо, що основним завданням біоіндикації є розробка методів і критеріїв, що зможуть адекватно відображати рівень антропогенних впливів з урахуванням комплексних особливостей забруднення та діагностувати ранні порушення в найбільш чутливих компонентах біотичних угруповань. Біоіндикація здійснюється на різних рівнях організації біосфери: макромолекули, клітини, органу, організму, популяції, біоценозу [7].

Для визначення рівня забруднення атмосферного повітря особливо широко використовують біоіндикацію за допомогою лишайників (ліхеноіндикація), мохів (бріоіндикація) чи грибів (мікоіндикація) [8].

Особливе місце серед біоіндикаційних методів займає ліхеноіндикація, яка базується на використанні лишайників, переважно епіфітних. Результатом роботи з ліхеноіндикації є складання карт рівня забруднення територій. [9].

Методи ліхеноіндикації за впливом забруднення поділяються:

1. Аналіз історичних даних.
2. Зміна структури лишайникових співтовариств біля джерела забруднення.
3. Зонування території:

а) лишайникові «пустелі», вміст діоксиду сульфуру складає 0,3 мг/м<sup>3</sup> повітря;

б) зони «змагання», вміст діоксиду сульфуру в межах 0,05 – 0,2 мг/м<sup>3</sup> повітря, на стовбурах дерев присутні види лишайників, що стійкі до забруднювача – ксанторія, фісція тощо;

в) «нормальні» зони, вміст діоксиду сульфуру нижче 0,05 мг/м<sup>3</sup> повітря, на стовбурах зустрічаються види лишайників, що переважають у природних угрупованнях – паргелія, алекторія та інші.

4. Трансплантація лишайників – перенесення організму із його місця проживання у місце, де він необхідний для моніторингу забруднення стану навколишнього природного середовища [10].

Бріоіндикація заснована на використанні мохів як індикатора стану навколишнього середовища. Мохоподібні є одним з найкращих індикаторів впливу на довкілля антропогенних факторів, адже відносно цих проявів вони можуть бути чутливими, індиферентними і позитивно толерантними [11].

Мохоподібні, або бріобіонти (*Briobionta*), представляють давню групу вищих рослин. У техногенних екосистемах бріобіонти одними з перших оселяються на змінених територіях.

Основні критерії бріоіндикаційної оцінки базуються на системному аналізі змін структури мохового покриву впродовж його становлення на досліджуваних техногенних відслоненнях на різних рівнях: за індикаторними видами, за індикаторними синтаксонами, за змінами парціальних бріофлор відносно еталонної [12].

Індикаторами атмосферного забруднення є види, які при дії забруднювачів змінюють свої морфологічні та фізіологічні показники. *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb. при дії газо-димових викидів зовсім знебарвлюється, починаючи з верхівок стебел. У *Polytrichum piliferum* Hedw. при дії газо-димових викидів починається відмирання з кінчиків листків. *Polytrichum commune* Hedw. – чутливий до забруднення діоксидом сульфуру, при дії газо-димових викидів починає відмирати з кінчиків листків, колір змінюється до червоно-коричневого. *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. – стійкий до забруднення оксидами сульфуру, високорезистентний до забруднення атмосферного повітря. При дії газо-димових викидів зовсім знебарвлюється, починаючи з верхівок стебел. Індикатором наявності Pb і Cd, які інгібують ріст і клітинні поділи, проростання спор, розвиток бруньок гаметофіту, ріст протонеми, є *Funaria hygrometrica* Hedw. [13]

Мікоіндикація – один з напрямів у біоіндикації, який використовує як організми-індикатори гриби. Індикаторні властивості грибів на даний момент є

досить перспективними в дослідженнях біотехнологічних методів біодеградації фенольних сполук та ін.[14].

З огляду на вище викладене, можна беззаперечно говорити, що біондикація є методом, необхідним для оцінки стану атмосферного повітря міста, враховуючи її економічну доцільність застосування. Але, вказаний метод має і ряд недоліків [6, 15]. Одним із них є нестача або повна відсутність зелених насаджень, що є субстратом для поширення біоіндикаційного матеріалу, а також їх незначний вік на територіях, що підлягають дослідженню. Результати застосування біоіндикації також залежать від кількості матеріалу, від суб'єктивності визначення типів місцезростань, в яких були зібрані або описані зразки того чи іншого виду. Крім того, рослини-індикатори не повинні бути занадто чутливими і занадто інертними до забруднення. Необхідно, щоб вони мали достатньо тривалий життєвий цикл і невисоку здатність до авторегуляції. Так, при застосуванні методів ліхеноіндикації, в умовах складного забруднення атмосфери, при спільному впливі вихлопних газів автотранспорту, поллютантів хімічного заводу, пилу золівідвалів важко зробити висновок про домінування окремого виду забруднювачів, що підтверджено у роботі [16].

## **1.2. Методи розрахунку індексів забруднення атмосферного повітря**

На території України для визначення стану забруднення повітря використовують комплексний показник - індекс забруднення атмосфери (ІЗА). [17] Основним критерієм якості атмосферного повітря являються нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК). В широкому розумінні, ГДК – це максимальна концентрація суміші в атмосфері, віднесена до визначеного часу усереднення, яка при періодичній дії або протягом всього життя людини не причиняє шкідливого впливу, включаючи віддалені наслідки.

При цьому розрізняють ГДК м.р. – максимально разову і ГДК с.д – середньодобову ГДК тривалого усереднення.

На практиці при наявності одночасно декількох забруднюючих речовин, які володіють ефектом сумачії (адаптивною дією), їх безрозмірна концентрація не повинна перевищувати «одиниці».

Оцінка якості атмосферного повітря в світовій практиці ґрунтується на порівнянні фактично виміряної концентрації з ГДК.

Таким чином, чим більша кратність перевищення ГДК, тим гірша якість навколишнього середовища, тим гірша якість атмосферного повітря.

Однак в реальній практиці одночасно знаходиться, як правило, декілька забруднюючих речовин, тому для оцінки якості повітря використовують комплексний показник – індекс забруднення атмосфери (ІЗА), який дорівнює сумі нормованих за ГДК і приведених до концентрації діоксид сульфору.

Для декількох забруднюючих речовин даний показник (індекс) розраховується наступним чином (1.1):

$$ІЗА = \left( \sum_{i=1}^n I_i \right) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_i}{ГДК_{и}} \right)^{K_i} \leq 1 \quad (1.1)$$

При цьому ГДК с.д – середньодобова ГДК забруднюючих речовин, мг/м<sup>3</sup>. У випадку відсутності цього показника замість нього приймають ГДК м.р. або ОБРВ (орієнтовно безпечний рівень викидів).

Коефіцієнт К для перерахунку забруднюючих речовин в залежності від класу їх небезпеки визначають наступним чином:

1 клас небезпеки: К=1,7;

2 клас небезпеки: К=1,3;

3 клас небезпеки: К=1,0;

4 клас небезпеки: К=0,9.

На практиці для порівняння якості атмосферного повітря різних міст і населених пунктів використовують лише дані перших п'яти речовин, що мають найвищі показники концентрацій по місту.

Визначено, що умовно чистим можна назвати повітря, де ІЗА менше 4. Це низький рівень забруднення, який мало впливає на здоров'я. Більш помітний

вплив має підвищений рівень забруднення (ІЗА = 5-6). При високому рівні забруднення (ІЗА = 7-13) складаються несприятливі для людини умови, а при дуже високому (більше 14) дуже небезпечні.

Ранжування екологічного стану атмосфери за класами здійснюється шляхом розрахунку комплексного індексу забруднення атмосфери. При цьому клас екологічного стану атмосфери визначається наступним чином:

Норма - <5;

Ризик – 5-8;

Криза – 8-15;

Катастрофа - >15.

Забруднення повітря визначається за значеннями концентрації суміші. Ступінь забруднення оцінюється при порівнянні фактичних концентрацій з гігієнічними нормативами – гранично допустимою концентрацією суміші в повітрі (ГДК). [18]

У Канаді використовується індекс здоров'я за якістю повітря (Air Quality Health Index, скорочено AQHI), він прийшов на зміну індексу якості повітря (Air quality index - AQI), розробленого в 1970-х роках. [19]. Цей показник є представленням результатів у вигляді 10-бальної шкали. При розрахунку AQHI враховуються три специфічних забруднюючих речовини (O<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub>), які здійснюють серйозний спільний вплив на здоров'я людини, навіть в результаті короточасного впливу. В Канаді з результатами індексу можна ознайомитися в режимі реального часу, а також отримати рекомендації як для людей з групи ризику, так і для населення в цілому.

В США агентством з охорони навколишнього середовища (Environmental Protection Agency) був розроблений індекс якості повітря Air Quality Index - AQI. Розрахунок AQI ґрунтується на розрахунках, що включають концентрації п'яти основних забруднювачів: приземний озон, тверді частинки, оксид карбону, діоксид сульфуру і діоксид нітрогену [20].



На відміну від деяких інших країн, проблеми якості повітря в Австралії не є настільки серйозними. Це пояснюється невеликою чисельністю населення на одиницю площі, високою швидкістю вітру в містах, а також хімічним складом енергетичних ресурсів. При розрахунку індексу якості повітря враховуються: O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, значення індексу для будь-якого з перерахованих забруднювачів визначається як відношення фактичної концентрації до встановлених національним стандартами, виражене у відсотках. [17] Індекс обчислюється для кожної речовини, потім по найбільшим значенням забруднення значенням визначається загальний стан. В Австралії національні стандарти встановлюються відповідно до вимог ВООЗ про захист здоров'я та збереження довкілля, якість повітря оцінюється якісно і кількісно без надання рекомендацій населенню.

### **1.3. Застосування технологій географічно-інформаційних систем для аналізу якості атмосферного повітря міста**

В результаті обрахунків даних індексів та застосування методів біоіндикації досить логічним та практичним є картографування територій. [21] Це можливо здійснити за допомогою геоінформаційних технологій, що останніми роками мають місце широкого використання. Географічно-інформаційні системи (ГІС) – це програмно-технічний комплекс, що забезпечує автоматизований збір, обробку, зберігання, аналіз, відображення і розповсюдження просторово-координованої інформації. Результати запитів, вибірок і аналітичних розрахунків надаються у наглядній, легко доступній картографічній формі [22].

Причини, які спонукають до застосування ГІС як інформаційного забезпечення систем екологічного управління є досить широкими.

У сфері екологічного управління сьогодні можна виділити кілька напрямів спеціалізації ГІС, які мають практичне застосування:

- для управління;
- для ведення кадастрів;

- для моніторингу;
- для управління небезпечними об'єктами;
- для диспетчерів;
- для прикладних цілей;
- довідково-інформаційні;
- для геопросторових банків даних;
- для тематичних і спеціалізованих банків даних;
- для корпоративних систем.

Основними етапами технологічного процесу ГІС є отримання даних, введення і попередня обробка, керування даними, маніпулювання та аналіз, генерування інформаційного продукту [23].

Розвиток ГІС в Україні пов'язаний насамперед завдяки грантовим проектам Європейського Союзу, які в подальшому підтримувалися державними програмами. За останнє десятиліття зросла частка державної підтримки проектування ГІС в екології та природоохоронній галузі [24]. Прикладом є урядова інформаційно-аналітична система з надзвичайних ситуацій України, розробленою на замовлення МНС України фахівцями та вченими центру ІНТЕК-Україна та іншими, що має за мету забезпечити міжвідомчу інформаційну взаємодію й аналітичну підтримку прийняття рішень на основі сучасних методів просторового аналізу, моделювання розвитку надзвичайних ситуацій і прогнозування їх наслідків [25]. Так, за допомогою ГІС-інструментарію пакет програм (приклад їх використання наведений на рис. 1.1) дозволить розраховувати та здійснювати візуалізацію результатів моделювання поширення викидів в атмосферу з урахуванням усіх інвентаризаційних даних підприємств, з можливістю їх корегування та проведення прогнозування при зміні тих чи інших показників.

Будь-яка географічна інформаційна система складається з апаратного комплексу, програмного комплексу і інформаційного блока. Також до складу системи можуть входити розробники та кінцеві користувачі, без яких неможливе

існування останніх компонентів як системи. У цьому випадку ГІС є системою, що складається з п'яти компонент [26].

На основі вище сказаного, в рамках ГІС можливе виконання комплексу науково-практичних робіт спрямованих на створення «Реєстру стаціонарних джерел викидів в атмосферне повітря забруднюючих речовин», який дозволить реалізувати підсистему обліку і разом з тим забезпечить необхідними інформаційними системами аналітичну підсистему оцінки забруднення атмосферного повітря.

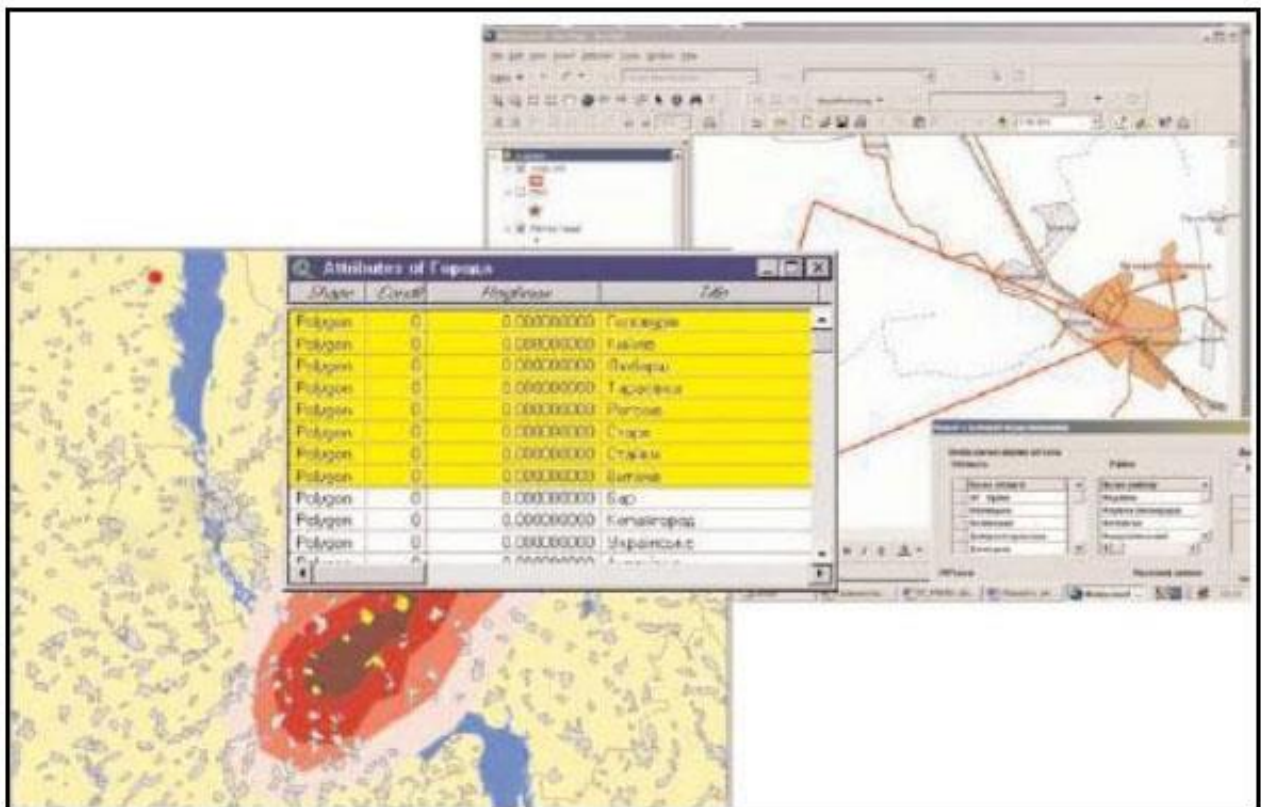


Рисунок 1.1 – Візуалізація результатів моделювання поширення викидів в атмосфері за допомогою ГІС-інструментарію

Згідно прогнозам за декілька років цей реєстр зможе охоплювати біля 200 об'єктів техногенного екологічного ризику, що мають більш ніж 3000 стаціонарних джерел викидів та велику кількість викидів забруднюючих речовин.

Поповнення бази даних вводом даних з інших програмних пакетів. За допомогою цього ГІСу спеціаліст-оператор має можливість вирішувати цілий комплекс аналітичних задач, від оцінки та експертизи впливу окремого джерела викидів якогось підприємства до розробки так званого зведеного проекту нормативно-допустимих викидів [27].

Задачі, які розглядають у системах управління якістю повітря, поділяються наступним чином.

1. Задачі моделювання та прогнозування забруднення.
2. Задачі визначення залежностей між рівнями забруднення та здоров'ям населення.
3. Задачі моніторингу шкідливих домішок та їхніх джерел.
4. Задачі планування заходів щодо зменшення ризику негативного впливу шкідливих речовин та інформування населення [28].

В результаті ГІС-технологія стає частиною системи підтримки прийняття рішення (рис. 1.2).

Початковим етапом розроблення ГІС для спостереження за забрудненням атмосферного повітря є створення бази даних. Система збору даних по якості повітря буде одержувати інформацію про якісний та кількісний стан метеорологічних і фізичних величин від стаціонарних та мобільних датчиків, сенсорів, лабораторій.

Інформація заноситься в пам'ять і обробляється для подальшого одержання параметрів, що будуть використовуватися при вирішенні екологічних проблем. База даних щодо якості повітря містить у собі базу даних викидів в атмосферу і базу даних забруднення атмосферного повітря в цілому.

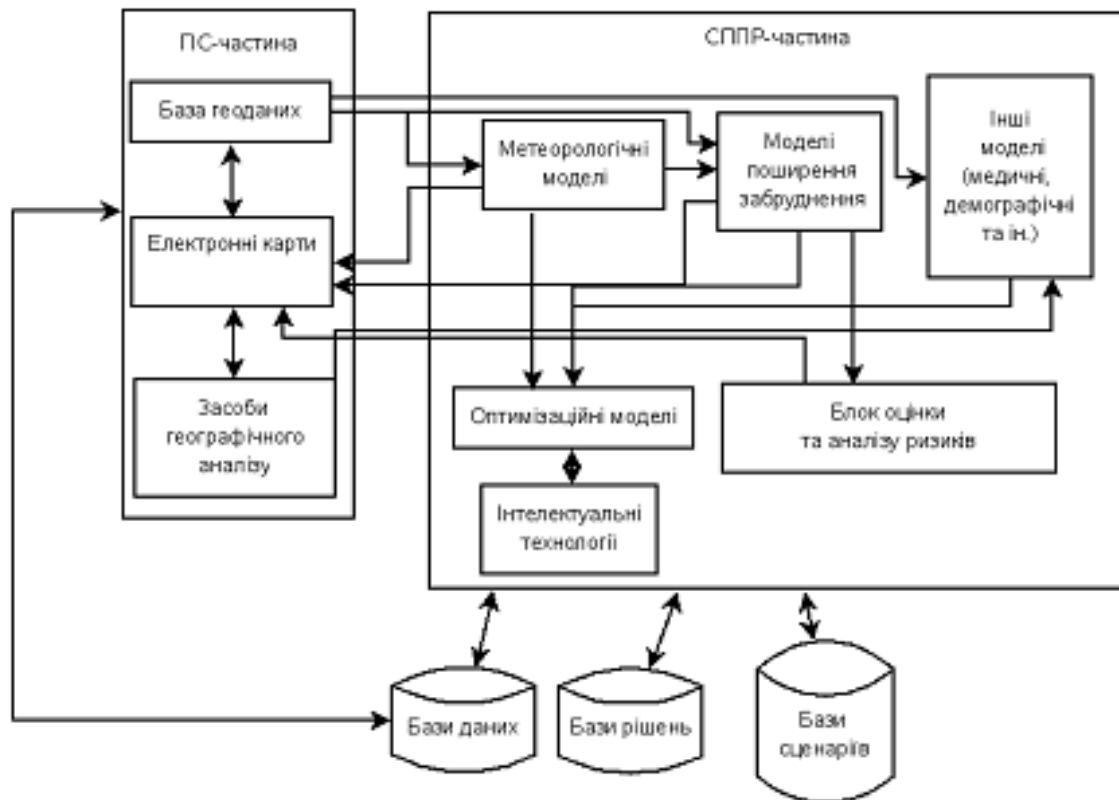


Рисунок 1.2 - Структура СППР-ГІС компонентів системи управління якістю повітря [28]

База даних викидів в атмосферу, крім того, повинна містити зведення про промислові підприємства, включаючи призначення та географічні координати підприємства, установлені для цих підприємств гранично допустимі викиди, їхні фактичні значення і т.п. Зокрема, вона може включати наступні елементи:

- виробничі об'єкти: ідентифікуються усі виробничі чи переробні об'єкти, виділяються робочі цехи, використовувані чи вироблені речовини, викиди з труб;
- цивільні об'єкти: визначаються об'єкти та їхнє призначення, визначається їхня частка викиду в повітря;
- дані, отримані з мережі контролю: визначаються станції і прилади зйомки атмосферного забруднення База даних по забрудненню атмосферного повітря містить координати кожного стаціонарного поста чи місцезнаходження

пересувної лабораторії з указівкою часу виміру та прив'язаного до нього значення кожного вимірюваного інгредієнта.

Способи доступу в базу даних повинні бути простими і "спрямовуватися" самою системою. Порядок доступу повинен залежати від організації бази даних.

Рівень доступу визначає точку входу в базу даних і область її виводу на екран: чим вище рівень доступу, тим більш обширно буде представлена інформація.

Приватна, з погляду споживачів, база даних створюється на трьох рівнях:

- 1) рівень доступу в базу даних;
- 2) рівень прикладних програм;
- 3) рівень даних.

На рівні доступу в базу даних здійснюється керування авторизованим доступом і власне доступ до бази даних. Потім споживач входить у рівень прикладних програм, у якому він може виконати визначене число функцій у залежності від дозволеного рівня доступу. Виконавши функції, споживач попадає в рівень даних.

Способи взаємодії споживача з архівом, прикладними програмами і даними не повинні залежати від деталей побудови бази даних. Техніко- конструктивні аспекти повинні входити у виняткову компетенцію відповідального за цю роботу співробітника й операторів системи, а споживач повинний підключатися тільки до прикладних функцій системи.

База повинна мати захист від несанкціонованого доступу на будь-якому рівні [29].

Враховуючі можливості ГІС технологій, є можливим використання готових картографічних матеріалів для аналізу впливу вітрових потоків міста, та можливості керування «повітряними коридорами» міста, спираючись на кліматичні особливості типи архітектурно-містобудівного ландшафту, що залежить від планувально-містобудівної організації забудови міста [30]. Також такий комплекс програмного забезпечення дає можливість коротко- та

довготермінового прогнозування стану забруднення атмосфери, враховуючи зміну тих чи інших факторів впливу. Але виникає питання попереднього встановлення зв'язку метеорологічних факторів з розсіюванням забруднюючих речовин в атмосфері.

#### **1.4. Визначення впливу метеорологічних факторів на стан забруднення атмосферного повітря**

Статистичний аналіз широко застосовуються в різних сферах науки, та їх областях. Не виключенням є і захист повітряного середовища [31,32]. Незважаючи на оперативність таких даних, вони залишаються зведеними та осередненими і надають лише фактичні дані, які не представляють можливості виявити їх зв'язок з умовами, що безпосередньо впливають на наслідки. Але в поєднанні з попередньо описаними методами (розрахунками індексів забруднення атмосфери та ГІС технологіями) та прив'язкою до впливу метеорологічних факторів на забруднюючі речовини, (можливо за допомогою моделювання), представляється реальним отримати картину стану повітряного середовища з можливістю подальшого прогнозування.

Тобто головною задачею залишається знайти оптимальний варіант поєднання таких етапів, як збір даних щодо стану забруднення атмосфери, їх аналіз, прив'язка до метеорологічних умов, картографування (моделювання) та прогнозування.

Для того, щоб встановити чи існує пряма залежність між метеорологічними умовами міста та станом забруднення його атмосфери необхідно оперувати актуальними даними. На регіональному та місцевому рівнях технічними вирішеннями цього завдання є системи збору й обробки метеорологічної інформації та мережа метеорологічних станцій [33]. Система збору й обробки метеорологічної інформації відноситься до метеорології та метеорологічного моніторингу довкілля.

Вона призначена для контролю атмосферних параметрів, таких як температура, тиск, вологість, напрямок і швидкість вітру й інших параметрів атмосфери. Система містить мережу метеорологічних станцій, мережу пристроїв телефонного мобільного зв'язку з центральним засобом обробки метеорологічної інформації, блок оперативної пам'яті, блок довготривалої пам'яті та блок проміжної пам'яті. Мережа метеорологічних станцій зазвичай містить вимірюючі пристрої для визначення температури, тиску, вологості, напрямку та швидкості вітру, інші метеорологічні параметри та показники забруднення повітря, а також засоби зв'язку з комп'ютером метеорологічного центру. У якості засобів зв'язку використовують телефонну мобільну мережу, до якої прилади метеорологічних станцій підключені через перехідні блоки або модеми. Метеорологічні станції виконуються у вигляді малогабаритних, мініатюрних, автоматичних і цифрових станцій, які розміщені безпосередньо на спорудах для ретрансляторів телефонного мобільного зв'язку.

Вивчаючи існуючі висновки щодо можливості впливу метеорологічних факторів на стан забруднення атмосферного повітря міст, було встановлено, що дане явище дійсно спостерігається, але потребує більш детального дослідження. Так, в роботі [34] виконано оцінку впливу метеорологічних умов на формування забруднення атмосферного повітря м. Києва. В якості показника рівня забруднення атмосферного повітря за певних метеоумов використовувався параметр  $Q$ , розрахунки якого проводилися шляхом нормування строкових спостережень на середню концентрацію домішки за сезон (окремо для кожного поста спостережень). Виконані дослідження показали, що між напрямком вітру та концентраціями основних забруднюючих домішок в повітрі м. Києва чіткий зв'язок не простежується. Це передусім спричинено наявністю великої кількості джерел забруднення, що розташовані по території всього міста. Характер зв'язку між забрудненням приземних шарів повітря міста і швидкістю вітру значною мірою залежить від характеристик джерел надходження окремих забруднюючих домішок. Єдиної небезпечної швидкості вітру, яка б спричинювала підвищені



рівні забруднення повітря усіма основними домішками в умовах міста, не встановлено.

Згідно [35], статистичні методи за допомогою кореляційного та спектрального аналізу або стохастичних рівнянь пов'язують між собою різноманітні метеорологічні параметри, властивості підстилаючої поверхні та параметри якості повітря. До таких методів належать:

а) регресійні моделі, тобто регресійне рівняння, що використовується для прогнозування рівня забруднення повітря сірчистим ангідридом SO<sub>2</sub> [36]. Такі моделі здебільшого враховують концентрацію SO<sub>2</sub>, функцію регресії, деякий комплексний метеорологічний індекс, різниці тиску та геопотенціалу на рівні Землі і на поверхні 850 гПа, вертикальний градієнт температури;

б) авторегресійні моделі, що використовуються для аналізу зміни у часі метеорологічних параметрів або показників забруднення атмосфери, значення яких в даний момент часу залежить від значень цього параметру в попередні моменти часу. Такий метод послідовної авторегресії є досить простим для обчислення та отримав широке розповсюдження при прогнозуванні рівнів забруднення повітря, що характеризує забруднення повітря у місті в цілому декількома домішками одночасно;

в) Гаусівські моделі створені на основі уявлень Гауса про статистичні розподіли. Ці моделі використовують для визначення локальної дисперсії, а їх аналітичний розв'язок отриманий для стаціонарних та нестаціонарних розподілів.

Відповідно до значного числа як фундаментальних так і прикладних досліджень [37-40], зрозуміло, що значної уваги заслуговують і питання турбулентного перенесення та розсіювання різних домішок в атмосфері міста. Розміри зони екологічної небезпеки при викидах забруднюючих речовин залежать як від потужності викиду, так і від характеристик атмосферного перенесення, передусім від швидкості вітру і від категорії (класу) стійкості (стабільності) атмосфери. Категорії розрізняються в основному інтенсивністю вертикального перемішування повітря. Щодо урахування швидкості вітру, то

відомо, що вона істотно змінюється з висотою. Статична залежність може бути виражена у виді (1.2) [41-42]:

$$U_{(z)} = U_0 (z / z_0)^P , \quad (1.2)$$

де,  $U_0$  – швидкість вітру на "стандартній" висоті  $z_0$  ( $z_0 = 10$  м);

$P$  – показник, що залежить від класу стійкості атмосфери та «шорсткості» її поверхні.

Так, в роботі [43] при створенні комп'ютерної системи для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря під дією організованих і неорганізованих техногенних джерел. Комп'ютерна система складається із двох блоків. Перший блок «Air-3» – представляє собою прогноз рівня забруднення атмосферного повітря на базі 3D моделі рівняння масопереносу. Особливістю даного блоку є те, що він враховує при прогнозі профіль швидкості вітру, стан атмосфери.

На забруднення повітря також впливає і напрям вітру [44]. Напрямок та швидкість вітру, в свою чергу, залежить від типу баричного утворення, яке розташоване над містом.

Поряд із процесами перенесення та розсіювання домішок від джерел забруднення повітря існують інші чинники, що зумовлюють рівень концентрації домішок в атмосфері міста. Беззаперечним фактором впливу на стан атмосферного повітря міста в цілому є температура повітря. Температурний режим атмосфери поряд з іншими величинами, визначає інтенсивність вертикального підйому димових газів і, отже, інтенсивність “розбавлення” забрудненого повітря [45]. Від температури повітря також залежить характер роботи окремих підприємств, витрати палива та електроенергії, що, насамперед, впливають на валові викиди окремих виробництв (ТЕЦ, котельні тощо).

Зменшення температури з висотою прийнято вважати нормальним для тропосфери, а її збільшення – відхиленням від нормального стану. Розподіл температури з висотою, коли спостерігається її збільшення, називається температурною інверсією. Інверсії впливають на розвиток різноманітних атмосферних процесів, зокрема перешкоджають розвитку висхідних течій повітря

(інверсійним шарам властива найстійкіша стратифікація). Інверсія характеризується висотою нижньої межі інверсійного шару, його товщиною і так званою глибиною інверсії, тобто різницею температур на верхній та нижній межах шару. За висотою нижньої межі інверсії поділяються на приземні та припідняті [46]. У формуванні високих рівнів забруднення повітря в містах велику роль відіграє приземна інверсія температури у поєднанні зі слабким вітром, так звана ситуація застою повітря. Найчастіше вона пов'язана з макромасштабними атмосферними процесами, а саме з антициклонами, за яких у граничному шарі атмосфери спостерігаються слабкі вітри, формуються приземні радіаційні інверсії температури. Повторюваність застоїв повітря враховується при оцінці потенціалу забруднення атмосферного повітря [47]. Піднесені інверсії також перешкоджають вертикальному повітряному обміну. Якщо шар піднесеної інверсії розташовується безпосередньо над джерелом викидів, то на нижній межі цього шару створюються небезпечні умови забруднення, оскільки інверсія обмежує підйом викидів і сприяє їх накопиченню. В умовах застою повітря (за наявності приземної інверсії, коли градієнт температури в граничному шарі від'ємний у сполученні зі штилем або слабкою швидкістю вітру) ймовірність високого забруднення зростає. Піднесені інверсії (із нижньою межею 300 м) за слабкої швидкості вітру також сприяють накопиченню домішок в атмосфері [44]. В роботі [48] говориться, що найбільший внесок у процеси впливу метеорологічних умов на концентрацію шкідливих домішок вносять термодинамічна стійкість та вітер, від яких залежать ефективність віддалення домішок від джерел забруднення і концентрація небезпечних речовин у граничному шарі повітря. Розповсюдження забруднюючих речовин по вертикалі в граничному шарі атмосфери в значній мірі залежить від ступеня стійкості повітря, тобто від температурної стратифікації. Вільна конвекція обумовлює інтенсивне розсіювання домішок у великому об'ємі повітря, а товщина шару перемішування визначає верхню межу цього об'єму. У зв'язку з цим кращі умови для розсіювання домішок створюються при сильній нестійкості і добре

розвинутому шарі перемішування. Це буває в ясні сонячні дні, особливо влітку. Навпаки, гірші умови для розсіювання виникають при інверсії температури, коли граничний шар стратифікований стійко. Турбулентність при цьому подавлена, вертикальні рухи значно послаблені.

В роботах [46, 49 та 50] зазначається, що найчастіше негативний вплив інверсій на якість атмосферного повітря спостерігається за умови їх поєднання зі слабкими вітрами та за умови тривалого збереження інверсійних шарів в атмосфері міста. Проте, відповідно до [34], відсутність чітко вираженого негативного впливу інверсій усіх видів на стан якості атмосферного повітря міста пов'язана саме з їх швидким руйнуванням в атмосфері міста і тим, що рідко спостерігаються ситуації, коли інверсія супроводжується штилем чи слабким вітром.

Вплив інверсій на формування високих рівнів забруднення окремих міст України був проаналізований співробітниками УкрНДГМІ [51-53]. Але ці дослідження є досить застарілими. Тож, подібне дослідження було проведено для міста Києва [34], де було встановлено, що наявність інверсійних шарів в атмосфері не завжди призводить до погіршення якості повітря. Повторюваність випадків підвищеного рівня забруднення діоксидом сульфуру та діоксидом нітрогену при припіднятих інверсіях температури є невисокою. Це пов'язано з тим, що припідняті інверсії, як правило, призводять до підвищення рівня забруднення повітря в містах, в яких забруднюючі речовини надходять переважно від високих джерел. Повторюваність випадків підвищених рівнів забруднення за наявності в атмосфері приземних інверсій також є невисокою.

Дослідження зв'язку між концентрацією  $CO$  і метеорологічними та синоптичними умовами у роботі [54] показали, що формуванню високих рівнів забруднення нижнього шару атмосфери сприяють, як приземні, так і піднесені інверсії температури.

Окрім того, відповідно до [44], висока температура повітря в поєднанні з сонячною радіацією в літній період сприяють фотохімічним реакціям, а застої

повітря призводять до збільшення концентрацій деяких забруднюючих речовин, в тому числі і формальдегіду. Крім промислових викидів, формальдегід утворюється в повітрі як вторинна домішка внаслідок фотохімічної реакції між вуглеводнями та окислами нітрогену. У дослідженні [55] відмічено, що в таких містах як Донецьк, Миколаїв та Луцьк концентрації формальдегіду в теплий період у середньому на 60% вищі, ніж в холодний. Для міста Дніпро також прослідковувалася тенденція зв'язку температурного режиму повітря з концентрацією формальдегіду [56]. Формальдегід належить до атмосферних забруднювальних речовин, що надходять в повітря від значної кількості різноманітних джерел [57]:

- підприємства, що використовують формальдегід у своїй діяльності,
- стаціонарне спалювання палива та відходів,
- пересувні джерела,
- матеріали, що містять формальдегід (відбувається його випаровування),
- міські пожежі, звалища побутових та промислових відходів,
- природні джерела.

В роботі [58] проведено дослідження щодо концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі міста Київ, та зазначено, що в окремі роки влітку концентрації формальдегіду щодня перевищують середньодобову гранично допустиму концентрацію майже на всіх постах. Тому питання детального вивчення впливу метеорологічних умов як на рівень забрудненості атмосфери в цілому, так і формальдегіду та інших шкідливих домішок зокрема, є досить важливим питанням.

У зимовий період [48] роль температури у формуванні забруднення більш помітна. Взимку частіше відмічається підвищення рівня забруднення зі зниженням температури. Це характерно для антициклонічної погоди, коли при низьких температурах повітря встановлюється стійка термічна стратифікація. Значне забруднення повітря взимку може відмічатися й при порівняно високих температурах зі швидкістю вітру не більше 4-5 м/с у теплих секторах циклонів.

Випадіння опадів у вигляді дощу та снігу, як і великі швидкості вітру, сприяють посиленню природного самоочищення і, отже, зменшенню забруднення повітря. Так, в результаті дослідження повторюваності низьких рівнів забруднення атмосферного повітря в м. Києві [34] після випадання опадів будь-якої тривалості та опадів тривалістю не менше вісімнадцяти годин нами було встановлено, що ефект вимивання газоподібних забруднюючих речовин з повітря міста краще проявляється зі зростанням тривалості атмосферних опадів. В процесі дослідження механізму впливу туманів на якість атмосферного повітря м. Києва також не вдалося встановити чіткої залежності між туманами та повторюваністю випадків підвищеного рівня забруднення атмосферного повітря.

У роботі [59] відмічається, що доцільним є вивчення впливу місцевих ландшафтно-кліматичних властивостей території на розподіл концентрацій інгредієнтів у просторі й часі. Розподіл, площа і конфігурації полів атмосферного забруднення пов'язані з фізико-географічними характеристиками місцевості, в першу чергу – з особливостями рельєфу. Вплив останнього на міру забруднення повітря можна наближено визначити за методикою розрахунків умовних коефіцієнтів з урахуванням параметрів орографічних перешкод і окремих метеорологічних величин, що представлені в [60].

### **1.5. Стационарні пости спостереження за рівнем забруднення атмосферного повітря**

Систематичні спостереження за рівнем забруднення атмосферного повітря в місті Полтава проводяться на 4-х стаціонарних постах «ПОСТ-2А» [61]. Їх діяльність забезпечує Полтавський обласний центр з гідрометеорології Державної гідрометеорологічної служби. [62]

Основні завдання діяльності підрозділу, визначені положенням Державної гідрометеорологічної служби:

- забезпечення проведення гідрометеорологічних спостережень та спостережень за забрудненням навколишнього природного середовища на базовій мережі, збір, обробка, узагальнення матеріалів спостережень;
- забезпечення прогнозування погоди, гідрологічного режиму водних об'єктів, врожайності сільськогосподарських культур, небезпечних і стихійних гідрометеорологічних явищ;
- забезпечення місцевих органів державної влади, органів місцевого самоврядування, галузей економіки, населення, Збройних Сил, інших споживачів інформацією загального користування про гідрометеорологічні умови та забруднення навколишнього природного середовища, прогнозами та попередженнями про небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища, а також здійснення гідрометеорологічного обслуговування.

Номери та адреси постів спостереження за станом атмосферного повітря (ПСЗ) [63] наведено на рисунку 1.3:

ПСЗ №1 – просп. Першотравневий, 20

ПСЗ №3 – вул. Зіньківська, 2

ПСЗ №6 – вул. Калініна, 45

ПСЗ №7 – вул. Маршала Бірюзова, 85

№5 – сектор метеорологічних спостережень Полтавського ЦГМ вул. Шведська, 84.

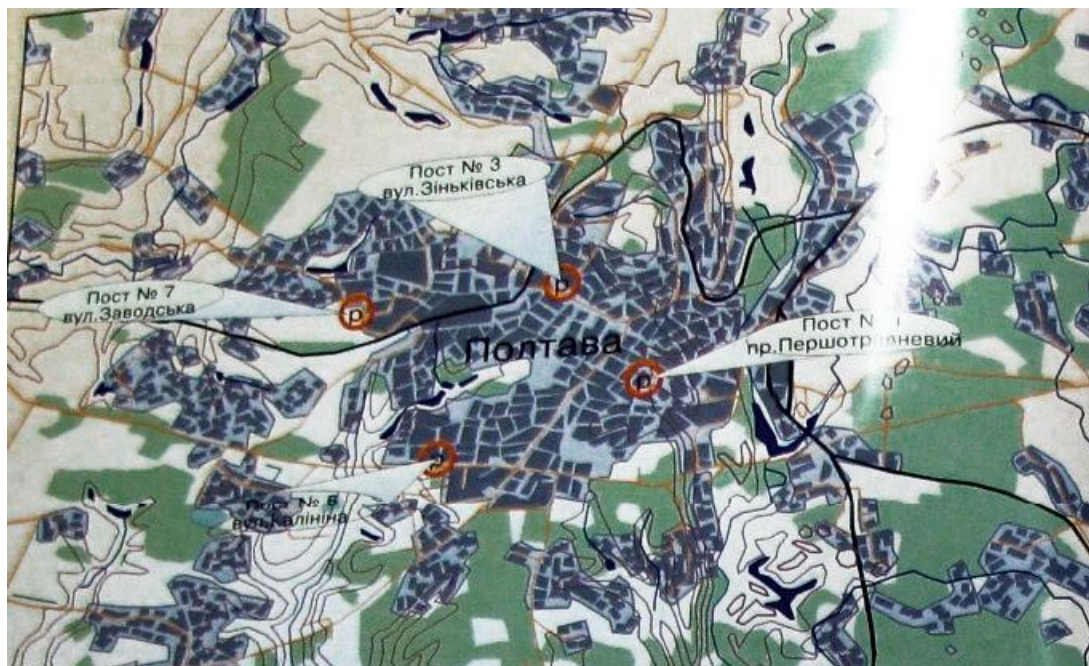


Рисунок 1.3 – Розміщення стаціонарних постів спостереження в місті  
Полтава

ПЗС №1 розташований приблизно в центрі міста. Він оточений міським парком відпочинку. Поруч трафіку мало. ПЗС №3 знаходиться у добре провітрюваній зоні на півночі міста з не дуже інтенсивним рухом. ПЗС № 6 розташований у південній частині, в житловому районі міста з переважно приватними домогосподарствами. ПЗС № 7 розташований у промисловій зоні на заході міста.

На стаціонарних постах спостереження ведеться спостереження за наступними забруднюючими речовинами: завислі речовини,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{FH}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ .

Відбір проб на забрудненість шкідливими домішками проводиться по «повній програмі» 4 рази на добу по 10 інгредієнтам, за винятком пилу, розчинних сульфатів, оксиду карбону. В таблиці 1.1 представлений відбір проб на ПЗС №1.

Визначення вмісту важких металів (ПЗС №6) та бенз(а)пірену на постах №3, №7 проводиться із сумарної проби за місяць.



Методика виконання вимірювань здійснюється відповідно до РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы».

Таблиця 1.1 – Відбір проб на ПЗС №1

Забрубноюча речовина	Час взяття проби			
	1 <sup>00</sup>	7 <sup>00</sup>	13 <sup>00</sup>	19 <sup>00</sup>
PM <sub>10</sub>		+		+
SO <sub>2</sub>	+	+	+	+
CO		+	+	+
NO <sub>2</sub>	+	+	+	+
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		+		+
HF	+	+	+	+
HCl	+	+	+	+

Основною вимірювальною технікою на даних постах та лабораторії гідрометеорологічного центру є:

- електроаспіратори ЕА-1;
- установка пневматична 4-х канальна УП 1122С;
- установка пневматична 4-х канальна УП-052С;
- газоаналізатор «Паладій-3»;
- колориметр фотоелектричний ФЕК-56М;
- фотоколориметр КФК-2;
- рН-метр рН-673М;
- психрометр аспіраційний МВ-4М.

## **1.6. Пересувні пости спостереження за станом атмосферного повітря (на прикладі м. Кременчук)**

Автори роботи [64] провели обґрунтування структури муніципальної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря. Так, в таблиці 1.2 наведена порівняльна характеристика систем державного та муніципального моніторингу якості атмосферного повітря, що вказує на причини необхідності наявності муніципальних систем.

Таблиця 1.2 – Характеристика державної та муніципальної систем оцінки якості атмосферного повітря

Державна система	Муніципальна система
Переважно стаціонарні спостереження	Доцільність мобільного контролю
Доступність обробленої, усередненої та індексної інформації за результатами спостережень	Потреба в одержанні максимальних концентрацій за результатами разових вимірювань
Одержання значень метеопараметрів з єдиного центру та на стаціонарних постах	Необхідність ситуативного контролю метеопараметрів у приземному прошарку в місцях спостереження
Спрямованість на забезпечення органів влади та суб'єктів системи моніторингу	Перевага у поточному інформуванні громадян і органів місцевої влади
Забезпечення стратегічного довгострокового прогнозування	Пріоритет короткострокового планування та прогнозування
Оперативне реагування не є пріоритетом роботи системи	Пріоритет – оперативне реагування на запити членів громади

Відповідно до авторів, система моніторингу за станом атмосферного повітря має бути постійно діючою, однак при цьому охоплювати не лише системні (режимні) спостереження на стаціонарних постах контролю, а й мати можливість для реалізації оперативних та епізодичних спостережень згідно вище зазначених вимог. Так, системні (режимні) дослідження проводяться з метою отримання інформації про разові концентрації щодня в 7, 13, 19 год місцевого часу. Встановлено, що в умовах організації системи спостережень за якістю атмосферного повітря на території техногенно навантаженої урбосистеми, яка історично вже сформована, тобто відомі характеристики переважної більшості стаціонарних джерел забруднення атмосферного повітря, трафік руху автомобільного транспорту основними магістралями та вулицями, базисом для організації оперативних спостережень є звернення громадян міста на муніципальні «гарячі» лінії з повідомленнями про можливе наднормове забруднення атмосферного повітря. Організація епізодичних спостережень за допомогою ПМЕЛ (пересувних муніципальних екологічних лабораторій) має на меті виконання завдань більш детальних, конкретизованих спостережень за

станом забруднення атмосферного повітря у безпосередній близькості від джерел негативного впливу. Вихідними умовами для організації епізодичних досліджень мають бути:

–звернення громадян;

–перелік об'єктів забруднювачів атмосферного повітря, із територій з яких найчастіше надходять звернення громадян;

–результати режимних спостережень за допомогою ПМЕЛ та системних стаціонарних спостережень під час яких найчастіше фіксуються перевищення норм ГДК;

–результати оперативних спостережень за допомогою ПМЕЛ, під час яких зафіксовані перевищення норм ГДК.

Тобто, практична реалізація запропонованих авторами [64] програм спостережень дозволить забезпечити дієвий контроль за станом атмосферного повітря в місті, як за рахунок систематичних (режимних) спостережень за загальним рівнем забруднення, так і шляхом оцінювання внеску конкретних джерел екологічної небезпеки шляхом організації та проведення оперативних і систематичних спостережень на межі СЗЗ цих об'єктів.

Реалізація програми режимних, оперативних та епізодичних спостережень за якістю атмосферного повітря, у тому числі, із застосуванням ПМЕЛ була здійснена для техногенно навантаженої урбосистеми м. Кременчук. Визначено, що кількість мобільних точок спостереження та місця їх орієнтовного розташування доцільно обрати на рівні 8-10 точок. Таке кількісне розташування мобільних точок спостереження дозволить одержати режимну інформацію про стан забруднення атмосферного повітря в межах ЗАЗ основних промислових об'єктів міста, визначати рівень забруднення атмосферного повітря безпосередньо на територіях основних транспортних магістралей міста та одержати інформацію про загальний рівень екологічної небезпеки в центрі міста.

На прикладі урбосистеми техногенно навантаженого міста Кременчука, Мареничем А.В. розроблено функціональну схему реалізації програми екологічного моніторингу атмосферного повітря, яку представлено на рис. 1.4.

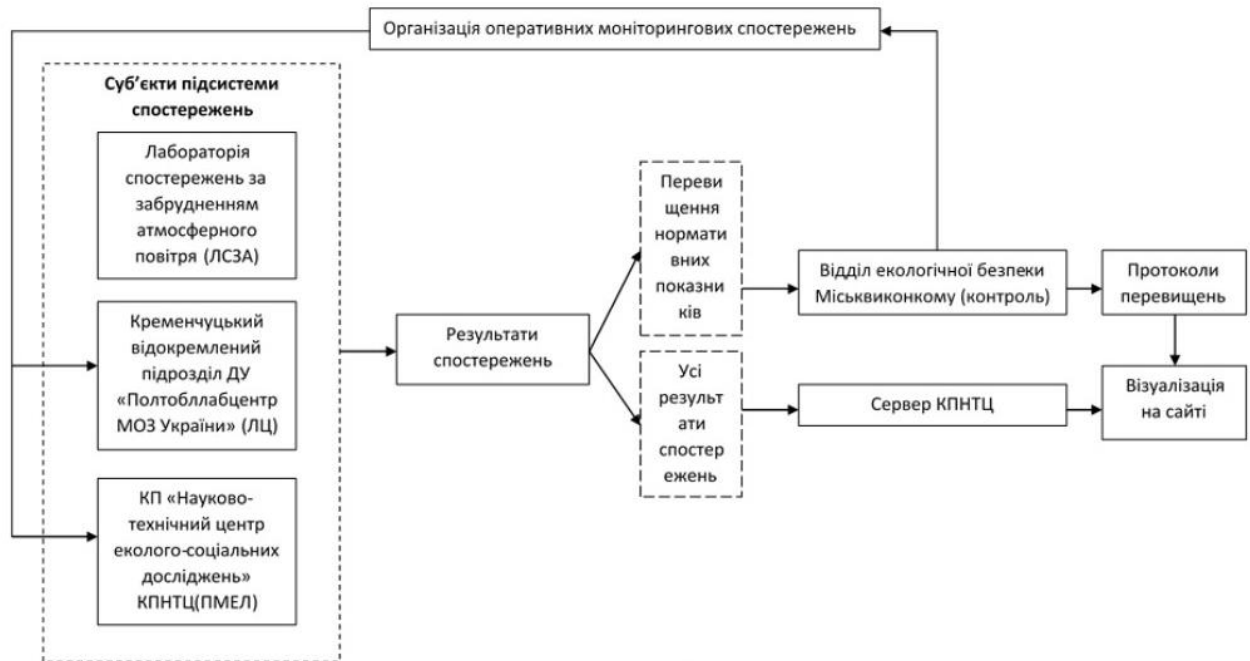


Рисунок 1.4 – Структурна схема організації оперативних моніторингових спостережень в м. Кременчук [65]

Автор запевняє, що практична реалізація запропонованої схеми дозволить з використанням пересувних муніципальних екологічних лабораторій та з урахуванням результатів спостережень інших суб'єктів забезпечити виконання на рівні міста конкретизованих пріоритетних завдань муніципальних органів контролю якості атмосферного повітря.

## 1.7. Гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин в Україні та Європі

Відповідно до Державних санітарних правил охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами), затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 9

липня 1997 р. №201, гранично допустима концентрація (ГДК) забруднюючої речовини в атмосферному повітрі населених місць - це максимальна концентрація, при дії якої протягом усього життя людини не виникає прямого або опосередкованого несприятливого впливу на теперішнє і майбутнє покоління, не знижується працездатність людини, не погіршується її самопочуття та санітарно-побутові умови життя. ГДК встановлюється на основі тривалих досліджень за спеціальною методикою у підрозділах гігієнічного профілю, акредитованих Комітетом з питань гігієнічної регламентації МОЗ України, та затверджується головним державним санітарним лікарем України. [66] Так, державні санітарні правила містять основні вимоги до охорони атмосферного повітря населених місць і місць масового відпочинку та оздоровлення населення, виконання яких повинно забезпечити запобігання несприятливому впливу забруднення повітряного середовища на здоров'я населення та санітарно-побутові умови його життя. Вони призначені для проектних, науково-дослідних і проектно-конструкторських організацій і установ, промислових підприємств, будівельних організацій незалежно від форм власності та підпорядкування і громадян, які займаються розміщенням, проектуванням нових, реконструкцією чи технічним переозброєнням і експлуатацією існуючих підприємств, споруд та інших об'єктів, що є джерелами забруднення атмосферного повітря, а також для фахівців державної санітарно-епідеміологічної служби і інших спеціально уповноважених органів і служб, які здійснюють державний нагляд в галузі охорони атмосферного повітря.

В Європейському Союзі головним основоположним документом в захисті повітряного басейну є Директива 2008/50/ЄС європейського парламенту та ради від 21 травня 2008 року щодо якості навколишнього повітря та чистого повітря в Європі. [67] Ця Директива встановлює заходи, спрямовані на:

- визначення та встановлення цілей якості навколишнього повітря, розроблених для уникнення, запобігання або зменшення шкідливого впливу на здоров'я людини та навколишнє середовище в цілому;

- оцінку якості навколишнього повітря в державах-членах на основі загальних методів та критеріїв;
- отримання інформації про якість навколишнього повітря з метою боротьби із забрудненням повітря та шумів, а також для моніторингу довгострокових тенденцій та вдосконалень, що є результатом національних заходів та заходів Співтовариства;
- забезпечення надання інформації про якість навколишнього повітря, її доступність для громадськості;
- підтримання якості повітря на територіях з показниками високої якості, та покращення його в інших випадках;
- сприяння посиленню співпраці між державами-членами щодо зменшення забруднення повітря.

Відповідно до Директиви "граничне значення" забруднюючої речовини означає рівень, встановлений на основі наукових знань, з метою уникнення, запобігання або зменшення шкідливого впливу на здоров'я людини та/або навколишнє середовище в цілому, та який повинен бути досягнутий протягом визначеного періоду і не повинен бути перевищений жодного разу при його досягненні.

Для порівняння деякі гранично допустимі значення концентрацій забруднюючих речовин наведені в Таблиці 1.3.

Рівень гранично допустимих стандартів в країнах ЄС та США не є постійним і переглядається кожні 5 років. При цьому вносяться корективи, що витікають з нових знань, або підтверджується попередній стандарт. В Україні встановлені гігієнічні стандарти практично не переглядаються. Усі питання визначення стандартів якості стану навколишнього середовища зосереджені і вирішуються в одній установі (в США – Агентство охорони навколишнього середовища). В Україні визначення таких стандартів повинно здійснюватися різними міністерствами або відомствами [68].

Таблиця 1.3 – Граничні значення концентрацій забруднюючих речовин в Україні та Європі

Забруднююча речовина	Гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин	
	Європейський Союз	Україна
сульфур діоксид (SO <sub>2</sub> )	350 µg/ m <sup>3</sup> (на годину)	500 µg/ m <sup>3</sup> (максимально разова)
	125 µg/ m <sup>3</sup> (на день)	50 µg/ m <sup>3</sup> (середньодобова)
нітроген діоксид (NO <sub>2</sub> )	200 µg/ m <sup>3</sup> (на годину)	200 µg/ m <sup>3</sup> (максимально разова)
	40 µg/ m <sup>3</sup> (на рік)	40 µg/ m <sup>3</sup> (середньодобова)
пил - PM <sub>10</sub>	50 µg/ m <sup>3</sup> (на день)	150 µg/ m <sup>3</sup> (максимально разова)
	40 µg/ m <sup>3</sup> (на рік)	50 µg/ m <sup>3</sup> (середньодобова)
плюмбум (Pb)	0,5 µg/ m <sup>3</sup> (на рік)	1 µg/ m <sup>3</sup> (максимально разова)
карбону оксид (CO)	10 mg/ m <sup>3</sup> (максимум 8 годин на день)	5 mg/ m <sup>3</sup> (максимально разова)
озон (O <sub>3</sub> )	120 µg/ m <sup>3</sup> (рекомендація – максимум 8 годин на день)	160 µg/ m <sup>3</sup> (максимально разова)
арсеній (As)	6 ng/ m <sup>3</sup> (рекомендація – на рік)	3 µg/ m <sup>3</sup> (середньодобова)
кадмій (Cd)	5 ng/ m <sup>3</sup> (рекомендація – на рік)	0,3 µg/ m <sup>3</sup> (середньодобова)
нікель (Ni)	20 ng/ m <sup>3</sup> (рекомендація – на рік)	1 µg/ m <sup>3</sup> (середньодобова)
поліциклічні ароматичні вуглеводні	1 ng/ m <sup>3</sup> (рекомендація – на рік) (в перерахунку на концентрацію бензо(а)пірену)	1 ng/ m <sup>3</sup> (максимально разова) (в перерахунку на концентрацію бензо(а)пірену)

## 1.8. Порівняльний аналіз методів оцінки атмосферного повітря міст в Україні та Європі

Характеристика методів оцінки атмосферного повітря міст в Україні була наведена в попередніх підрозділах. Але, слід відмітити, що останніми змінами в сфері моніторингу атмосферного повітря в Україні є постанова Кабінету міністрів України від 14 серпня 2019 року №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря». [69] Головні нововведення:

– передбачено здійснення моніторингу та управління якістю повітря за принципом розподілу території України на зони та агломерації, утворено відповідні зони та агломерації.

– у кожній із зон та агломерації визначено відповідальний орган управління якістю повітря, що здійснюватиме координацію реалізації моніторингу, а також заходів з управління якістю повітря, зокрема підготовку та виконання планів поліпшення якості повітря, короткострокових планів дій тощо;

– врегульовано порядок визначення режимів оцінювання для кожної зони та агломерації залежно від рівня забруднення території;

– передбачено створення інформаційно-аналітичної системи даних про якість повітря та своєчасного інформування населення;

– визначено показники рівнів забруднення атмосферного повітря, перевищення яких вимагає впровадження заходів для поліпшення стану повітря або мінімізації шкідливого впливу забруднення на здоров'я населення;

– включено до переліку забруднюючих речовин, моніторинг яких здійснюється обов'язково, РМ 2,5, РМ10 та озон, які мають значний негативний вплив на здоров'я людини, та рекомендовані для вимірювання ВООЗ;

– передбачено створення нової мережі постів спостережень, які відповідають мінімальним європейським вимогам до моніторингу;

– передбачено розроблення програми моніторингу для зон та агломерацій на кожні 5 років.

Далі мова йтиме про оцінку стану атмосферного повітря в Європі на прикладі Німеччини (Саксонії). Відповідно до офіційного сайту Саксонії, в межах моніторингу якості атмосферного повітря говориться, що відповідальність за якість повітря та його моніторингу лежить на Державному відомстві з питань навколишнього середовища, сільського господарства та геології (LfULG). У Саксонії, якість повітря виявляється безперервно із записом відповідних показників. [70]



Мережа моніторингу забезпечує точну оцінку якості повітря та впливу забруднюючих речовин в Саксонії.

Для контролю якості атмосферного повітря в Саксонії, національно орієнтована мережа моніторингу повітря працює з безперервним вимірюванням концентрації забруднюючих речовин. Всього наразі працює 29 автоматичних багатокомпонентних вимірювальних станцій, де визначаються концентрації наступних забруднюючих речовин: діоксид сульфуру ( $\text{SO}_2$ ), дрібний пил  $<10$  і  $2,5$  мкм ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ), озон ( $\text{O}_3$ ), оксиди нітрогену ( $\text{NO}_x$ ), та летючі органічні сполуки, такі як бензол, толуол і ксилол (БТК). В лабораторних умовах також визначаються деякі компоненти пилу (важкі метали, зола, поліциклічні ароматичні вуглеводні). У доповненні до забруднюючих речовин вимірюються метеорологічні змінні: напрям та швидкість вітру, температура повітря, вологість, тиск, сонячна радіація.

Вимірювання окису карбону ( $\text{CO}$ ) врегульоване в 2008 році. Через дуже низькі концентрації  $\text{CO}$  у всій мережі моніторингу, більше не існує зобов'язання до його вимірювання.

Для визначення твердих частинок  $\text{PM}_{10}$  використовується два методи вимірювання. Перший метод вимірювання за допомогою безперервного відбору проб забезпечує попередні, пошукові результати, що вимагаються законом, та для щоденного інформування громадськості. Другий метод вимірювання дає остаточні дані в якості основи для визначення граничних значень  $\text{PM}_{10}$ , визначення кількості їх перевищень та для підготовки планів дій щодо забезпечення чистого повітря. Так, вибіркові фільтри транспортуються до лабораторій, а потім оцінюються ваговим методом.

Індекс якості повітря є оцінкою якості повітря на основі аналізу окремих забруднюючих речовин. Виміряним концентраціям окремих забруднювачів повітря призначається індексний клас за рейтинговою шкалою. Потім найвищий класифікований забруднювач повітря визначає значення показника якості повітря в точці вимірювання.

Лише наукові дослідження впливу на здоров'я людини використовуються для визначення діапазонів концентрацій індексних класів. Також, була зроблена спроба врахувати виникнення можливих комбінованих ефектів, тобто посилення впливу на здоров'я за рахунок одночасного впливу кількох розглянутих забруднювачів повітря. На рисунку 1.5 наведено приклад карти з індексами якості повітря.

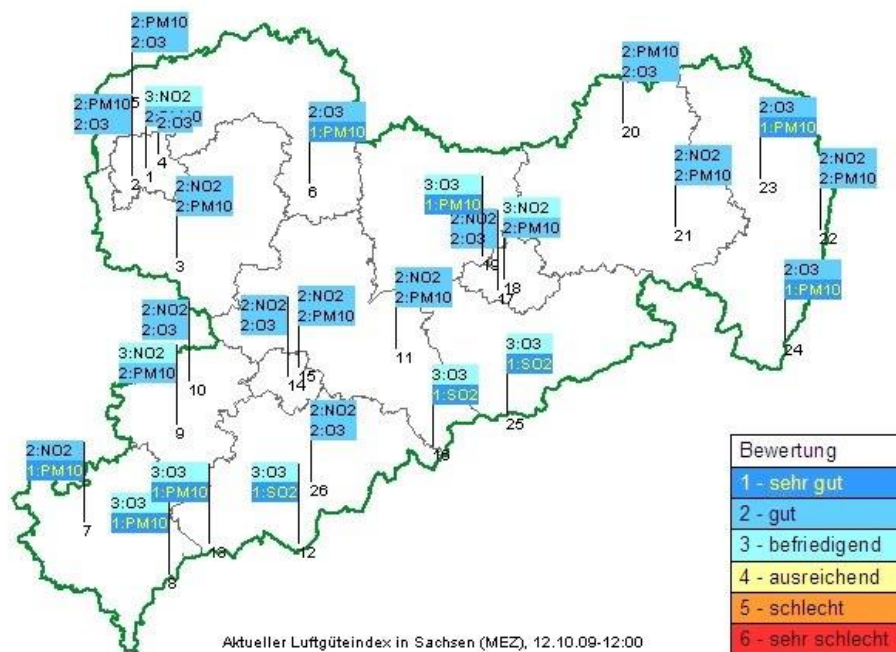


Рисунок 1.5 - Приклад подання показника якості повітря в Саксонії  
(джерело [71])

Для оцінки перерахованих нижче довгострокових ефектів (Табл. 1.4) якість повітря необхідно постійно контролювати протягом більш тривалого періоду (від місяців до років).

Таблиця 1.4 – Шкала груп для оцінки якості повітря в Німеччині

Шкала	SO <sub>2</sub> середнє значення за годину (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> середнє значення за годину (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> середнє значення за годину (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> середнє значення за день (µg/m <sup>3</sup> )
Дуже добре	до 24	до 24	до 32	до 9
Добре	до 49	до 49	до 64	до 19
Задовільно	до 119	до 99	до 119	до 34
Достатньо	до 350	до 200	до 180	до 50
Погано	до 999	до 499	до 240	до 99
Дуже погано	більше 1000	більше 500	більше 241	більше 100

Індекс 1: "дуже добре" - у поєднанні з іншими забруднювачами повітря, не слід очікувати негативних наслідків для здоров'я людини як при короткостроковому, так і в довгостроковому впливі. Діапазон концентрацій класу 1 знаходиться нижче порогового рівня очікуваних ефектів. Значення концентрації, виміряні для забруднювачів повітря NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> та CO в районах чистого повітря, зазвичай знаходяться в цьому діапазоні.

Індекс 2: "добре" - межа між класами 1 та 2 була встановлена наполовину нижчою межею концентрації класу 3 з точки зору застереження. Тому тут також впливає те, що навіть у поєднанні з іншими забруднювачами повітря не слід очікувати негативних наслідків для здоров'я людини, як при короткочасному, так і при тривалому впливі.

Індекс 3: "задовільно" - короткострокові несприятливі наслідки для здоров'я людини малоймовірні, але їх не можна виключити у випадку поєднання забруднюючих речовин повітря та тривалого впливу окремої речовини. Для отримання нижньої межі класу використовували найнижчу концентрацію впливу, для якої епідеміологічні дослідження все ще виявляли підозри на вплив на здоров'я людини після короткочасного впливу, а в деяких випадках також використовувались довгострокові наслідки (наприклад, посилення захворювань дихальних шляхів).

Індекс 4: "достатньо" - у поєднанні з іншими забруднювачами повітря у більш високих концентраціях або іншими подразниками, що викликають реакцію органів дихання, у чутливих груп людей можуть спостерігатися незначні наслідки для здоров'я. Найнижча концентрація впливу була використана для отримання нижньої межі, яка в експериментальних дослідженнях все ще мала незначний вплив на чутливі групи населення. Сюди можна віднести, наприклад, підвищену дратівливість дихальних шляхів астматиків, а це означає, що вплив забруднюючої речовини не змінює параметри функції легень, а посилює реакцію на бронхолітичний препарат. Цей ефект говорить про те, що потрапляння забруднювача повітря може призвести до виникнення раніше і більш важких симптомів у астматиків. Також були використані дослідження, в яких незначні ефекти (наприклад, підвищена дратівливість дихальних шляхів) спостерігалися у людей з нормальною чутливістю.

Індекс 5: "погано" - побічні наслідки для здоров'я можуть спостерігатися у чутливих груп людей, а в поєднанні з іншими забруднювачами повітря і у менш чутливих людей. Найнижча концентрація була використана для отримання нижньої межі, яка мала наслідки експериментальних досліджень у чутливих групах населення, в яких значно змінені параметри функцій легень та посиленна реакція на бджолиний пилок у астматиків. Подібні ефекти мали місце при поєднанні забруднювачів повітря у людей з нормальною чутливістю.

Індекс 6: "дуже погано" - побічні наслідки для здоров'я у чутливих груп людей вірогідні, а також можливі і для менш чутливих людей. Найнижча концентрація впливу була використана для отримання нижньої межі, яка в експериментальних дослідженнях також мала вплив на нормально чутливих людей (зазвичай здорових дорослих), тобто такі ефекти, які істотно змінювали параметри легеневої функції та підвищували реакцію дихання на додаткові подразники.

Щодо моніторингу викидів в атмосферне повітря слід відмітити, що моніторинг специфічних для системи викидів забруднюючих речовин повітря та

пахучих речовин знаходиться у "Федеральному законі про контроль над викидами" (BImSchG) та законодавчо регламентовано у відповідних постановах (BImSchV). Крім того, положення щодо впровадження BImSchG та його розпорядження для всіх органів моніторингу навколишнього середовища закладені в адміністративних регламентах щодо BImSchG та інших нормативних актах (зокрема, "Технічні інструкції з контролю забруднення повітря" (TA Luft) та "Федеральна уніфікована практика моніторингу викидів" (BER).

Вимірювання викидів використовуються для визначення поведінки у рослин, щоб дати змогу саксонським органам контролю за викидами оцінювати відповідність визначеним обмеженням викидів. У рамках цих вимірювань вихлопні гази досліджуються кількісно та якісно в розрізі різних забруднювачів повітря.

Розрізняють первинні, періодичні та постійні вимірювання. Первинні та періодичні вимірювання проводяться від імені системних операторів із оголошених вимірювальних пунктів за допомогою мобільної вимірювальної технології. Постійні вимірювання проводяться самими операторами підприємств, використовуючи постійно встановлені вимірювальні та оціночні пристрої. Ці автоматичні вимірювальні та оціночні пристрої перевіряються на правильність встановлення та щорічно на належну роботу оголошеними вимірювальними пунктами та регулярно калібруються (зазвичай кожні 3 роки).

## **1.9. Висновки до розділу**

Проаналізовано методи оцінки стану забруднення атмосферного повітря в українській та закордонній практиці. Визначено основні недоліки найбільш широко використовуваних підходів оцінки стану забруднення атмосфери з точки зору їх відповідності сучасним пріоритетам щодо моніторингу якості повітря урбанізованих систем. Встановлено, що у зв'язку з нововведеннями в питаннях здійснення моніторингу якості атмосферного повітря, наявна система спостережень за забрудненнями є неповною та недосконалою, особливо а розрізі

здійснення спостережень за такими забруднюючими речовинами, як PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub>. Отже, за результатами проведеного аналізу визначено, що питання розробки схем організації та проведення соціально-спрямованого екологічного моніторингу, особливо в розрізі забруднення пилом атмосферного повітря, на сьогодні потребують широкого удосконалення.

Опрацювання результатів аналізу літературних джерел дозволило визначити такі задачі роботи як:

- проаналізувати результати досліджень забрудненості атмосферного повітря (на прикладі міста Полтава) за попередніми даними;
- на прикладі реальних урбосистем провести аналітично-порівняльне дослідження стану якості повітряного басейну міст;
- обґрунтувати концепцію створення громадського моніторингу атмосферного повітря міста та відповідно інформування населення щодо його результатів;
- розробити метод визначення орієнтовних точок встановлення додаткового контролю за пилом, відповідно до постанови щодо деяких питань моніторингу атмосферного повітря;
- встановити особливості залежності метеорологічного потенціалу міста та стану забруднення атмосфери з точки зору екологічної безпеки міста;
- актуалізувати впровадження реалізації задач щодо захисту повітря в рамках проекту «Інтегрований розвиток міст в Україні».

Результати проведених досліджень опубліковані у роботах [61, 72-76].

## **Розділ 2. Методи оцінювання рівня забруднення атмосферного повітря міста Полтава**

Полтава – обласний центр однойменної області і найбільше місто в регіоні. Це затишне місто з великою кількістю зелених зон та вуличного озеленення, сприятливим екологічним середовищем, тисячолітньою історією та багатою культурною спадщиною, що створює значний потенціал м'яких факторів розташування та сприяє привабливості міста.

Місто відрізняється вдалим географічним розташуванням, оскільки знаходиться у відносній близькості до найбільших українських міст та регіональних ринків на перетині транспортних шляхів. [77] Полтавська область межує із сімома областями України: Чернігівською, Сумською, Дніпропетровською, Кіровоградською, Харківською, Київською, Черкаською.

Полтавська область розташована в центральній частині України в лісостеповій зоні. Із загальної площі 28,75 тис. км (4,6% площі України) 9,6% складають ліси та інші лісовкриті площі, 5,2% займають поверхневі водойми, 75,8% території – сільгоспугіддя, з них рілля – 61,2%.

Клімат – помірно-континентальний; основна частина території області належить до недостатньо вологої, теплої зони, крайній південний схід – до посушливої, дуже теплої агрокліматичної зони. Кількість днів з грозами в середньому за рік дорівнює 13, з градом – 5, зі снігом – 59, річна норма опадів – 569 мм.

Полтава знаходиться між трьома найбільш потужними економічними, промисловими і науковими центрами – Києвом, Харковом та Дніпром, (рис. 2.1) що створює ідеальні умови для розвитку широкого спектру різних видів економічної діяльності, таких як: креативні індустрії, економіка знань, різні види туризму, екологічно чисте виробництво та сфера логістики, вантажних

перевезень, тим більше, що в останній час зростає вагомість транспортного сполучення М-03 Київ-Харків-Довжанський і основних залізничних ліній.



Рисунок 2.1 – Розташування м. Полтава відносно великих міст країни

Природно-ресурсний та економічний потенціал, економіко-географічне положення, орієнтація на природничі та гуманітарні науки, унікальне оточення Полтави формують особливі перспективи розвитку міста.

## **2.1. Характеристика міста з точки зору розрахунку забруднення приземного шару атмосфери за допомогою програми ЕОЛ**

Інформацію про статистичні показники, що характеризують стан та тенденції розвитку підприємств-юридичних осіб (крім банків та установ, що утримуються за рахунок бюджету) можливо отримати за допомогою головного управління статистики у Полтавській області. [78]

Підприємство – самостійний суб'єкт господарювання, створений компетентним органом державної влади або органом місцевого самоврядування, або іншими суб'єктами для задоволення суспільних та особистих потреб шляхом систематичного здійснення виробничої, науково-дослідної, торговельної, іншої господарської діяльності в порядку, передбаченому Господарським кодексом



України та іншими законами. Підприємство не має у своєму складі інших юридичних осіб, але має право створювати філії, представництва, відділення та інші відокремлені підрозділи, які не мають статусу юридичної особи. Критерії розмірів підприємств визначені у Господарському кодексі України в редакції від 22.03.2012 р.

Кількість зареєстрованих у Полтаві підприємств за даними управління статистики в Полтавській області наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Кількість підприємств

	2015	2016	2017	2018
Усього, од	3484	3031	3550	3842
на 10 тис. осіб наявного населення, од	118	103	122	133
у тому числі малі підприємства, од	3328	2879	3380	3661
відсотків до загальної кількості підприємств	95,5	95,0	95,2	95,3
на 10 тис. осіб наявного населення, од	113	98	116	127
з них мікропідприємства, од	2857	2405	2905	3155
відсотків до загальної кількості підприємств	82,0	79,3	81,8	82,1
на 10 тис. осіб наявного населення, од	97	82	100	109

Управління статистики також відмічає наступні визначення, що стосуються звітності відносно якості атмосферного повітря:

- забруднююча речовина – будь-яка речовина чи матеріал фізичного, хімічного або біологічного походження, що справляє негативний вплив на повітря, воду, землю чи біоту;

- стаціонарне джерело забруднення – підприємство, цех, агрегат, установка або інший нерухомий об'єкт, що зберігає свої просторові координати протягом певного часу і здійснює викиди забруднюючих речовин в атмосферу;

- викиди – надходження в атмосферне повітря забруднюючих речовин або суміші таких речовин від стаціонарних або пересувних джерел забруднення;

- викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел – загальна кількість забруднень, що надійшли в повітряний басейн від стаціонарних джерел викидів як після проходження пилогазоочисних установок у результаті неповного уловлення й очищення на організованих джерелах забруднення, так і без очищення від організованих і неорганізованих джерел забруднення.

Кількість викидів забруднюючих речовин від підприємств міста за даними управління статистики наведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря

	2010	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Викиди забруднюючих речовин	1766,5	1129,3	1065,8	1205,4	1208,8	1166,2	1112,3
у тому числі							
діоксид сульфуру	99,2	117,8	153,4	145,4	143,4	160,0	97,9
діоксид нітрогену	449,1	353,7	331,1	357,8	373,9	315,7	339,0
оксид нітрогену	0,5	1,1	2,7	2,6	2,8	2,7	2,5
оксид карбону	577,4	202,9	181,6	230,7	235,9	226,0	220,3
метан	62,4	40,0	28,6	24,1	18,6	14,7	34,6
неметанові леткі органічні сполуки	268,5	215,7	165,8	177,4	166,9	189,7	197,9
зважені суспендовані частинки	270,0	165,9	168,9	237,1	237,5	242,4	204,9
амоніак	23,5	21,8	23,3	17,8	17,6	8,4	9,4
Крім того, викиди діоксиду карбону, тис.т	263,6	268,5	299,6	301,1	308,1	295,9	287,9

Але більш детальне контролювання стану атмосферного повітря зводиться фактично лише за постами спостережень, які нажаль не охоплюють значної

частини міста. Тому і було прийнято рішення провести оцінку рівня забруднення атмосферного повітря міста стаціонарними джерелами викидів для (майже більше ніж 95% великих підприємств міста) 3686 джерел, що розташовані на 195 підприємствах у 3-х його районах та провести її порівняння з даними постів спостережень та сучасними методиками оцінки рівня забруднення атмосферного повітря міст.

Аналіз рівня забруднення проведено на підставі розсіювань забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за програмою ЕОЛ-2000 [h], яка погоджена Міністерством екології та природних ресурсів листом від 22.05.2003 № 5185/18-10. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» є ліцензованим користувачем цієї програми.

Дана програма являє собою – автоматизовану систему для введення даних, розрахунку, одержання результатів у вигляді вихідних таблиць і карт розсіювання, які в свою чергу забезпечують графічну інтерпретацію джерел викидів та рівнів концентрацій. Призначена для оцінки впливу шкідливих викидів проєктованих і діючих підприємств на забруднення приземного шару атмосфери.

Розрахункові модулі системи реалізують "Методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств ОНД-86".

Для проведення за програмою розрахунків, вперше внесено дані для 3686 джерел викидів. Загальна кількість забруднюючих речовин становить 196, які формують 21 групу сумачій. [79]

Для проведення розрахунків сформована карта (рис. 2.2).

Ідентифікація джерел виконана в загальноміській системі координат на електронній топооснові міста, що дозволяє забезпечити точну прив'язку джерел забруднення до єдиної загальноміської системи координат, відображати, масштабувати та друкувати фрагменти місцевості з нанесеними джерелами викидів, санітарними зонами, полями концентрацій забруднюючих речовин.

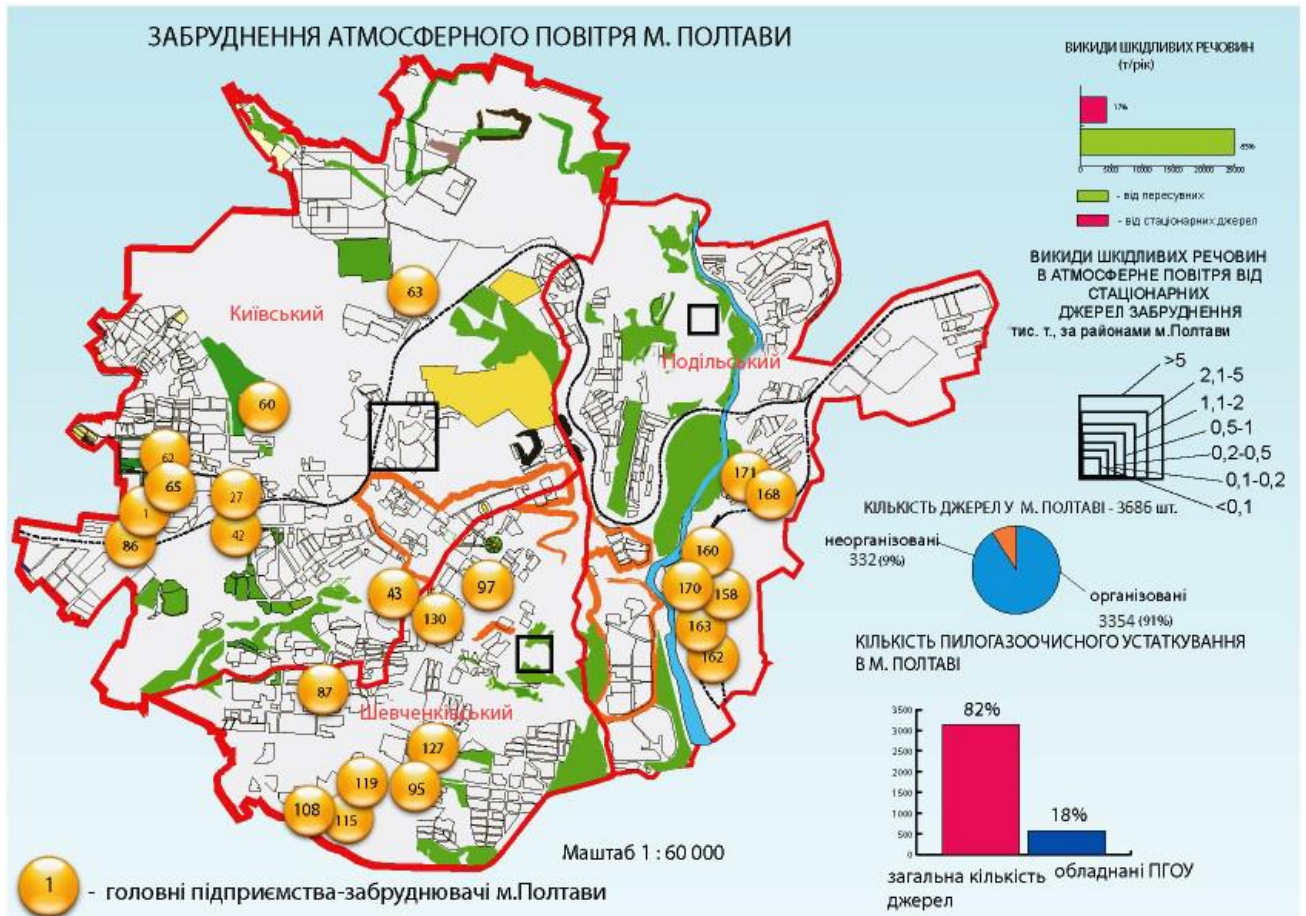


Рисунок 2.2 – Карта забруднення атмосферного повітря м. Полтави:

27 – ПП «Полтавський ливарно-механічний завод»; 42 – ПП «Полтававторкольтормет»; 62 – ПрАТ «Полтавський олійноекстракційний завод – Карнел-Груп»; 63 – ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод»; 65 – ТОВ «Полтавахіммаш»; 86 – ТОВ «Полтавський газовий завод»; 115 – ПП «Крол»; 119 – ТОВ «Еліцентр»; 130 – ПрАТ «Електромотор»; 158 – ПП «Надежда-2006»; 160 – Вагонне ДЕПО Полтава Південної залізниці; 162 – ДП «Полтавський механічно-досліний завод»; 163 – ПП «Полтавський хлібозавод «Південний»»; 168 – Державне підприємство «Полтавський комбінат хлібопродуктів»; 170 – Локомотивне ДЕПО Полтава Південної залізниці; 171 – ВАТ «Полтаватрансбуд».

Для того, щоб система провела розрахунки та, на підставі цих розрахунків, склала карти розсіювання забруднюючих речовин, було внесено наступні дані:

1. Опис метеорологічних умов та географічна прив'язка:
  - a. середня температура повітря самого жаркого та самого холодного місяця року (0С);
  - b. гранична швидкість вітру (м/с);
  - c. регіональний коефіцієнт стратифікації атмосфери;
  - d. площа міста.
2. Опис джерел викиду шкідливих речовин:
  - a. найменування джерела;
  - b. код моделі;
  - c. коефіцієнт рельєфу;
  - d. координати точкового або лінійного джерела, або центру симетрії площинного;
  - e. координати площинного джерела;
  - f. висота джерела (м);
  - g. діаметр точкового або площинного джерела чи швидкість виходу пилогазової суміші для лінійного;
  - h. витрата пилогазової суміші;
  - i. температура пилогазової суміші (0С);
  - j. клас небезпеки підприємства.
3. Характеристика складу викиду джерела:
  - a. код джерела та код речовини;
  - b. сумарний викид (т/рік);
  - c. максимальний викид при визначеній швидкості вітру (г/с).
4. Опис шкідливих речовин:
  - a. код речовини;
  - b. найменування речовини;
  - c. ГДК максимально разове.

## 5. Опис груп сумацій шкідливих речовин:

- a. код групи;
- b. речовини, що складають групи сумацій (коди).

Отже, розрахунок розсіювання забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери показав, що перевищення спостерігається по пилу не диференційованого за складом в 1,2 рази; пилу неорганічного з вмістом діоксиду кремнію в % 70-20 (шамонт, цемент та ін.) - 5,2 рази; пилу неорганічного з вмістом діоксиду кремнію в % менше 20 (доломіт і ін.) в 7 разів та ін. (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Речовини, концентрація яких перевищувала ГДК за ЕОЛ (2015 р.)

Код речовини	Назва Речовини	Вміст (одиниці ГДК)	Район, де спостерігається перевищення
301	Нітрогену діоксид	2,88	Київський
1325	Формальдегід	8,60	Київський
2908	Пил неорганічний, що містить діоксид кремнію 70-20%	14,90	Київський
2909	Пил неорганічний, що містить діоксид кремнію нижче 20%	17,46	Подільський
2911	Пил комбікормовий	20,92	Київський Подільський
10293	Пил деревини	1,36	Київський Подільський
10417	Пил зерновий	8,52	Київський
11523	Пил насіння соняшника	26,48	Київський
Четверта група сумації		12,92	Київський
П'ята група сумації		13,91	Київський

Дані, отримані в результаті розрахунків системи ЕОЛ-2000, були порівняні з даними, отриманими при спостереженнях за забрудненням атмосферного повітря на стаціонарних постах «ПОСТ-2А» 2015 р. Це співставлення показало, що дійсно і за розрахунками програмою ЕОЛ, і за даними на стаціонарних постах, спостерігається значне перевищення вмісту пилу в атмосферному повітрі відносно гранично-допустимої концентрації.

На основі отриманих результатів розрахунку, програмою складено карти розсіювання забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери, які представлені в Додатку Б.

Найбільш забрудненим являється Київський район міста. На його території спостерігається перевищення допустимої концентрації для 2-х груп сумації та 7 забруднюючих речовинам, а саме: нітрогену діоксид, формальдегіду, пил неорганічному, що містить діоксид кремнію 70-20%, пилу комбікормовому, пилу деревини, пилу зерновому, пилу насіння соняшника. В Подільському районі виявлено перевищення за 3-ма забруднюючими речовинами: пил неорганічний, що містить діоксид кремнію менше 20%, пил комбікормовий та пил деревини. В Шевченківському районі перевищень не спостерігається, що обумовлено незначним промисловим навантаженням на територію даного району.

Найбільше перевищення від допустимих значень спостерігається за пилом неорганічним, що містить діоксид кремнію менше 20%, що складає 17,46 ГДКс.д. Це вказує на необхідність вирішення питання запиленості атмосферного повітря міста, а враховуючи останні зміни, зазначені в розділі 1, і удосконалення методів його моніторингу.

## **2.2. Характеристика забруднення повітря за даними стаціонарних постів спостереження та державної статистики**

Систематичні спостереження за рівнем забруднення атмосферного повітря згідно з програмою проводилися на 4-х стаціонарних постах «ПОСТ-2А» (рис. 2.3).

Відбір проб на забрудненість шкідливими домішками проводився по «повній програмі» 4 рази на добу по 10 інгредієнтам, за винятком пилу, розчинних сульфатів, оксиду карбону. [61]

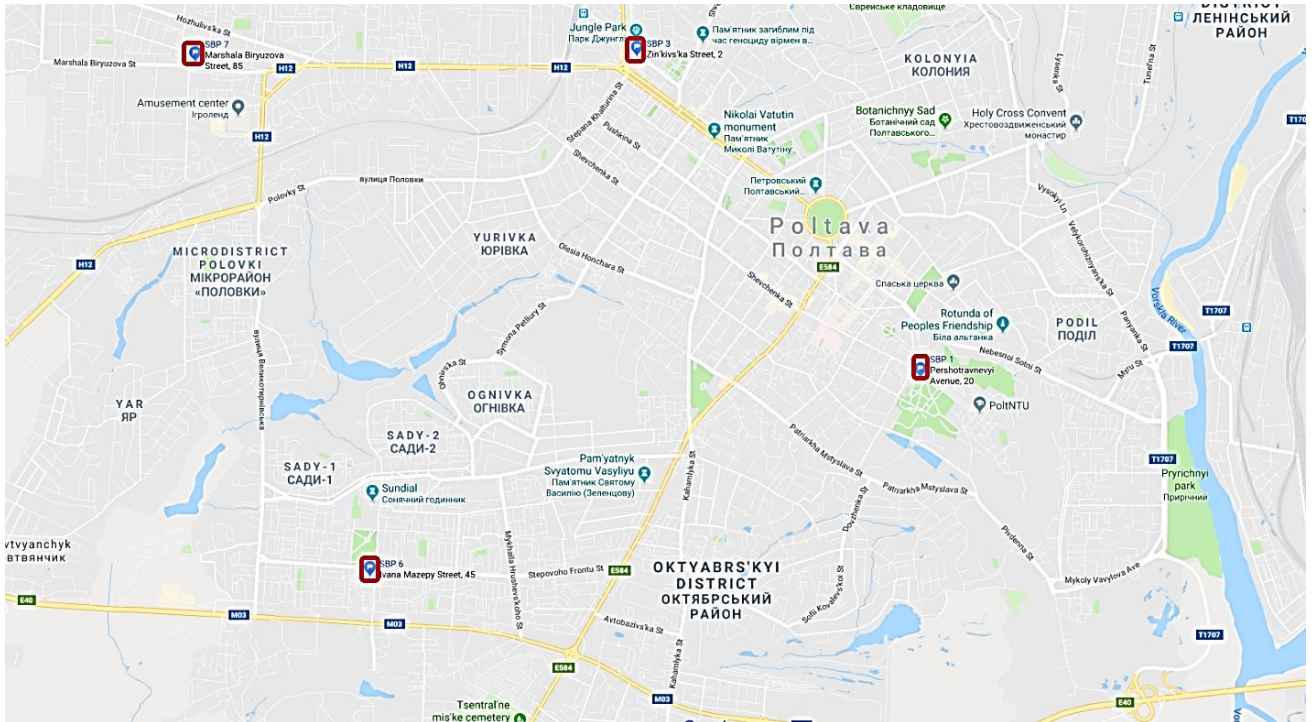


Рисунок 2.3 – Стационарні пости в м. Полтава

Визначення вмісту важких металів (ПСЗ №6) та бенз(а)пірену на постах №3, №7 проводилося із сумарної проби за місяць.

У звітному році (2017 р.) проаналізовано 22344 проб повітря.

Відсоток визначення специфічних забруднюючих речовин становить 41 від загальної кількості відібраних проб.

Методика виконання вимірювань здійснюється відповідно до РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнення атмосфери».

Відомості щодо мережі спостережень вміщені в табл. 2.4.

Дані про кількість спостережень за концентраціями домішок в повітрі приведені в табл. 2.5. Характеристика забруднення за 2012-2013рр. в табл. 2.6.

Таблиця 2.4 – Відомості щодо мережі спостережень за забрудненням повітря за 2017р.

Місто	Кількість					Обстежених підприємств	
	Постів		спостережень			Кількість підприємств	Кількість спостережень
	стаціонарних(С)	маршрутних(П)	С	П	Всього		
Полтава	4	-	22344	-	22344	-	-



Таблиця 2.5 – Кількість спостережень за концентраціями домішок у повітрі по м. Полтава за 2017р.

Д о м і ш к и	Шифр домішки	Кількість спостережень	
		С	П
Пил	01	2240	-
Діоксид сульфуру	02	4256	-
Сульфати розчинні	03	560	-
Оксид карбону	04	2520	-
Діоксид нітрогену	05	4256	-
Оксид нітрогену	06	1053	-
Фтористий водень	13	2128	-
Хлористий водень	15	1075	-
Амоніак	19	1053	-
Формальдегід	22	3203	-

Оцінка стану забруднення атмосферного повітря свідчить, що рівень забруднення здебільшого підвищений вмістом в атмосферному повітрі 5-ти пріоритетних домішок – формальдегіду, завислих речовин (пилу), діоксиду нітрогену, оксиду карбону, оксиду нітрогену.

Аналіз вимірювань показав, що із загальної кількості відібраних проб виявлено 90 випадків (0,4%) з перевищенням ГДК, що на 0,1% нижче попереднього року.

За підрахунками, із 10 визначаємих забруднюючих домішок лише вміст пилу перевищував відповідні середньодобові ГДК в 1,5 рази і порівняно з 2016 роком не змінився.

За даними вимірювань середньорічні концентрації в кратності ГДК в цілому по місту становили: діоксиду нітрогену – 0,75 ГДКс.д., оксиду карбону – 0,6 ГДКс.д., оксиду нітрогену та фтористому водню – 0,3 ГДКс.д., амоніаку – 0,25 ГДКс.д., хлористому водню і діоксиду сульфуру – 0,1 ГДКс.д., розчинених сульфатів – 0,01 ГДКс.д.

Таблиця 2.6 - Характеристика забруднення атмосферного повітря (мг/м<sup>3</sup>)

Домішки (ГДКс.д.; ГДКм.р.)	№ постів по місту	Кількість спостережень		Середня концентрація		Максимальна концентрація	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017
Пил (0,05; 0,15)	1	566	576	0,13	0,1	0,7	0,6
	3	558	556	0,21	0,2	0,9	0,9
	6	558	554	0,19	0,2	0,8	0,8
	7	558	554	0,21	0,2	1,0	0,9
	По місту	2240	2240	0,19	0,2	1,0	0,9
Оксид сульфуру (IV) (0,05; 5)	1	1063	1059	0,003	0,003	0,014	0,011
	3	1063	1059	0,004	0,004	0,021	0,018
	6	1062	1055	0,004	0,004	0,017	0,019
	7	1062	1055	0,004	0,004	0,024	0,019
	По місту	4250	4228	0,004	0,004	0,024	0,019
Сульфати розчинні (0,01)	1	562	561	0,01	0,01	0,03	0,03
Оксид карбону (0,05)	1	791	789	1	0,6	4	3
	3	558	556	2	2	8	8
	6	605	621	2	2	7	9
	7	558	554	2	2	9	8
	По місту	2512	2520	2	2	9	9
Оксид нітрогену (IV) (0,04; 0,2)	1	1063	1059	0,03	0,03	0,14	0,14
	3	1063	1059	0,04	0,04	0,22	0,19
	6	1062	1055	0,04	0,04	0,16	0,16
	7	1062	1055	0,04	0,04	0,21	0,19
	По місту	4259	4228	0,04	0,035	0,22	0,19
Оксид нітрогену (0,06; 0,4)	3	1063	1059	0,03	0,025	0,14	0,11
Фтористий водень (0,005; 0,02)	1	1063	1059	0,001	0,001	0,010	0,008
	7	1062	1055	0,0025	0,002	0,015	0,017
	По місту	2125	2114	0,002	0,002	0,015	0,017
Хлористий водень (0,2; 0,2)	6	1062	1055	0,02	0,02	0,13	0,11
Амоніак (0,04;0,2)	3	1063	1059	0,01	0,01	0,10	0,08
Формальдегід (0,003; 0,035)	1	1063	1059	0,003	0,002	0,043	0,043
	6	1062	1055	0,004	0,003	0,051	0,059
	7	1062	1055	0,0045	0,004	0,059	0,068
	По місту	3187	3169	0,004	0,003	0,059	0,068
Кадмій (0,0003)	6	12	12	0,00	0,00	0,00	0,001
Ферум (0,04)	6	12	12	0,63	0,67	1,05	1,47
Манган (0,01)	6	12	12	0,02	0,03	0,04	0,04
Купрум (0,02)	6	12	12	0,02	0,05	0,05	0,12
Нікель (0,01)	6	12	12	0,02	0,02	0,04	0,04
Плюмбум (0,001)	6	12	12	0,015	0,02	0,03	0,05
Хром (0,002)	6	12	12	0,02	0,02	0,03	0,04
Цинк (0,5)	6	12	12	0,09	0,13	0,13	0,26

Вміст в атмосферному повітрі важких металів, зокрема: кадмію, заліза, марганцю, міді, нікелю, свинцю, хрому, цинку не перевищував відповідні ГДКс.д.

Протягом 2017 року зареєстровані максимально разові концентрації з формальдегіду – 1,7 ГДКм.р. (ПСЗ №7), пилу та оксиду карбону (ПСЗ №3, 6, 7) – 1,6 ГДКм.р., діоксиду нітрогену (ПСЗ №3) – 1,1 ГДКм.р.

Повторюваність випадків перевищення максимально разової ГДК у цілому по місту становила: по пилу в 1,9%, оксиду карбону – 1,4%, формальдегіду – 0,4%.

Упродовж 2017 року в Полтаві не відмічалось випадків високого і екстремально високого забруднення атмосфери.

У річному ході середньомісячних концентрацій запиленість повітря 1,7 ГДКс.д. спостерігалась у червні та серпні, що обумовлено недостатньою кількістю опадів та високим температурним фоном (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Метеорологічні характеристики по м. Полтава за 2017 рік

Метеорологічні характеристики	М і с я ц і												Рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Кількість днів з опадами	20	18	10	14	13	10	11	8	7	20	19	28	178
Повторюваність: туманів, %	2	2	2	0	0	0	0	0	0	1	4	5	3
- швидкості вітру 0-1 м/с	17	10	10	8	19	23	35	25	19	25	15	10	18

Підвищений вміст формальдегіду – 3,3 ГДКс.д., діоксиду нітрогену – 1,1 ГДКс.д., амоніаку – 0,6 ГДКс.д., зафіксовано влітку, що пояснюється спекотною погодою (максимум сягав +35,7<sup>0</sup>С), а середньорічна температура була на 2,1<sup>0</sup>С вище норми, повторюваністю швидкості вітру 0-1 м/с (25-35%).

Як і в попередні роки продовжує простежуватися закономірність сезонних змін середньомісячних концентрацій. Саме в холодний період зростає забрудненість діоксидом сульфуру та розчинними сульфатами, що пов'язано з більшим викидом продуктів згорання палива.

Середньомісячні концентрації оксиду карбону – 0,6 ГДКс.д., фтористого водню та хлористого водню рівномірно спостерігалися протягом року і не перевищували рівень ГДКс.д.

Підсумовуючи результати спостережень середньорічних концентрацій в динаміці за останні 5 років (2013-2017рр.) слід зазначити, що намітилась тенденція стабілізації вмісту в повітрі більшості визначаємих інгредієнтів (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 - Зміна середнього рівня забруднення атмосферного повітря (мг/м<sup>3</sup>) по місту

Домішки	2013	2014	2015	2016	2017	Тенденція
Пил	0,19	0,19	0,2	0,15	0,15	-0,0120
Діоксид сульфуру	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,0000
Сульфати розчині	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0000
Оксид карбону	1,7	1,7	1,7	1,6	1,7	-0,0100
Діоксид нітрогену	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	-0,0030
Оксид нітрогену	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	-0,0010
Фтористий водень	0,002	0,002	0,002	0,001	0,0015	-0,0002
Хлористий водень	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0000
Амоніак	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0000
Формальдегід	0,003	0,003	0,003	0,003	0,0045	+0,0003
Кадмій	0	0	0,002	0,001	0,001	+0,0003
Залізо	0,67	0,98	1,06	0,72	0,73	-0,0140
Марганець	0,03	0,035	0,04	0,03	0,02	-0,0025
Мідь	0,05	0,13	0,15	0,35	0,11	+0,0340
Нікель	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0000
Свинець	0,02	0,02	0,025	0,02	0,01	-0,0020
Хром	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	-0,0040
Цинк	0,13	0,12	0,10	0,18	0,10	0,0000

Проте, в порівнянні з попередніми роками дещо зросла забрудненість формальдегідом.

Державне статистичне спостереження "Охорона атмосферного повітря" є частиною державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 13.12.2001 № 1655 "Про затвердження Порядку ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря" [80]. У рамках державного статистичного спостереження з охорони атмосферного повітря здійснюється облік викидів забруднюючих речовин та

парникових газів від виробничих та технологічних процесів, технологічного устаткування (установок) згідно з рекомендаціями Статистичної комісії Організації Об'єднаних Націй щодо інвентаризації атмосферних викидів (CORINAIR 2000), що відповідає міжнародним вимогам до статистичної інформації у сфері охорони атмосферного повітря.

Органи державної статистики отримують звіти за формою № 2-ТП (повітря) (річна) на паперових носіях та в електронному форматі у визначені терміни. Результати державного статистичного спостереження за формою № 2-ТП (повітря) (річна) формуються:

- на регіональному рівні: зведена інформація за регіоном у цілому, у розрізі районів, за населеними пунктами, за видами економічної діяльності, забруднюючими речовинами, виробничими та технологічними процесами, технологічним устаткуванням, повітроохоронними заходами та за підприємствами;
- на державному рівні: зведена інформація по країні у цілому, за регіонами, за видами економічної діяльності, забруднюючими речовинами, виробничими та технологічними процесами, технологічним устаткуванням, повітроохоронними заходами та підприємствами.

Для систематизації інформації використовуються національні та статистичні класифікації. [81]

Основними статистичними публікаціями зі статистики охорони атмосферного повітря є:

- експрес-випуск "Викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення (попередні дані)";
- бюлетень "Викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення (остаточні дані)";

- статистичні збірники: "Україна в цифрах у \_\_\_\_ році", "Україна \_\_\_\_", "Регіони України", "Статистичний щорічник України"; збірник "Довкілля України";
- таблиці для веб-сайту центрального органу виконавчої влади з питань статистики та запитальників міжнародних статистичних організацій.

Так, у прес-випуску головне управління статистики у Полтавській області [82] повідомляє, що У 2018р. в атмосферу Полтавщини від стаціонарних джерел забруднення надійшло 52,2тис.т забруднюючих речовин (на 6,7% менше, ніж у 2017р.), у тому числі від енергетики – 19,5 тис.т, виробничих процесів –18,0 тис.т, видобутку і розподілу палива та геотермальної енергії – 8,1 тис.т.

У Статистичному щорічнику Полтавської області (2017 р.) вміщено дані про соціально-економічне становище регіону у даному році порівняно з попередніми роками. Висвітлено показники системи національних рахунків, матеріального виробництва, фінансової та соціальної сфери, населення, статистичні показники регіонів України. [83]

Зазначається, що викиди забруднюючих речовин зі стаціонарних джерел забруднення для міста у 2017 р. становить:

- обсяги викидів забруднюючих речовин 1166,2 т.
- діоксиду сульфуру 160,0 т.
- діоксиду нітрогену 315,7 т.
- метану 14,7 т.
- оксиду карбону 226,0 т.
- оксиду нітрогену 2,7 т.
- сажі 5,2 т.
- неметанових летких органічних сполук 189,7 т.
- діоксиду карбону 295,9 тис.т.

### **2.3. Порівняльний аналіз стану забруднення повітря Полтави та Лейпцигу (Німеччина)**

При проходженні наукового стажування в Німеччині за грантовою програмою «DBU Scholarship Programme with CEE Countries» наданою німецьким федеральним фондом захисту навколишнього середовища (Deutsche Bundesstiftung Umwelt), було виконане дослідження «Порівняльний аналіз стану забруднення атмосферного повітря міст (на прикладі міст Лейпциг та Полтава)».

Однією із важливих характеристик для порівняльного аналізу міст є їх географічне розташування. Лейпциг розташований на заході федеральної землі Саксонія. З населенням (близько 570 000 чоловік) Лейпциг є найбільшим містом Саксонії та десятим у Німеччині, а також найшвидше зростаючим великим німецьким містом.

Основними напрямками стратегії розвитку є економіка здоров'я та біотехнології, автомобільна промисловість та промисловість поставок, енергетика та екологічні технології, логістика, а також засоби масової інформації та креативні галузі. Ці економічні та наукові сфери займають центральну роль під час проведення більшості конференцій. Так Лейпциг зарекомендував себе як місце, придатне для міжнародних конгресів з чітко визначеними кластерами. Профілі економічного, наукового та дослідницького характеру є успішними, що робить місто відомим як на національному, так і на міжнародному рівнях [84].

Полтава розташована у східній частині Європи, за 301 км на схід від Києва. Географічне розташування є досить вигідним і, з історичної точки зору, вплинуло на розвиток міста. Місто розташоване на важливих транспортних маршрутах і забезпечує сполучення між великими містами України - Києвом, Харковом та Дніпром. За даними Державного комітету статистики від 1 січня 2010 року, населення міста становило 300,5 тис. осіб, тобто зменшилось на 14 тис. з 1989 р. Станом на 1 серпня 2018 року населення міста становило 280 992 постійних

жителів. Полтава - одне з міст України з щільністю населення менше 3000 осіб на квадратний кілометр [78].

Промисловий комплекс міста формується 11 галузями економічної діяльності, серед основних: виробництво продуктів харчування, напоїв, тютюнових виробів; легка промисловість; целюлозно-паперове виробництво; видавнича діяльність; хімічна та нафтохімічна промисловість; виробництво інших неметалічних мінеральних виробів; машинобудування; ремонт та монтаж машин та їх обладнання; металургійне виробництво та виробництво готових металевих виробів; виробництво та розподіл електроенергії, газу та води та багато іншого [85].

Тому можна сказати, що Полтава є меншим містом, ніж Лейпциг за площею та загальною чисельністю населення, але має більш значну щільність населення. Коротке порівняння наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Дані для порівняння двох міст: Полтава та Лейпциг

	Лейпциг	Полтава
Площа	297 км <sup>2</sup>	103 км <sup>2</sup>
Чисельність населення	571.088	288.013
Щільність населення	1.922 /км <sup>2</sup>	2.796 /км <sup>2</sup>

Дані метеорології також дуже важливі, як і дані забруднення для порівняльного аналізу забруднення атмосферного повітря. Тому що в більшості випадків рівень забруднення повітря залежить від метеорологічних умов. Згідно [86], видно, що метеорологічна ситуація в обох містах схожа (табл. 2.10). Помічено, що розподіл температур по місяцях подібний (рис. 2.4), але все ж Полтава має більш високу температуру в літній час (приблизно на 0,6<sup>0</sup>С) і нижчу взимку (близько 10<sup>0</sup>С) як абсолютні максимальні та мінімальні температури. Опади в обох ситуаціях однакові (в середньому 500-700 мм на рік).

Але основні дані, які потрібні для таких порівняльних досліджень, це дані стаціонарних постів спостереження (СПС), які надають інформацію про концентрацію забруднюючих речовин та деякі додаткові метеорологічні дані.



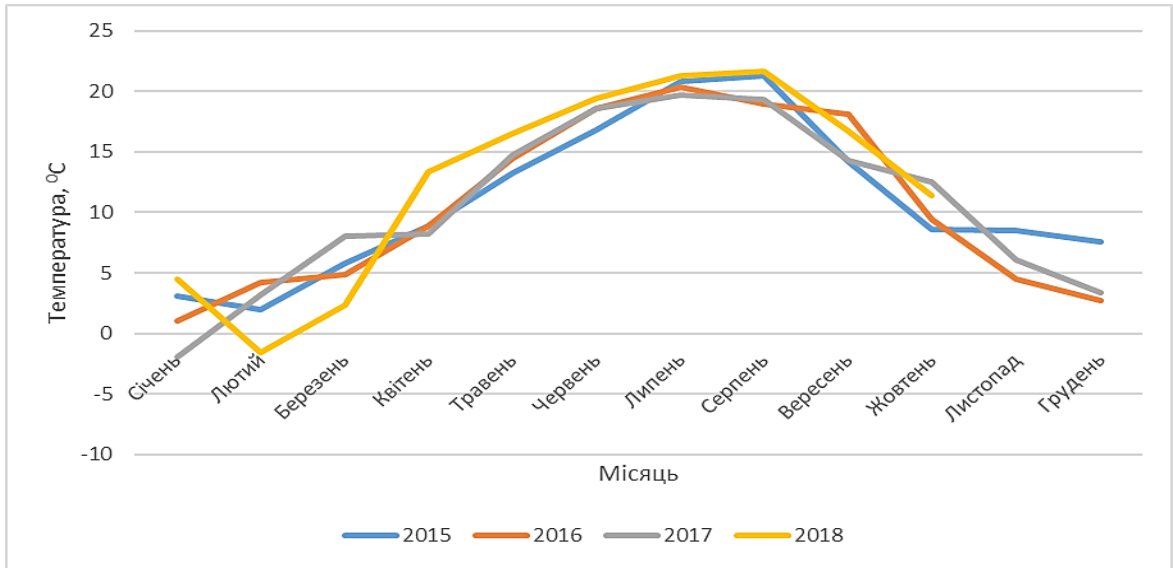
Таблиця 2.10 – Метеорологічні дані: Лейпциг та Полтава

Рік	ЛЕЙПЦИГ (НІМЕЧЧИНА)				ПОЛТАВА (УКРАЇНА)			
	Т. макс. усеред. (°C)	Т. мін. усеред. (°C)	Опади (мм)	Морозні дні	Т. макс. усеред. (°C)	Т. мін. усеред. (°C)	Опади (мм)	Морозні дні
2013	13,2	5,7	720,1	87	13,6	5,7	566,9	117
2014	15,5	6,9	517,6	53	14	4,7	503,4	112
2015	15,4	6,4	571,5	57	14,4	5,6	536	114
2016	14,8	6,2	509	68	13,4	5,2	712,9	122
2017	14,7	6,4	663,2	69	14	5,6	445,7	90

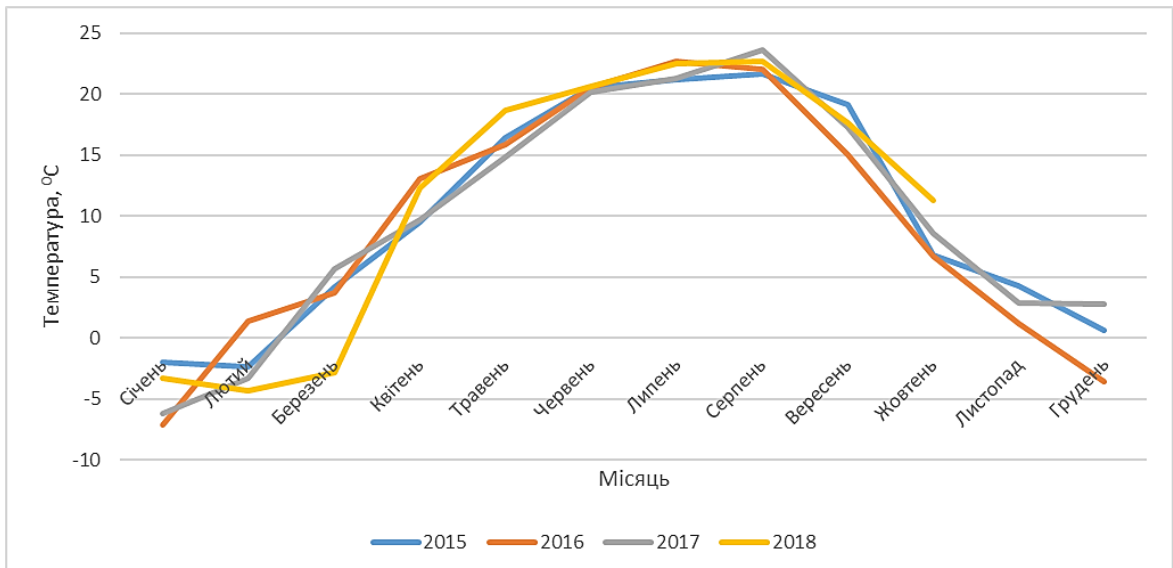
Стаціонарні пости спостереження в місті Полтава та особливості їх роботи описані в пункті 2.2 цієї роботи, тому далі мова піде про стаціонарні пости спостереження в місті Лейпциг.

Для моніторингу забруднення повітря в Саксонії працюють станції вимірювання викидів. Станції розміщені таким чином, щоб забезпечити всебічний контроль викидів (рис. 2.5). В даний час працює 29 автоматичних станцій, на яких визначаються концентрації газів і твердих частинок. Дані, які отримують з цих станцій, наведені в таблиці 2.11. У Лейпцигу є 4 станції вимірювання викидів.

Вимірюються такі забруднювачі повітря: діоксид сульфуру, дрібний пил <10 або 2,5мкм, озон, оксиди нітрогену та деякі летючі органічні сполуки. В лабораторних умовах також визначаються складові пилу (важкі метали, сажа, поліциклічні ароматичні вуглеводні). Також вимірюються метеорологічні параметри. Вимірювання оксиду карбону було припинено у 2008 році через дуже низькі концентрації та відсутність необхідності в цих вимірах [87].



а)



б)

Абсолютна максимальна температура влітку (2017):

- Лейпциг → 32,9°C;

- Полтава → 35,7°C

Абсолютна мінімальна температура взимку (2017):

- Лейпциг → (-11)°C;

- Полтава → (-21,2)°C

в)

Рисунок 2.4 – Температура (°C): а) середня по Лейпцигу;  
б) середня по Полтаві; в) абсолютний мінімум та максимум

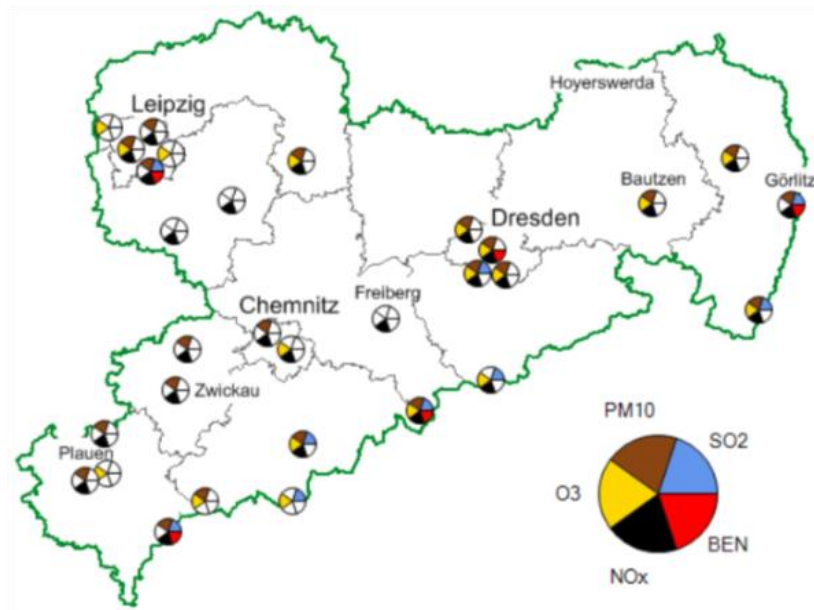


Рисунок 2.5 – Розташування станцій вимірювання викидів у Саксонії  
(ресурс [88])

Таблиця 2.11 – Вимірювання забруднюючих речовин на станціях Саксонії

Група компонентів	Компоненти	Вимірювання
Пил	PM10	щоденно
	PM2.5	щоденно
Сажа	EC	кожен шостий день
Важкі метали	Pb	кожен шостий день
	Cd	
	Cr	
	Ni	
Поліциклічні ароматичні вуглеводні	Ar	кожен третій день
	BeP	
	BbF	
	BaP	
	DBahA	
	INP	
	Cor	

Вимірювання концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Лейпциг здійснюється за допомогою автоматизованих газоаналізаторів (рис. 2.6 а) та автоматизованих пиловимірювачів (рис. 2.6 б).



а)

б)

Рисунок 2.6 – Автоматизовані прилади вимірювання забруднення атмосфери повітря в м. Лейпциг

Забруднювачі, які вимірюються в обох містах, наведені в таблиці 2.12.

Забруднювачі, що вимірюються і в м. Полтава і в м. Лейпциг, це пил (в Німеччині PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub>), SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, BaP, Cd, Ni, Pb, Cr (рис 2.7). Тільки у Полтаві вимірюють такі забруднювачі, як H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CO, FH, HCl, NH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>O. Тут вимірюють ще кілька металів, а саме: Fe, Mn, Cu, Zn. Тільки в Лейпцигу вимірюються такі забруднювачі, як O<sub>3</sub> та As. Також тут вимірюють деякі летючі органічні сполуки, а саме: Бензол, Толуол та Ксилол.

Таблиця 2.12 – Забруднюючі речовини, що вимірюються на стаціонарних постах спостереження

Формула	Тип забруднювача	Стаціонарні пости спостереження в Полтаві				Стаціонарні пости спостереження в Лейпцигу				
		#1	#3	#6	#7	Lützner Str.	Mitte	West	Thekla	
PM <sub>10</sub>	пил					x	x	x		
PM <sub>2,5</sub>							x	x		
SO <sub>2</sub>	гази	x	x	x	x		x			
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		x								
CO		x	x	x	x					
NO <sub>2</sub>		x	x	x	x	x	x	x		
NO			x			x	x	x		
FH		x			x					
HCl				x						
NH <sub>3</sub>			x							
O <sub>3</sub>									x	x
CH <sub>2</sub> O		ЛОС	x		x	x				
Benzol							x			
Toluol							x			
Xylol							x			
BaP	ПАВ	x		x	x	x	x	x		
Cd	метали та їх неорганічні сполуки			x		x	x			
Fe				x						
Mn				x						
Cu				x						
Ni				x		x	x			
Pb				x		x	x			
Cr				x		x	x			
Zn				x						
As							x	x		

Обидва міста	лише Полтава	лише Лейпциг
<ul style="list-style-type: none"> <li>• SO<sub>2</sub></li> <li>• NO<sub>2</sub></li> <li>• NO</li> <li>• BaP</li> <li>• Cd</li> <li>• Ni</li> <li>• Pb</li> <li>• Cr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></li> <li>• CO</li> <li>• FH</li> <li>• HCl</li> <li>• NH<sub>3</sub></li> <li>• CH<sub>2</sub>O</li> <li>• Fe</li> <li>• Mn</li> <li>• Cu</li> <li>• Zn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PM<sub>10</sub></li> <li>• PM<sub>2.5</sub></li> <li>• O<sub>3</sub></li> <li>• As</li> <li>• Benzol</li> <li>• Toluol</li> <li>• Xylol</li> </ul>

Коментар: виділені забруднюючі речовини використані для порівняльного аналізу

Рисунок 2.7 – Забруднювачі, що вимірюються на станціях спостереження

Для розуміння різниці в нормативних характеристиках, деякі граничні значення концентрації забруднюючих речовин для Європейського Союзу та України наведені в таблиці 1.3. Граничні значення забруднюючих речовин в Україні дещо вищі. Але, слід зазначити, граничні значення Європейського Союзу були визначені в Директиві 2008/50/ЄС «Про якість навколишнього повітря та більш чисте повітря для Європи» у 2008 році, а українські вимоги були затвердженям у 1997 році з деякими незначними змінами у 2000 році. Приймаючи та враховуючи цю інформацію, ми можемо припустити, що, можливо, українські граничні значення повинні бути переглянуті на основі останніх даних про стан довкілля.

На основі отриманих даних зі стаціонарних постів створено базу даних щодо концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Для кожного

року (2015-2017) розраховувався індекс забруднення атмосфери для Лейпцигу ( $\text{SO}_2 + \text{O}_3 + \text{NO}_2 + \text{NO} + \text{PM}_{10}$ ) і для Полтави ( $\text{CH}_2\text{O} + \text{CO} + \text{NO}_2 + \text{NO} + \text{пил}$ ).

Для Лейпцига концентрація  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$  та  $\text{PM}_{10}$  приймається зі стаціонарного поста «Mitte». Концентрацію озону прийнято із стаціонарного поста «Thekla», оскільки озон не вимірюється на «Mitte» (табл. 2.13). Коментар до таблиці 2.13: виділені значення позначають місяць, в якому концентрації перевищували ГДК, що використані для послідуєчих розрахунків.

Як ми бачимо з таблиць концентрацій забруднення в атмосферному повітрі Лейпцига, рівні  $\text{SO}_2$  та  $\text{PM}_{10}$  ніколи не досягали граничних значень протягом періоду спостереження (2015-2017). Інші забруднюючі речовини ( $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}$  та  $\text{NO}_2$ ) завжди перевищували граничні значення. Проаналізовано, як розділяються ці три забруднювачі. Озон перевищував граничні значення протягом усіх років, головним чином щомісяця. Але в холодні періоди концентрація його знижувалася (нижча за ГДК), і навпаки, вона була найвищою в теплі місяці з травня по серпень. Концентрація  $\text{NO}$  у 2015 році була перевищена за граничні значення у лютому, жовтні, листопаді та грудні, у 2016 - листопаді та грудні, у 2017 - лише у січні. Тож ми можемо говорити про покращення ситуації концентрації  $\text{NO}$  у навколишньому повітрі. Той самий випадок зменшення концентрації протягом декількох років для  $\text{NO}_2$ . Але, на жаль, концентрація все ще висока, і в 2017 році вона перевищила дозволений рівень майже півроку. Також необхідно зауважити, що найвищий рівень  $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$  був у холодні періоди.

Таблиця 2.13 - Концентрації забруднюючих речовин в Лейпцигу (мкг/м<sup>3</sup>)

2015	SO <sub>2</sub> (ГДК - 50)	O <sub>3</sub> (ГДК - 30)	NO (ГДК - 60)	NO <sub>2</sub> (ГДК - 40)	PM <sub>10</sub> (ГДК - 50)
I	5	33	55	40	22
II	5	31	64	48	37
III	4	40	54	44	34
IV	4	52	49	45	25
V	6	56	40	42	20
VI	4	60	39	42	20
VII	5	63	35	40	21
VIII	5	64	32	41	25
IX	4	35	49	41	18
X	5	16	71	42	32
XI	5	27	77	44	21
XII	4	25	71	44	21

2016	SO <sub>2</sub> (ГДК - 50)	O <sub>3</sub> (ГДК - 30)	NO (ГДК - 60)	NO <sub>2</sub> (ГДК - 40)	PM <sub>10</sub> (ГДК - 50)
I	5	25	56	44	31
II	4	37	51	41	20
III	5	44	50	42	26
IV	5	46	50	44	23
V	3	61	32	37	21
VI	5	49	39	41	19
VII	5	53	36	38	18
VIII	4	46	41	39	17
IX	5	48	41	48	26
X	4	20	56	36	18
XI	4	20	69	42	21
XII	5	20	74	47	22

2017	SO <sub>2</sub> (ГДК - 50)	O <sub>3</sub> (ГДК - 30)	NO (ГДК - 60)	NO <sub>2</sub> (ГДК - 40)	PM <sub>10</sub> (ГДК - 50)
I	5	25	56	44	31
II	4	37	51	41	20
III	5	44	50	42	26
IV	5	46	50	44	23
V	3	61	32	37	21
VI	5	49	39	41	19
VII	5	53	36	38	18
VIII	4	46	41	39	17
IX	5	48	41	48	26
X	4	20	56	36	18
XI	4	20	69	42	21
XII	5	20	74	47	22



Під час збору необхідних даних була виявлена проблема, що в Україні не існує зручної бази даних із відкритим доступом про добову концентрацію забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Тому отримання необхідних даних, навіть в інтересах громадськості щодо стану якості атмосферного повітря є скрутним. Для Полтави концентрація вимірюваних забруднюючих речовин наведена в таблиці 2.14. Дані надані Полтавським гідрометеорологічним центром. Коментар до таблиці 2.14: виділені значення позначають місяць, в якому концентрації перевищували ГДК, що використані для послідуєчих розрахунків.

Як ми бачимо з таблиць концентрацій забруднення в атмосферному повітрі Полтави, рівень CO та NO ніколи не досягав граничних значень протягом періоду спостереження (2015-2017). Інші забруднювачі (CH<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub> та PM<sub>10</sub>) перевищують обмежені значення щороку. У 2015 та 2016 роках концентрація CH<sub>2</sub>O перевищувала граничні значення лише у спекотні місяці (іноді у 2 рази), але у 2017 році концентрація перевищувала граничні значення і взимку, а у спекотні місяці майже в 3 рази перевищувала граничну норму. Концентрація NO<sub>2</sub> перевищила граничні значення у 2015 році лише у липні та серпні та у 2016-2017 роках - лише у серпні (в середньому в 1,15 рази). Концентрація пилу перевищує гранично допустиму середньорічну концентрацію в 1,5 рази майже щомісяця, крім зимових місяців. Також весною 2016 року рівень забруднення пилом не перевищую значень ГДК.

Обраною методикою для порівняльного аналізу стану забруднення двох міст було обрано обрахування індексу забруднення атмосфери [89].

Таблиця 2.14 - Концентрації забруднюючих речовин в Полтаві (мкг/м<sup>3</sup>)

2015	CH <sub>2</sub> O (ГДК - 3)	CO (ГДК - 300)	NO (ГДК - 60)	NO <sub>2</sub> (ГДК - 40)	Пил (ГДК - 50)
I	2,1	180	30	36	35
II	2,1	180	30	30	50
III	2,1	150	18	30	65
IV	3	150	24	30	55
V	3,9	180	30	40	80
VI	3,6	180	30	40	85
VII	5,1	180	18	44	75
VIII	8,1	240	42	50	105
IX	4,5	240	30	40	95
X	2,1	240	24	30	95
XI	2,1	180	18	30	55
XII	3	180	30	30	45

2016	CH <sub>2</sub> O (ГДК - 3)	CO (ГДК - 300)	NO (ГДК - 60)	NO <sub>2</sub> (ГДК - 40)	Пил (ГДК - 50)
I	2,1	150	18	30	25
II	2,1	180	18	30	45
III	3	150	18	30	35
IV	3	150	18	30	45
V	2,7	150	18	30	45
VI	5,1	180	30	40	65
VII	6,9	210	30	28	65
VIII	6,9	210	30	50	65
IX	3	225	18	40	85
X	3	180	18	30	60
XI	2,1	180	18	30	40
XII	2,1	180	24	30	35

2017	CH <sub>2</sub> O (ГДК - 3)	CO (ГДК - 300)	NO (ГДК - 60)	NO <sub>2</sub> (ГДК - 40)	Пил (ГДК - 50)
I	3,9	180	30	30	35
II	3,9	150	18	30	35
III	3	150	18	30	55
IV	3	120	18	30	40
V	3	180	18	30	55
VI	6	210	24	40	85
VII	6,9	210	18	40	65
VIII	9,9	285	30	44	75
IX	6	210	15	36	55
X	3	150	18	30	45
XI	3,9	150	18	36	35
XII	3,9	150	18	40	35

Індекс забруднення атмосфери (ІЗА) був розрахований для визначення стану забруднення повітря в Лейпцигу та Полтаві [66]. ІЗА розраховується як сума речовин, що нормалізуються до середньодобової максимально допустимої концентрації (ГДК с.д) і співвідносяться з класом небезпеки забруднюючих речовин.

Таким чином, для кількох забруднюючих речовин цей показник обчислюється за формулою 2.1:

$$X = \left( \sum_{i=1}^n I_i \right) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_i}{ГДК_{и}} \right)^{K_i} \leq 1 \quad (2.1)$$

В зазначеній вище формулі, ГДК є середньодобовим ГДК забруднюючих речовин, мг/м<sup>3</sup>. У разі відсутності цього показника замість нього застосовується МАСм.р (максимально разова гранично допустима концентрація, що означає максимальну концентрацію забруднювача в повітрі, яка не викликає рефлекторних реакцій в організмі людини, що визначається із зразків, відібраних протягом 20-30 хвилин) або ОБРВ (орієнтовно безпечний рівень впливу). Коефіцієнт К для розрахунку забруднюючих речовин, залежно від їх класу небезпеки, визначається наступним чином:

1 клас небезпеки: К = 1,7;

2 клас небезпеки: К = 1,3;

3 клас небезпеки: К = 1,0;

4 клас небезпеки: К = 0,9.

Результати розрахунку цього індексу забруднення повітря можуть дати нам деяку інформацію про атмосферне повітря у місті (табл. 2.15).

Таблиця 2.15 - Визначення значень індексу забруднення повітря

Індекс забруднення атмосфери	Рівень забруднення	Вплив на здоров'я населення	Екологічний стан атмосферного повітря
<5	Низький	Незначний	Нормальний
5-8	Підвищений	Суттєвий	Ризиковий
8-15	Високий	Неприйнятний	Кризисний
>15	Дуже високий	Небезпечний	Катастрофічний

Щоденні та щомісячні індекси забруднення атмосферного повітря за формулою 2.1 (табл. 2.16 – 2.18) розраховувалися для п'яти забруднюючих речовин (SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>) для Лейпцига. Приклад розрахунку за січень 2015 року:

$$API = \left(\frac{5}{50}\right)^1 + \left(\frac{33}{30}\right)^{1,7} + \left(\frac{55}{60}\right)^1 + \left(\frac{40}{40}\right)^1 + \left(\frac{22}{50}\right)^1 = 0,10 + 1,33 + 0,92 + 0,99 + 0,43 = 3,76$$

Таблиця 2.16 – ІЗА 2015 Лейпциг

Місяць	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	Всього
I	0,10	1,17	0,92	1,00	0,44	3,63
II	0,10	1,16	0,99	1,12	0,75	4,12
III	0,07	1,80	0,84	1,04	0,64	4,40
IV	0,08	2,63	0,82	1,13	0,50	5,17
V	0,11	2,95	0,66	1,05	0,41	5,18
VI	0,09	3,31	0,66	1,05	0,39	5,49
VII	0,09	3,73	0,58	1,00	0,42	5,82
VIII	0,11	4,03	0,54	1,03	0,48	6,19
IX	0,08	1,36	0,82	1,03	0,36	3,65
X	0,09	0,47	1,18	1,05	0,65	3,44
XI	0,09	1,01	1,28	1,09	0,42	3,89
XII	0,09	0,86	1,10	1,03	0,42	3,50
Рік	0,09	2,05	0,87	1,05	0,49	4,55

Примітка: виділені комірки призначені для ІЗА, які перевищують нормальні значення (> 5).

Таблиця 2.17 – ІЗА 2016 Лейпциг

Місяць	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	Всього
I	0,09	0,88	0,93	1,10	0,62	3,62
II	0,08	1,61	0,84	1,02	0,39	3,93
III	0,10	1,93	0,85	1,05	0,52	4,44
IV	0,09	2,16	0,84	1,12	0,47	4,68
V	0,07	3,38	0,55	0,94	0,41	5,36
VI	0,10	2,37	0,66	1,02	0,36	4,51
VII	0,09	2,73	0,59	0,94	0,35	4,69
VIII	0,08	2,19	0,69	1,00	0,31	4,27
IX	0,10	2,37	0,70	1,19	0,50	4,87
X	0,08	0,60	0,91	0,89	0,36	2,85
XI	0,08	0,56	1,15	1,08	0,41	3,29
XII	0,09	0,70	1,26	1,17	0,43	3,65
Рік	0,09	1,79	0,83	1,04	0,43	4,18

Примітка: виділені комірки призначені для ІЗА, які перевищують нормальні значення (> 5).

Таблиця 2.18 – ІЗА 2017 Лейпциг

Місяць	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	Всього
I	0,08	1,05	1,16	1,24	0,58	4,11
II	0,09	1,48	0,90	1,10	0,80	4,36
III	0,08	2,19	0,74	1,08	0,46	4,54
IV	0,07	2,94	0,67	0,95	0,43	5,05
V	0,09	3,14	0,55	0,94	0,37	5,10
VI	0,08	2,90	0,52	0,88	0,31	4,69
VII	0,10	2,47	0,54	0,83	0,32	4,26
VIII	0,08	2,07	0,64	1,02	0,30	4,11
IX	0,08	1,30	0,78	1,00	0,36	3,52
X	0,09	1,20	0,83	0,96	0,32	3,41
XI	0,08	0,81	0,99	1,02	0,37	3,27
XII	0,09	1,16	0,86	0,88	0,30	3,29
Рік	0,09	1,89	0,76	0,99	0,41	4,14

Примітка: виділені комірки призначені для ІЗА, які перевищують нормальні значення (> 5).

Як видно з таблиць, ситуація з ризиком (ІЗА 5-8) спостерігається з квітня по липень, переважно в травні та квітні. Озон, а потім NO<sub>2</sub> займають найбільшу частку в цьому індексі. Якщо брати до уваги лише щорічні показники, то загалом можна сказати, що якість повітря в місті нормальна і не загрожує здоров'ю мешканців. Однак він все ще має високе значення і означає, що рівні забруднення можуть стати умовою ризику, якщо метеорологічні умови будуть несприятливими. Середній показник ІЗА за ці роки становив не менше 4,14.

Щоденний ІЗА для Лейпцига також був розрахований (рис. 2.8). Слід зазначити, що цей показник досягав досить високих значень за певні дні. Наприклад:

- У 2015 році API коливався від 8,44 до 8,45 з 5 по 6 червня і з 2 по липень до 7 липня (6.1-12.09), з 04 по 14 серпня (5.52-11.62);
- 12 травня 2016 р. - 8,4;
- 15 лютого 2017 р. - 8.49.

Як вже було сказано, значення ІЗА в межах 5-8 слід оцінювати як ступінь ризику забруднення. ІЗА від 8 до 15 - це рівень кризи та небезпечна ситуація для здоров'я людини.

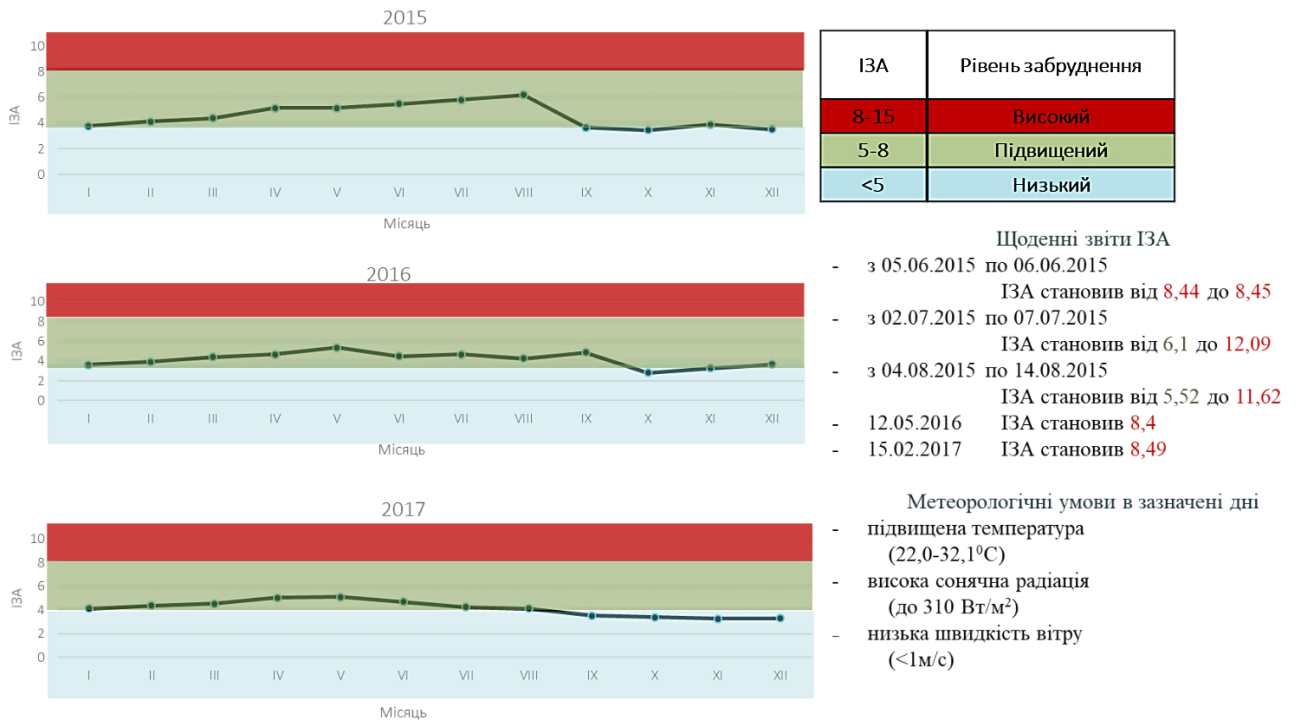


Рисунок 2.8 – Результати розрахунку ІЗА для Лейпцига

Ці результати були проаналізовані відповідно до метеорологічних умов цих днів, які були отримані з веб-сайту [www.umwelt.sachsen.de](http://www.umwelt.sachsen.de). Коли в 2015 році були розраховані максимальні значення АРІ, спостерігалися високі концентрації O<sub>3</sub> та NO<sub>2</sub>. Залежно від погодних умов це може бути пов'язано з високою температурою (22,0-32,1°C), високим впливом сонячної радіації (до 310 Вт/м<sup>2</sup>) і низькою швидкістю вітру (середня 1 м/с). 12 травня 2016 року високий ІЗА був викликаний високою концентрацією озону в повітрі. Причиною цього може бути висока сонячна радіація (238 Вт/м<sup>2</sup>). Можливо, 15.02.2017 низька швидкість вітру (0,7 м/с) спричинила збільшення концентрації NO, NO<sub>2</sub> та PM<sub>10</sub>, що, в свою чергу, сприяло високому значенню АРІ в цей день. Але, можливо, це не всі причини, які стали умовами високого рівня забруднення. Це питання можна буде вивчити в майбутньому, використовуючи більше даних, таких як архітектура міста і т.п.

Щомісячні індекси забруднення повітря за формулою 2.1 (таблиці 2.19-2.21) були розраховані для п'яти забруднюючих речовин (CH<sub>2</sub>O, CO, NO, NO<sub>2</sub>, пил) для Полтави. Приклад розрахунку за січень 2015 року:

$$API = \left(\frac{2.1}{3}\right)^{1.3} + \left(\frac{180}{300}\right)^{0.9} + \left(\frac{30}{60}\right)^1 + \left(\frac{36}{40}\right)^1 + \left(\frac{35}{50}\right)^1 = 0.63 + 0.63 + 0.5 + 0.9 + 0.7 = 3.36$$

Таблиця 2.19 – ІЗА 2015 Полтава

Місяць	CH <sub>2</sub> O	CO	NO	NO <sub>2</sub>	Пил	Всього
I	0.63	0.63	0.50	0.90	0.70	3.36
II	0.63	0.63	0.50	0.75	1.00	3.51
III	0.63	0.54	0.30	0.75	1.30	3.51
IV	1.00	0.54	0.40	0.75	1.10	3.79
V	1.41	0.63	0.50	1.00	1.60	5.14
VI	1.27	0.63	0.50	1.00	1.70	5.10
VII	1.99	0.63	0.30	1.10	1.50	5.52
VIII	3.64	0.82	0.70	1.25	2.10	8.51
IX	1.69	0.82	0.50	1.00	1.90	5.91
X	0.63	0.82	0.40	0.75	1.90	4.50
XI	0.63	0.63	0.30	0.75	1.10	3.41
XII	1.00	0.63	0.50	0.75	0.90	3.78
Рік	1.21	0.66	0.45	0.90	1.40	4.62

Примітка: виділені комірки призначені для ІЗА, які перевищують нормальні значення (> 5).

Таблиця 2.20 – ІЗА 2016 Полтава

Місяць	CH <sub>2</sub> O	CO	NO	NO <sub>2</sub>	Пил	Всього
I	0.63	0.54	0.30	0.75	0.50	2.71
II	0.63	0.63	0.30	0.75	0.90	3.21
III	1.00	0.54	0.30	0.75	0.70	3.29
IV	1.00	0.54	0.30	0.75	0.90	3.49
V	0.87	0.54	0.30	0.75	0.90	3.36
VI	1.99	0.63	0.50	1.00	1.30	5.42
VII	2.95	0.73	0.50	0.70	1.30	6.18
VIII	2.95	0.73	0.50	1.25	1.30	6.73
IX	1.00	0.77	0.30	1.00	1.70	4.77
X	1.00	0.63	0.30	0.75	1.20	3.88
XI	0.63	0.63	0.30	0.75	0.80	3.11
XII	0.63	0.63	0.40	0.75	0.70	3.11
Рік	1.22	0.63	0.36	0.83	1.02	4.05

Примітка: виділені комірки призначені для ІЗА, які перевищують нормальні значення (> 5).

Таблиця 2.21 – ІЗА 2017 Полтава

Місяць	CH <sub>2</sub> O	CO	NO	NO <sub>2</sub>	Пил	Всього
I	1.41	0.63	0.50	0.75	0.70	3.99
II	1.41	0.54	0.30	0.75	0.70	3.69
III	1.00	0.54	0.30	0.75	1.10	3.69
IV	1.00	0.44	0.30	0.75	0.80	3.29
V	1.00	0.63	0.30	0.75	1.10	3.78
VI	2.46	0.73	0.40	1.00	1.70	6.29
VII	2.95	0.73	0.30	1.00	1.30	6.28
VIII	4.72	0.95	0.50	1.10	1.50	8.78
IX	2.46	0.73	0.25	0.90	1.10	5.44
X	1.00	0.54	0.30	0.75	0.90	3.49
XI	1.41	0.54	0.30	0.90	0.70	3.84
XII	1.41	0.54	0.30	1.00	0.70	3.94
Рік	1.41	0.63	0.50	0.75	0.70	3.99

Примітка: виділені комірки призначені для ІЗА, які перевищують нормальні значення (> 5).

З таблиць видно, що середній рівень ІЗА за кожен рік для обох міст є приблизно подібним. Але якщо взяти до уваги значення місяців, то в Полтаві значно вищі перевищення (рис. 2.8). У 2015 році значення ІЗА було вище норми (>5) з травня по вересень, у 2016 - у літні місяці, у 2017 - з червня по вересень. У 2015 та 2017 роках у серпні значення ІЗА навіть досягло понад 8, що, згідно з таблицею 2.15, означає, що екологічний стан навколишнього повітря є ризиком і може завдати шкоди здоров'ю людини. На жаль, Полтавський гідрометеорологічний центр не надає даних про щоденну концентрацію забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста. Враховуючи це, можливо проаналізувати результати розрахунків ІЗА для Полтави лише за місяцями. Результати кожного місяця були проаналізовані відповідно до метеорологічних умов, отриманих на веб-сайті [www.meteomanz.com](http://www.meteomanz.com). Місяці з високим ІЗА кожного року характеризувались як місяці з високою температурою (27<sup>0</sup>С в середньому і 37,8<sup>0</sup>С як абсолютний максимум). Ці високі температури можуть бути спричинені високою сонячною радіацією у спекотні періоди року. Згідно з метеорологічними даними Полтавського гідрометеорологічного центру, протягом місяців із високим рівнем ІЗА метеорологічні умови характеризувалися



низькою швидкістю вітру (в середньому 35% днів на місяць зі швидкістю вітру нижче 1 м/с).

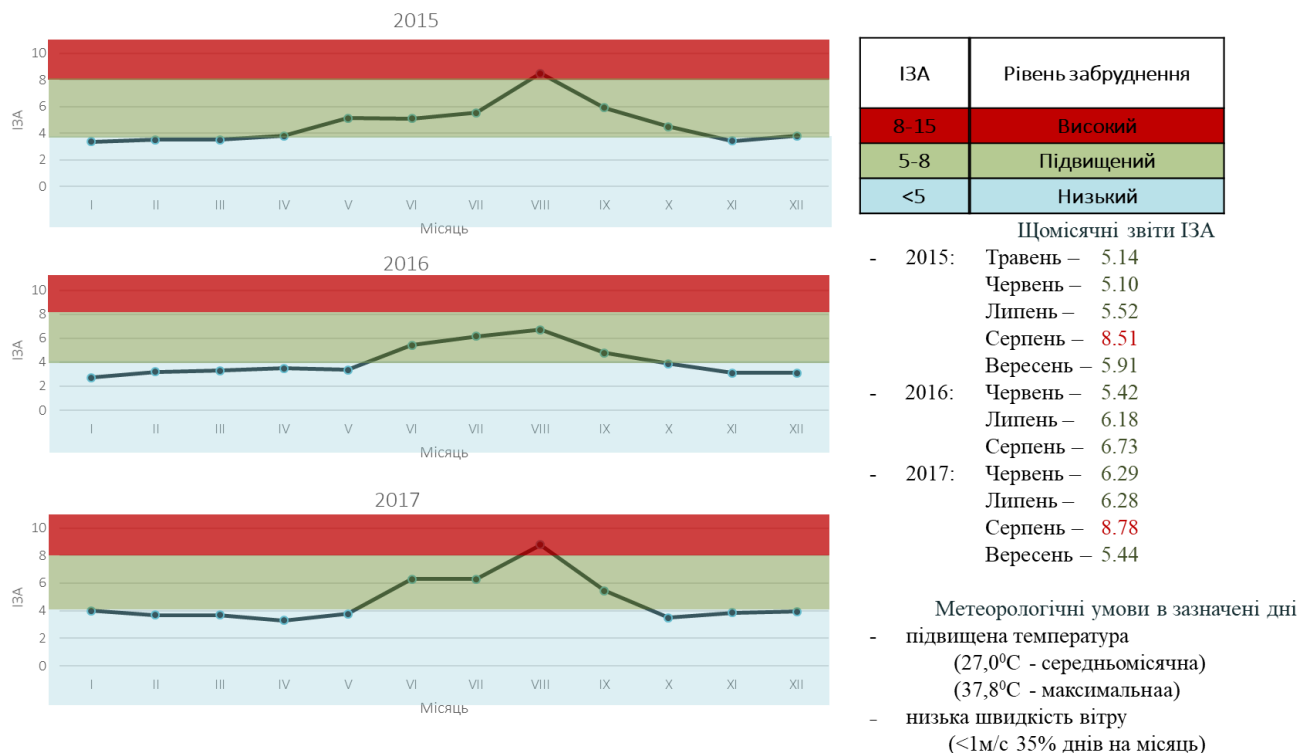


Рисунок 2.9 – Результати розрахунку ІЗА для Полтави

Як загальний результат розрахунків, можна зробити висновок, що річний ІЗА є подібним для обох міст (в середньому 4,36). Це значення описує нормальну якість повітря, але досі залишається досить високим. Якщо погодні умови будуть несприятливими, концентрація забруднюючих речовин може значно збільшитися, що, в свою чергу, може призвести до погіршення стану якості атмосферного повітря та погіршення здоров'я населення. Що стосується розподілу по місяцях, Полтава має значний «стрибок» значення індексу у літні місяці (рис.2.10). Це може бути викликано різким підвищенням концентрації формальдегіду відносно граничних значень у теплі періоди.

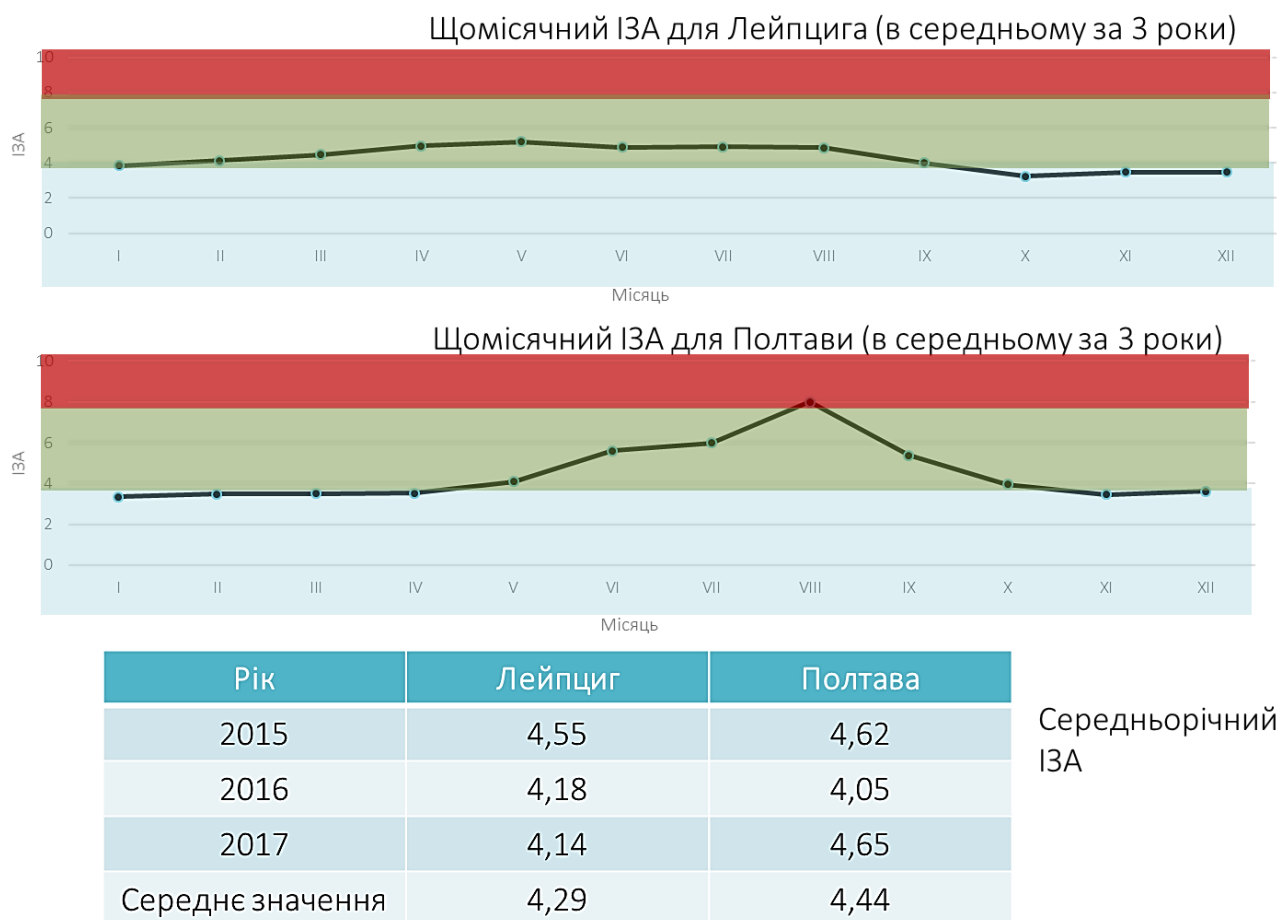


Рисунок 2.10 – Порівняльний аналіз ІЗА для міст Лейпциг та Полтава

Перш за все, можна сказати, що якість повітря в обох містах можна класифікувати як "нормальну". Однак, особливо в літні місяці, було встановлено, що збільшення забруднення повітря ( $ІЗА > 5$ ) може бути спричинене несприятливими метеорологічними умовами (висока температура повітря, велика кількість сонячної радіації та низька швидкість вітру).

Слід відмітити, що проводячи порівняльний аналіз стану забруднення атмосферного повітря м. Полтава та м. Лейпциг, встановлено, що спостереження за якістю повітряного середовища міста Полтава не відповідає європейським принципам та перешкоджає проведенню більш глибоких та детальних аналізів. Наприклад, в точки зору обрахунку щоденного індексу забруднення атмосфери. Також відмічається відсутність проведення моніторингу завислих речовин, а саме

PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub>, та відсутність автоматизованих систем аналізу якості повітря, тобто моніторинг проводиться методом відбору проб.

## **2.4. Розрахунок показника метеорологічного потенціалу атмосфери міста та його вплив на якість атмосферного повітря**

Рівень забруднення атмосферного повітря міста залежить не лише від об'ємів й складу викидів в атмосферу, а й від метеорологічних умов, які формують своєрідний метеорологічний потенціал забруднення повітря. З точки зору метеорологічних процесів в атмосфері міста вміст газових і аерозольних домішок може змінюватися під впливом різних атмосферних рухів, які відрізняються за масштабами: від локальних до макромасштабних. Але переважаючими для формування клімату міста є процеси локального масштабу, й перш за все, процеси безпосередньо навколо джерел забруднення, що вимагає розгляду проблеми забруднення повітряного середовища всередині міст як умовно замкненого простору, що є життєвим середовищем для тисяч людей [10].

Враховавши роботи [90-91], розділ 1.4 цієї роботи та ввівши деякі зміни, показник метеорологічного потенціалу атмосфери міста (ПМПА) розраховано за формулою 2.2:

$$\text{ПМПА} = K_t + K_v + K_o, \quad (2.2)$$

де,  $K_t$  – коефіцієнт теплового потенціалу міста, який розраховується як відношення значень середньомісячної температури теплого періоду року ( $t_T$ ) до середньомісячної температури холодного періоду року ( $t_X$ ), привівши абсолютне значення показника до коефіцієнту кореляції залежності  $K_t |x|$  від середньорічної температури;

$K_v$  – коефіцієнт вітрового потенціалу міста, який розраховується як відношення значень річної повторюваності днів зі швидкостями вітру понад 6 м/с ( $V_{>6}$ ) до річної повторюваності днів зі швидкостями вітру менше 1 м/с ( $V_{<1}$ );

$K_O$  – коефіцієнт потенціалу опадів міста, який розраховується як відношення значень річної кількості опадів міста ( $O_{річ}$ ) до норми кількості опадів міста ( $O_{норм}$ ), що за даними Полтавського обласного центру з гідрометеорології для міста Полтава становить 570 мм за рік.

Для визначення коефіцієнту кореляції залежності від середньорічної температури було враховано дані попередніх досліджень [90] та власні дані щодо коефіцієнту теплового потенціалу міста в абсолютних значеннях ( $K_t |x|$ ), в результаті чого отримано залежності, висвітлені в таблиці 2.22 та рисунку 2.11.

Таблиця 2.22 – Коефіцієнт теплового потенціалу міста Полтава

Рік	$K_t  x $	Середньорічна температура
2007	6.4	10
2008	6.7	9.6
2009	10.4	9.2
2010	22.7	9.7
2011	59.5	9.7
2012	44	9.5
2013	15.9	9.6
2014	29.3	9.4
2015	9.6	10
2016	12.8	9.3
2017	4.9	9.8

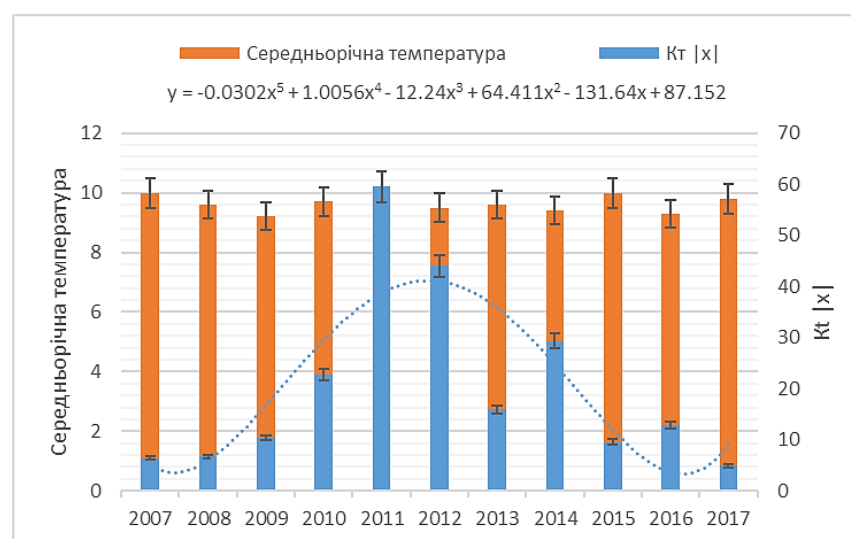


Рисунок 2.11 – Графік кореляції коефіцієнту теплового потенціалу міста від середньорічної температури повітря ( $^{\circ}\text{C}$ )

Слід відмітити, що в даній роботі показник метеорологічного потенціалу атмосфери міста розрахований на три роки (2015-2017), оскільки на меті є кореляція вказаного показника з результатами розділу 2.3. В іншому разі, таких розрахунків може бути недостатньо, щоб говорити про метеорологічний потенціал міста в перспективі.

Дані та результати розрахунків показника метеорологічного потенціалу атмосфери міста (ПМПА) зведено в таблиці 2.23.

Таблиця 2.23 – Результати розрахунку показника метеорологічного потенціалу атмосфери міста Полтава

Рік	$t_r$ (°C)	$t_x$ (°C)	$K_t  x $	$K_t$	$V_{>6}$ (днів)	$V_{<1}$ (днів)	$K_v$	$O_{річ}$ (мм)	$O_{норм}$ (мм)	$K_O$	ПМПА
2015	21.1	-2.2	9.6	9.5	67	55	1.2	536	570	0.9	11.7
2016	21.7	-1.7	12.8	9.3	66	63	1.0	713	570	1.3	11.6
2017	21.7	-4.4	4.9	9.9	69	25	2.8	446	570	0.8	13.5
3 роки	21.5	-2.8	9.1	9.5	67	48	1.7	565	570	1.0	12.2
Середньоквадратичне відхилення $\sigma$											1.1

За умови визначення середньоквадратичного відхилення величини УМПА, яке становить 1,1, проведено зонування метеорологічних умов атмосферного повітря м. Полтави за ступенем їх сприятливості розсіюванню забруднюючих речовин (табл. 2.24).

Таблиця 2.24 – Показник метеорологічного потенціалу атмосфери міста

Значення показника	Умови для розсіювання забруднюючих речовин	Показник метеорологічного потенціалу міста
< 11,1	Дуже небезпечні	Низький
11,1 - 12,1	Небезпечні	Підвищений
12,2 - 13,3	Сприятливі	Високий
> 13,3	Ефективні	Дуже високий

Для проведення кореляційного аналізу щодо залежності показника метеорологічного потенціалу атмосфери міста та індексу забруднення атмосфери, була зведена таблиця 2.25, а на її основі і графік залежності (рис.2.12) де вказані

ПМПА, коефіцієнти, що входять до його складу, загальний показник ІЗА по місту та по окремим забруднюючим речовинам.

Таблиця 2.25 – Зведена таблиця показників ПМПА та ІЗА

	ПМПА	$K_t$	$K_v$	$K_o$	ІЗА	$CH_2O$	CO	NO	$NO_2$	Пил
2015	11.7	9.5	1.2	0.9	4.62	1.21	0.66	0.45	0.9	1.4
2016	11.6	9.3	1.0	1.3	4.05	1.22	0.63	0.36	0.83	1.02
2017	13.5	9.9	2.8	0.8	4.65	1.41	0.54	0.3	1	0.7
3 роки	12.2	9.5	1.7	1.0	4.44	1.28	0.61	0.37	0.91	1.04

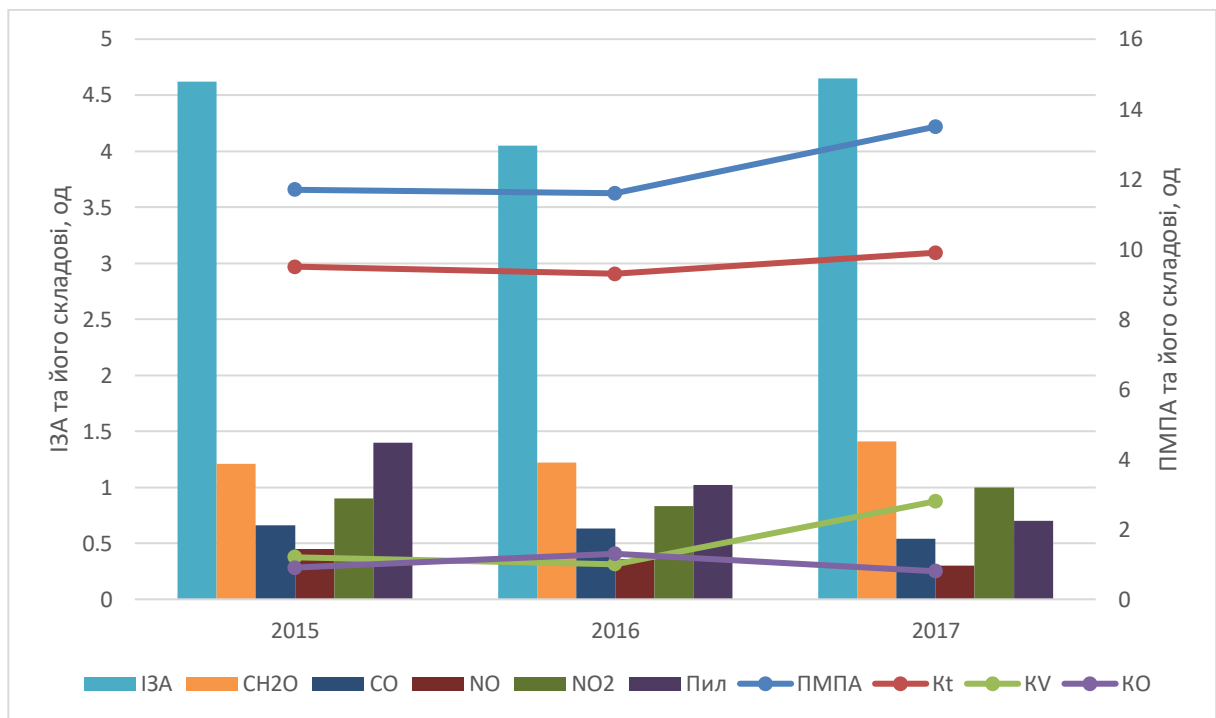


Рисунок 2.12 – Графік показників ПМПА та ІЗА за 3 роки

Спостерігається певна залежність щодо спільного впливу коефіцієнтів вітрового потенціалу та потенціалу опадів, та ПМПА загалом на зниження індексу забруднення атмосфери пилом. Також спостерігається, що при збільшенні ПМПА дещо зростає забрудненість формальдегідом, CO та  $NO_2$ , що можна пояснити різким зменшенням показників теплового потенціалу та потенціалу опадів. Нажаль, на даному етапі за відсутності доступних відкритих даних для оновлення існуючих результатів неможливо провести більш детальний аналіз зв'язку параметрів ПМПА та ІЗА. Тобто, це можливо здійснити лише за умови

удосконалення існуючої в місті системи моніторингу за станом атмосферного повітря.

## **2.5. Вразливість до змін клімату та виявлення «острову тепла» міста**

На сьогодні питання адаптації до змін клімату гостро стоїть та бурхливо обговорюється на конгресах, форумах, семінарах та конференціях. Група експертів з даного питання [92] запропонувала проводити оцінку вразливості міст до кліматичної зміни за допомогою індикаторів вразливості, які, в свою чергу, поділені на 7 груп:

- I) Група індикаторів для оцінки вразливості до теплового стресу:
- 1) Зростання кількості днів із максимальними температурами повітря понад  $+30^{\circ}\text{C}$  та  $+35^{\circ}\text{C}$  протягом останнього десятиріччя порівняно з кліматичною нормою.
  - 2) Зростання середньодобових та середньомісячних температур повітря у літні місяці протягом останнього десятиріччя порівняно з кліматичною нормою.
  - 3) Прогнозоване зростання температури повітря для регіону, в якому розташоване місто.
  - 4) Зростання повторюваності хвиль тепла протягом останніх років.
  - 5) Наявність острова тепла.
  - 6) Відсутність водних об'єктів у місті.
  - 7) Малі площі зелених зон у місті, тенденція до їх скорочення, нерівномірність розташування у різних частинах міста.
  - 8) Переважання штучних поверхонь у місті над природними.
  - 9) Наявність потужних джерел антропогенного тепла у місті.

- 10) Значний відсоток населення у місті, що є вразливим до надмірної спеки (люди похилого віку, діти, люди з хронічними захворюваннями тощо).
  - 11) Обмеженість доступу до якісного медичного обслуговування (перш за все, швидкої медичної допомоги та кількість лікарняних ліжок на 10 тис. населення менше нормативної).
  - 12) Обмежений доступ у населення до інформації про погоду та клімат, про правила поведіння під час періодів надмірної спеки.
- II) Група індикаторів для оцінки вразливості міста до підтоплення:
- 1) Зростання кількості днів із аномальною кількістю опадів по сезонах протягом останнього десятиріччя порівняно з кліматичною нормою.
  - 2) Зростання кількості випадків підтоплення окремих частин міста протягом кількох останніх років.
  - 3) Прогнозоване зростання кількості опадів загалом за рік або за окремі сезони, а також зростання частоти випадання зливових опадів зі значною кількістю за короткий період.
  - 4) Відсутність у місті зливної каналізації, або за її наявності її поганий технічний стан, нерегулярні ремонти.
  - 5) Розташування міста на березі великої водойми.
  - 6) Розташування міста або окремих його частин нижче рівня моря або на незначних висотах.
  - 7) Наявність населення та розташування стратегічних об'єктів міста в зоні можливого підтоплення.
  - 8) Значний відсоток у місті штучних водонепроникних поверхонь, порівняно з природними.
  - 9) Відсутність достатньої кількості технічних та людських ресурсів для швидкої евакуації населення з можливих зон підтоплення.
  - 10) Зруйнована інфраструктура завдяки кліматичним змінам протягом останніх років.



- 11) Обмежений доступ у населення до інформації про погоду та клімат, про правила поведінки під час підтоплень.
- 12) Відсутність інфраструктури в окремих частинах міста, що можуть бути відізані водою від інших районів.

III) Група індикаторів для оцінки вразливості міських зелених зон:

- 1) Зростання кількості днів із максимальною температурою повітря  $+30^{\circ}\text{C}$  та  $+35^{\circ}\text{C}$  і більше протягом останнього десятиріччя порівняно з кліматичною нормою.
- 2) Зміщення та зміна тривалості вегетаційного періоду.
- 3) Зміна кількості та інтенсивності випадання опадів протягом вегетаційного періоду.
- 4) Площа зелених зон у розрахунку на 1 жителя міста менша нормативної.
- 5) Скорочення площі зелених зон (у відсотках порівняно із загальною площею міста).
- 6) Малий відсоток площі природоохоронних територій у місті по відношенню до загальної площі міста.
- 7) Поява інвазивних видів у межах міських зелених зон.
- 8) Поява нових шкідників/захворювань рослин у межах зелених зон.
- 9) Скорочення кількості видів рослин у місті.
- 10) Обмеженість технічних та людських ресурсів для утримання зелених зон.  
Низький рівень агротехніки догляду за міськими рослинами.
- 11) Недостатнє фінансування для озеленення міста та підтримання в належному стані наявних зелених насаджень.
- 12) Високий рівень забруднення атмосферного повітря у місті.

IV) Група індикаторів для оцінки вразливості до стихійних гідрометеорологічних явищ:

- 1) Зростання повторюваності стихійних метеорологічних явищ, що завдали руйнувань та збитків, протягом останніх років.

- 2) Наявність інфраструктури, що була зруйнована через стихійні гідрометеорологічні явища протягом останніх років, та промислових підприємств у місті чи поблизу, що можуть бути пошкоджені стихійними явищами.
  - 3) Обмежений доступ у населення до інформації про погоду та клімат (відсутність завчасного інформування населення про можливі стихійні явища).
  - 4) Відсутність у місті зливової каналізації або за її наявності її поганий технічний стан, нерегулярні ремонти.
  - 5) Відсутність достатньої кількості технічних, людських та фінансових ресурсів для швидкої евакуації населення з можливих зон, що зазнають впливу стихійного гідрометеорологічного явища.
  - 6) Обмеженість доступу до якісного медичного обслуговування (перш за все, швидкої медичної допомоги).
- V) Група індикаторів для оцінки вразливості до погіршення якості та зменшення кількості питної води:
- 1) Відсутність у місті власних джерел для водопостачання населення чи використання привозної води.
  - 2) Переважання поверхневих джерел водопостачання у місті над підземними.
  - 3) Негативна тенденція зміни річкового стоку в регіоні.
  - 4) Зростання частоти прояву посух протягом останніх 10 років.
  - 5) Наявність у місті промислових підприємств, що споживають значну кількість води.
  - 6) Наявність підприємств, що здійснюють скиди води у водні об'єкти.
  - 7) Неналежний стан водопровідної мережі у місті.
  - 8) Неналежний стан водоочисних споруд для очищення води, яку споживає населення.
  - 9) Відсутність належної системи водного менеджменту у місті.
  - 10) Зростання кількості населення міста.

- 11) Відсутність культури водоспоживання у населення міста.
  - 12) Значна частка малозабезпечених сімей у структурі населення міста.
- VI) Група індикаторів для оцінки вразливості до зростання кількості інфекційних захворювань та алергійних проявів:
- 1) Значна частка населення, вразливого до інфекційних захворювань.
  - 2) Зростання частоти прояву стихійних гідрометеорологічних явищ, що можуть сприяти поширенню інфекційних захворювань (наприклад, сильні зливи).
  - 3) Прогнозоване зростання середньої температури повітря.
  - 4) Значна частка населення, схильного до алергійних проявів.
  - 5) Наявність природних осередків інфекційних захворювань та паразитарних захворювань у місті чи поблизу нього.
  - 6) Неналежне забезпечення населення стаціонарною медичною допомогою (кількість лікарняних ліжок менша нормативного).
- VII) Група індикаторів оцінки вразливості енергетичних систем міста:
- 1) Зростання температури повітря та повторюваності хвиль тепла у літній період та прояву екстремально низьких температур – у холодний.
  - 2) Зростання кількості днів із сильним вітром та повторюваності стихійних метеорологічних явищ.
  - 3) Незначна абсолютна висота розташування станції, віддаленість від водних об'єктів, випадки підтоплення станції чи територій, розташованих поблизу.
  - 4) Відсутність у місті джерел енергії (традиційних або альтернативних) для населення (чи, принаймні, для стратегічних об'єктів) на випадок аварійних ситуацій.
  - 5) Зростання кількості населення та споживання електроенергії на одну особу в місті.
  - 6) Зношеність основних фондів, неналежний технічний стан обладнання електроенергетичної системи міста.

Якщо певна група індикаторів кінцевому підсумку набирає понад 14 балів (тобто вище 60 % від максимально можливого), то це свідчить, що місто дуже вразливе до певного негативного наслідку зміни клімату.

За розробленою методикою, була здійснена оцінка вразливості м. Полтави до змін клімату. При її здійсненні враховано результати державного семінару «Підтримка регіональних зусиль з розробки регіональних планів заходів з адаптації до зміни клімату» в м. Полтаві. [92] Результати проведеної оцінки свідчать, що найбільш вразливими до кліматичної зміни є міські зелені зони – група III «Вразливість міських зелених зон» набрала 16 балів. Полтава історично має статус одного з найзеленіших міст України, і прагнення населення залишити за містом цей статус є цілком закономірним. Саме тому до цих індикаторів функціонування міста висуваються високі вимоги. Друге місце за вразливістю розділили VI та VII групи індикаторів – «Оцінка вразливості до зростання кількості інфекційних захворювань та алергійних проявів» та «Оцінка вразливості енергетичних систем міста» (по 12 балів на кожний індикатор). Висока вразливість міста до зростання кількості захворювань досить чітко виражає ті тенденції в санітарно-епідеміологічній ситуації міста Полтава (й інших міст України), які простежуються в останні роки, особливо у спекотний період. Метеорологічні чинники (перш за все підвищення температур) є «каталізатором» посилення й поширення осередків інфекційних та алергійних захворювань за наявності цілої низки небезпечних факторів природного та техногенного характеру.

Говорячи про температурний фактор в місті, не можливо не говорити про міський «острів тепла», який характеризується підвищеними в порівнянні з заміською місцевістю температурами повітря (рис. 2.13).



Рисунок 2.13 – Поширення острова тепла (температура зазначена в градусах Фаренгейта) [93]

Традиційний метод виявлення міського «острова тепла» заснований на порівнянні вимірювань всередині міста і в найближчій сільській місцевості. Оцінка інтенсивності «острова тепла» проводилася по різниці між температурою повітря на метеостанції, розташованій в місті, і температурою повітря на метеостанції, розташованій за містом. Позитивний знак різниці, як правило, інтерпретують як прояв міського «острова тепла». Однак такий підхід навряд чи можна визнати обґрунтованим. Міський «острів тепла» є наслідком процесу урбанізації території і розглядається як один з найбільш наочних прикладів мезомасштабної зміни клімату в результаті діяльності людини.

Існує проблема виділення з безлічі чинників, що визначають просторові зміни температури повітря, впливу саме міського середовища. Її рішення є непростим, але необхідним завданням. В іншому випадку масштаб антропогенного впливу на тепловий режим приземного шару повітря в місті виявиться спотвореним, а за антропогенний «острів тепла» буде видано інше явище [94].

Основною характеристикою міського «острова тепла» [95] є його інтенсивність  $\Delta T_L$ , що визначається як різниця максимального (або мінімального

в разі «острова холоду») значення температури повітря в місті  $T_U$  тах і середньої температури повітря за містом  $\overline{T}_L$ :

$$\Delta T_L = T_U - \overline{T}_L \quad (2.3)$$

Міський «острів тепла» проявляється у вигляді області замкнутих ізотерм над містом. Над великими містами острів тепла з деяким наближенням однорідний по горизонталі. Це дозволяє виділити так зване «плато», яке покриває велику частину міста, величина якого приблизно дорівнює осередненому по території міста значенням температури, а також його «пік» в центрі (область екстремальних значень температури) і «схил» по краях (області підвищених горизонтальних градієнтів температури на кордонах міста). Характеристикою «плато» міського «острову тепла»  $\overline{T}_L$  є різниця середніх значень температури повітря в місті  $\overline{T}_U$  і за містом  $\overline{T}_L$ :

$$\Delta \overline{T}_L = \overline{T}_U - \overline{T}_L \quad (2.4)$$

У деяких джерелах, наприклад авторів І.Л. Марінін, О.Р. Дранічер, були вказані можливі відмінності клімату в великих містах в порівнянні до прилеглої сільської місцевості в середніх широтах:

- Радіація загальна на 15 - 20% нижче;
- Ультрафіолетове випромінювання взимку на 30% нижче;
- Ультрафіолетове випромінювання влітку на 5% нижче;
- Тривалість сонячного сьйва на 5-15% нижче;
- Температура середньорічна на 0,5 - 1,0 ° С вище,  
середня зимова на 1 -2 ° С вище;
- Тривалість опалювального сезону на 10% менше;
- Домішки:
  - ядра конденсації і частки в 10 разів більше,
  - газові домішки в 5 - 25 разів більше;
- Швидкість вітру середньорічна на 20 - 30% нижче,  
штормова на 10 - 20% нижче,

- штилі на 5 - 20% частіше;
- Опади сумарні на 5 - 10% більше,  
у вигляді снігу на 5% менше;
- Число днів з опадами менше 5 мм на 10% більше;
- Кількість хмар на 5 - 10% більше;
- Повторюваність туманів взимку на 100% більше,  
влітку на 30% більше;
- Відносна вологість влітку на 8% менше,  
іноді на 11 - 20% менше;
- Грози (частота) в 1,5 - 2 рази менше.

Звісно, виникає питання, чи впливає на розподіл «острову тепла» по місту його теплопостачання. Полтавське обласне комунальне виробниче підприємство теплового господарства "Полтаватеплоенерго" – найбільше в області за потужністю і кількістю споживачів послуг підприємство, що забезпечує повний цикл теплопостачання (нерозривність процесу виробництва, передачі і роз-поділу теплової енергії) м. Полтава та 4-ох районних центрів області.

На сьогодні підприємство здійснює ліцензовану господарську діяльність з виробництва, транспортування і постачання теплової енергії та є виконавцем послуг з централізованого опалення та постачання гарячої води, надаючи послугу з централізованого опалення понад 200 тис. мешканців міста, майже 150 тис. з яких отримують і послугу з централізованого постачання гарячої води. Загальна кількість споживачів підприємства з числа бюджетних установ, інших споживачів та релігійних організацій становить 1445. Для транспортування теплової енергії підприємство експлуатує теплові мережі та мережі гарячого водопостачання загальною довжиною 210,7 км (у 2-трубному вимірі). На балансі обласного виробничого підприємства «Полтаватеплоенерго» перебуває 92 котельні та теплогенераторні, встановленою потужністю 881,9 Гкал/год, що розташовані у містах Полтаві, Карлівці, селищах міського типу Машівці, Решетилівці, Котельві. 90 котелень та теплогенераторних працюють на природному газі, ще 2 котельні –

на твердому паливі (трісці та пілетах з деревини). За рік підприємство виробляє від 0,885 до 1,0 млн. Гкал теплової енергії. При цьому середньорічне споживання природного газу за останні чотири роки складає майже 130 млн. куб. м. У 2014 році спожито 119,6 млн. куб. м блакитного палива [96].

Зрозуміло, що відокремлена діяльність даного підприємства не створює значного впливу на місто Полтава, з точки зору «острову тепла», так як не має значних відкритих теплових втрат в навколишнє середовище, враховуючи, що переважна більшість об'єктів підприємства розташована в зонах щільної житлової забудови та селищах міського типу.

Метеорологічні умови є найважливішим фактором для оцінки змiну клімату та утворення міського «острову тепла». Спостереження за температурним режимом та опадами на території області здійснюють метеостанції Полтавського обласного центру з гідрометеорології, які розташовані у м. Гадяч, м. Лубни, м. Кобеляки, смт. В.Поділ та м. Полтава (рис.2.14).

Короткий метеорологічний огляд (дані Полтавського обласного центру з гідрометеорології за 2015 рік) був таким [85]:

Метеорологічна станція «Гадяч».

Середньорічна температура повітря склала  $+9.5^{\circ}$  тепла, що вище минулого року на  $+0.5^{\circ}$  та на  $+2.5^{\circ}$  вище норми. Найхолоднішою була друга декада лютого з температурою повітря  $6.3^{\circ}$ , мінімум у повітрі у першій декаді січня знижувався до позначки  $20.7^{\circ}$  морозу. Найтеплішою була третя декада липня з середньою декадною температурою повітря  $+22.7^{\circ}$  тепла, у першій декаді вересня максимум у повітрі становив  $+35.4^{\circ}$ . Річна сума опадів склала 585 мм, що становить 92% норми, за теплий період їх сума склала 296 мм, за холодний період 289 мм опадів.





Рисунок 2.14 - Розташування метеостанцій Полтавського обласного центру з гідрометеорології

#### Метеорологічна станція «Лубни».

Середньорічна температура повітря, за даними МС Лубни, склала  $9.8^{\circ}$  тепла, що вище минулого року на  $+0.5^{\circ}$  та на  $+2.4^{\circ}$  вище норми. Найтеплішою була третя декада липня, середня декадна температура повітря якої склала  $+22.6^{\circ}$ , максимальна температура повітря у першій декаді вересня підвищувалася до позначки  $+35^{\circ}$ . Найхолоднішою виявилася перша декада січня з середньою декадною температурою повітря  $5.7^{\circ}$  морозу, мінімум температури повітря у першій декаді січня знижувався до позначки  $19.6^{\circ}$  морозу. Річна сума опадів склала 543 мм, що становить 87% норми. За теплий період випало 273 мм, за холодний період 270 мм опадів.

#### Метеорологічна станція «Веселий Поділ».

Середньорічна температура повітря склала  $+9.9^{\circ}$ , що вище минулого року на  $+0.5^{\circ}$  та на  $+2.2^{\circ}$  вище норми. Найхолоднішою була друга декада лютого з середньою декадною температурою повітря  $6.2^{\circ}$  морозу, мінімальна температура повітря у першій декаді січня знижувалася до  $21.8^{\circ}$  морозу. Най-теплішою була

третья декада липня з температурою повітря  $+23.1^{\circ}$ , максимальна температура повітря у другій декаді серпня підвищувалася до  $+34.7$  градусів. Річна сума опадів по МС склала 491 мм, що становить 96% норми. За теплий період їх сума склала 271 мм, за холодний – 220 мм опадів.

Метеорологічна станція «Кобеляки».

Середньорічна температура повітря склала  $+10.2^{\circ}$ , що вище минулого року на  $+0.4^{\circ}$  та норми на  $+2.1^{\circ}$ . Найхолоднішою була перша декада січня з температурою повітря  $7.0^{\circ}$  морозу, мінімальна температура повітря у першій декаді січня знижувалася до  $23.7^{\circ}$  морозу. Найтеплішою була третя декада липня з температурою повітря  $+23.4^{\circ}$ . Максимум у повітрі був відмічений у другій декаді серпня  $+35.7$  градусів. Річна сума опадів по МС Кобеляки склала 518 мм, що становить 99% норми. За теплий період (IV-X) сума опадів склала 275 мм, за холодний період – 243 мм опадів.

Метеорологічна станція «Полтава».

Середньорічна температура повітря за даними МС Полтава  $+9.8^{\circ}$ , що вище минулого року на  $+0.6^{\circ}$  та на  $+2.2^{\circ}$  вище норми. Найхолоднішою була перша декада січня з середньою декадною температурою повітря  $6.7^{\circ}$  морозу, у першій декаді січня відмічалось зниження мінімальної температури повітря до  $21.9^{\circ}$  морозу. Найтеплішою була перша декада серпня з середньою декадною температурою повітря  $+23.0^{\circ}$ , максимум температури повітря був відмічений у другій декаді серпня і становив  $+35.8$  градусів. Річна сума опадів склала 542 мм, що становить 95% норми. За холодний період випало 263 мм опадів, за теплий – 279 мм опадів.

У 2015 році середня річна температура повітря по Полтавській області склала  $+9.8^{\circ}$ . Порівняно з нормою 1961-1990 рр., середня річна температура повітря вища норми на  $+2.2^{\circ}$ , а порівняно з середніми температурами повітря за період 1981-2010 рр. на  $+1.6^{\circ}$ .

Згідно наведених вище даних можливо побудувати графік порівняння температур міста та приміських територій (рис. 2.15).

З графіку видно, що Полтава в порівнянні з більшістю малих міст області має вищі показники як середньорічної температури, так і максимальної. Однак, місто Кобеляки має дещо підвищені показники. Отриманий результат, безумовно, не може розглядатися як заперечення можливості існування в м. Полтава «острова тепла». Можна впевнено говорити лише про незначний вплив міста на тепловий режим в його околицях. Це може бути викликано як локальними особливостями знаходження міста (невелика повторюваність поєднання сприятливих метеорологічних умов, що сприяють прояву «острова тепла»), так і його загальної слабкої інтенсивності.

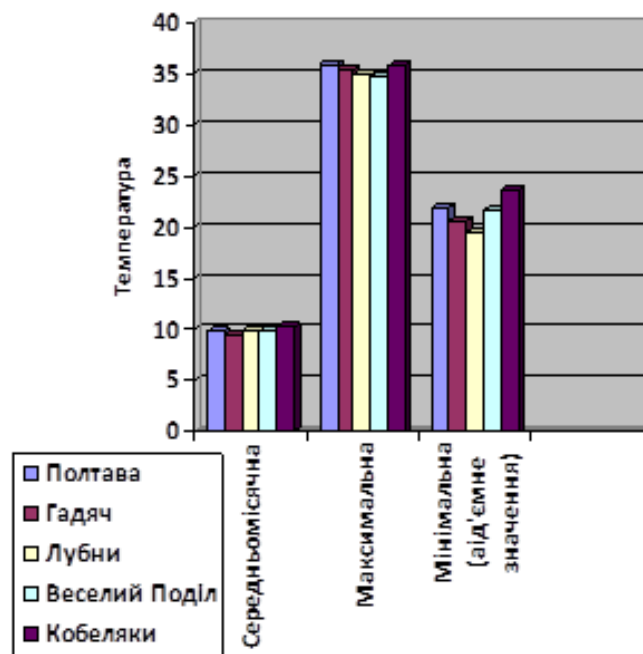


Рисунок 2.15 - Графік порівняння температур міста Полтави та малих оточуючих міст

Разом з тим, використаний в розділі метод не дає відповіді на питання про відсутність «острова тепла» в інших районах міста. З цієї причини не можна говорити про антропогенний характер виявлених результатів щодо температури міста. Питання щодо існування «острова тепла» в інших районах Полтавської області слід вважати відкритим до проведення масштабного комплексу мікрокліматичних вимірювань в місті і в схожих по ландшафту фонових районах.

## 2.6. Висновки до розділу

1. Розраховано розсіювання забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери від стаціонарних джерел викиду міста за допомогою програми ЕОЛ. Найбільше перевищення від допустимих значень спостерігається за пилом неорганічним, що містить діоксид кремнію менше 20%. Це вказує на необхідність вирішення питання запиленості атмосферного повітря міста, а саме зміни пилогазоочисного обладнання на підприємствах міста.

2. Проведено аналіз стану забруднення атмосферного повітря за даними стаціонарних постів спостереження та державної статистики. Підсумовуючи результати спостережень середньорічних концентрацій в динаміці за 5 років (2013-2017рр.) слід зазначити, що намітилась тенденція стабілізації вмісту в повітрі більшості забруднюючих речовин, що визначаються. Проте, враховуючи зміни, внесені постановою Кабінету міністрів України від 14 серпня 2019 року №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря», в рамках спостереження за забрудненнями на стаціонарних постах відмічається відсутність проведення моніторингу таких речовин як РМ<sub>2,5</sub> та РМ<sub>10</sub>, та відсутність автоматизованих систем аналізу якості повітря, тобто моніторинг проводиться методом відбору проб.

3. Здійснено порівняльний аналіз стану забруднення атмосферного повітря міст Лейпциг (Німеччина) та Полтава. Результати аналізу наведено в розділі 2.3. Слід наголосити, що порівняно з містами Європейського Союзу, в Полтаві дані щодо забрудненості атмосферного повітря забруднюючими речовинами, що визначаються на стаціонарних постах спостереження, не є загально доступними, тобто відповідна інформація про стан повітря в місті не надходить в повній мірі до громадськості. Також слід відмітити відсутність аналізу за РМ<sub>2.5</sub> та РМ<sub>10</sub> для м. Полтава, так як ці речовини не вимірюються на стаціонарних постах спостереження.

4. Проаналізовано деяку залежність якості атмосферного повітря від показника метеорологічного потенціалу атмосфери міста та залежність якості атмосферного повітря. Удосконалено обрахунки вказаного показника, в особливості його річного значення для міста Полтава (приведення коефіцієнту теплового потенціалу до середньорічних температур, та прив'язка до норм кількості опадів). Визначено вразливість міста до змін клімату та виявлено, що «острів тепла» не є характерною рисою міста Полтава.

5. Обґрунтовуючи вище сказане, зрозуміло, що головною проблемою залишається відсутність спостережень за РМ2.5 та РМ10 відповідно до постанови КМ від 14 серпня 2019 року №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря», відсутність автоматизованого аналізу забруднення повітря та відсутність широкого інформування та зацікавлення громадськості щодо стану атмосферного повітря міста.

Результати проведених досліджень опубліковані у роботах [79, 89, 96-99].

## **Розділ 3. Громадський моніторинг стану атмосферного повітря міста Полтава**

Моніторинг стану атмосферного повітря міста має вагомим значення як на державному рівні, так і для громадськості. Головною задачею створення мережі громадського моніторингу стану забруднення атмосферного повітря міста є проведення незалежного спостереження за забрудненням повітря враховуючи керівні документи та постанови. В даному розділі встановлено, що громадський моніторинг дає змогу усунути ряд недоліків діючої системи моніторингу атмосферного повітря.

### **3.1. Концепція створення громадського моніторингу атмосферного повітря**

В Україні моніторинг атмосферного повітря регламентується наступними документами: ЗУ «Про атмосферне повітря», ЗУ «Про охорону навколишнього природного середовища», ЗУ «Про метрологію та метрологічну діяльність», ПКМУ №391 «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» [2, 3, 100]. Але, слід відмітити, що останніми змінами в сфері моніторингу атмосферного повітря в Україні є постанова Кабінету міністрів України від 14 серпня 2019 року №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря» [69]. Відповідно до даної постанови виявляється ряд недоліків діючої системи моніторингу, в саме:

- відсутність проведення моніторингу завислих речовин, в тому числі PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub>;
- відсутність даних щодо забруднення, що охоплюють всю територію міста (агломерації, відповідно до постанови), тобто наявна інформація є актуальною лише точково;

- проведення моніторингу забруднення атмосферного повітря на стаціонарних постах спостереження здійснюється максимум 4 рази на добу;
- відсутність системи інформування населення щодо стану повітря в місті, в особливості забруднення PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub>;
- відсутність автоматизованих систем аналізу якості повітря, моніторинг проводиться методом відбору проб.

Головною задачею створення мережі громадського моніторингу стану забруднення атмосферного повітря міста є проведення незалежного спостереження за забрудненням повітря, беручи за основу такі постанови та керівні документи як Директива 2008/50/ЄС та Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. На відміну від проведення державного спостереження, громадський моніторинг забезпечить не лише інформування населення, його залучення до моніторингу, а і підвищить екологічну свідомість, відповідальність, та створить додатковий інструмент контролю за забруднення повітряного середовища.

Моніторинг атмосферного повітря є невід'ємною частиною політичних стратегій розвитку як окремих міст, так і країн в цілому [101]. Значна частина досліджень, проведена науковцями у всьому світі, сприяє розвитку захисту атмосферного басейну міст, визначенню впливу забруднення та підвищенню якості оточуючого середовища [102]. Проте, неможливо досягнути якісного результату в екологічній сфері, якщо мова йде про урбанізоване середовище проживання, якщо не залучати громадськість. Проведення моніторингових досліджень, та інформування населення про їх результати є важливим з точки зору як науковців, так і громадськості [103].

Найбільш розповсюдженим в питанні моніторингу атмосферного повітря є використання геоінформаційних технологій та систем. Ці системи складаються з апаратного комплексу, програмного комплексу та інформаційного блоку. Проте, цілком виправданим є включення до складу компонентів геоінформаційних технологій та людей – розробників і користувачів, без яких неможливе існування

останніх компонентів як системи. У цьому випадку утворюється система, що складається з п'яти компонент [26]. Більшість програмних продуктів [104-106], розроблених для моніторингу атмосферного повітря, що надають можливість візуалізації результатів спостережень, потребують велику кількість вхідних даних. Окрім точних параметрів джерел викидів, необхідно використовувати великий масив метеорологічних даних, отримати які не завжди є можливим. Також є необхідність у створенні системи інформування населення, що є легкою та швидкою у адмініструванні, та зручною та зрозумілою користувачеві. Так, наявні програмні продукти [107] направлені на вимірювання забруднень від певних джерел, або є непридатними для швидкого оперування даними.

Отже, причинною необхідністю створення громадського моніторингу атмосферного повітря виступають такі 4 ключові проблематики:

- на рівні держави – допомога в імплементації програми державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря відповідно до Постанови Кабінету Міністрів про порядок здійснення моніторингу;
- на рівні підприємств – допомога в виявленні впливу викидів «сусідніх» підприємств міста;
- на рівні громадськості – допомога в наявності доступного та незалежного контролю за якістю повітря в місті;
- на рівні науки – допомога науковцям та іншим зацікавленим структурам в отриманні актуальної інформації щодо забрудненості атмосфери з метою подальшого аналізування, дослідження та звітності.

Для ефективного функціонування мережі громадського моніторингу необхідно розробити правила щодо проведення громадського контролю стану забруднення атмосферного повітря міста з описом розташування датчиків забруднень, їх роботи та основних вимог. Також розроблення бази даних щодо проведеного моніторингу та розробка сайту, що відображає результати громадського моніторингу. Беручи до уваги, що якщо база даних містить дані щодо показників встановлених датчиків (точкові виміри), то сайт для



інформування населення є візуалізацією результатів контролю по всій території міста, тобто виступить моделлю розподілу забруднень в атмосферному повітрі міста.

### **3.2. Методика встановлення громадського контролю та визначення залежності запиленості від метеорологічних параметрів**

Громадський контроль за станом забруднення атмосферного повітря являє собою мережу датчиків для визначення концентрації забруднюючих речовин в повітряному басейні міст. Розташування точок вимірювання забруднень повинно бути фіксованим, але разом з тим, може оперативно змінюватись у відповідності до поставленої задачі певного дослідження чи аналізу. Метою створення та реалізації мережі громадського контролю є проведення незалежного оцінювання якості атмосферного повітря міста з подальшим інформуванням населення щодо його результатів. Проведення даного типу моніторингу є не лише спрямованим на залучення громадськості та підвищення їх екологічної свідомості, але виступає і в якості первинного аналізу стану забруднення повітря для отримання даних та надання рекомендацій щодо встановлення додаткових постів державного спостереження за якістю атмосферного повітря в умовах імплементації змін щодо порядку проведення моніторингу, а також в якості оперативного контролю для тих чи інших задач.

Враховуючи, що громадський моніторинг, як зазначено вище, є універсальним, та може бути використаний для різних задач, вимоги до встановлення датчиків спостереження є гнучкими. Для отримання загальних значень забруднення атмосферного повітря по місту, враховуючи, промислові, житлові, паркові зони міста, а також приміські території, головними рекомендаціями до встановлення датчиків є:

- встановлення на ділянках, що забезпечує відсутність застою повітряних потоків,
- встановлення на відстані 1,5, 4, чи 6 метрів від землі,
- встановлення на відстані 10 метрів від дороги з інтенсивним транспортним рухом (чи ближче, якщо необхідно визначити вплив транспорту на даній ділянці),
- на приміських територіях для визначення антропогенного впливу міського середовища.

На початку експерименту створення мережі громадського контролю для м. Полтава була створена сітка для подальшого відображення даних розміром 7x7 комірок (рис. 3.1).

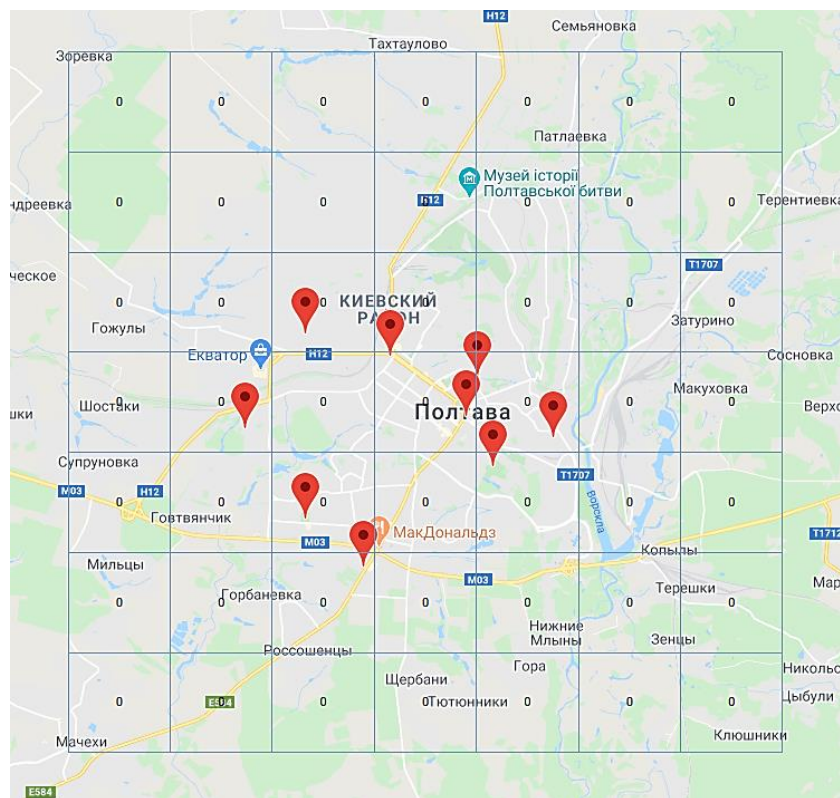


Рисунок 3.1 – Початковий вигляд сітки громадського моніторингу

Враховуючи, що кожна комірка вміщувала значну площу територій міста, а нові датчики, потрапляючи, до комірки, де вже проводились дослідження, були б

незручними для відображення та незрозумілими цільовому користувачу, було змінено розміри сітки 12x12 комірок (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Удосконалений вигляд сітки громадського моніторингу

Таке рішення дозволяє зберегти сітку на приміських територіях, для подальшого розширення мережі громадського моніторингу, а також розбиває центральну територію міста на менші комірки, що попереджує накладання показників різних датчиків. Отже, сітка складається зі 144 комірок. Кожна комірка охоплює територію площею 1,65 км<sup>2</sup>. Загальна площа міста становить 103 км<sup>2</sup>, отже 64 центральні комірки повністю покривають територію міста.

На час експерименту встановлено 9 датчиків, що охоплюють більшу частину міста (таб. 3.1). Датчики працюють в автономному безперервному

режимі, але для створення мережі інформування населення використані показники забруднення за наступні години: 00:00, 06:00, 12:00, 18:00.

Таблиця 3.1. – Розміщення датчиків громадського контролю в м. Полтава

№ п/п	Назва	Адреса
1	"Вул. Петра Юрченка"	вул. Петра Юрченка, 17
2	"Половки"	вул. Курчатова, 13
3	"Шевченківська рада"	вул. Івана Мазепи, 30
4	"Меблева фабрика"	вул. Європейська, 150
5	"Київська рада"	вул. Маршала Бірюзова, 1/2
6	"Тестовий"	вул. Сковороди, 1/3
7	"Інститут розвитку міста"	вул. Небесної Сотні, 1/23
8	"Парк Перемога"	просп. Першотравневий
9	"Подільська рада"	вул. Анатолія Кукоби, 39

Встановлені датчики вимірюють забрудненість атмосферного повітря міста зваженими частинками PM2.5 та PM10. Основними технічними характеристиками датчиків вимірювання зазначених забруднень є:

- принцип вимірювання – оптичний, що працює за принципом розсіяного світла;
- діапазон вимірювань (PM2.5) – 0–500 мкг/м<sup>3</sup>;
- робочий температурний діапазон – (–10)...+60 °С;
- точність вимірювань – (±10) мкг/м<sup>3</sup> в діапазоні 0–100 мкг/м<sup>3</sup>, ±10 % в діапазоні 100–500 мкг/м<sup>3</sup>;
- робочий діапазон вологості – 0–99 %.

В ході експерименту, протягом 01.12.2019 р. - 31.07.2020 р., було зібрані дані щодо забруднення атмосферного повітря міста Полтава твердими частками PM2.5 та PM10. Поставивши задачею визначення впливу метеорологічних умов на забрудненість атмосферного повітря міста пилом, було складено базу даних, для значень забрудненості PM2.5 в наступні години: 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 щоденно протягом третього тижня кожного місяця. Також зазначені метеорологічні умови в ці години, а саме: температура та вологість повітря,

швидкість вітру (Додаток В). Значення щодо метеорологічних умов було отримано з відкритої бази даних [meteomanz.com](http://meteomanz.com).

Для оптимізації кількості даних, що використані для встановлення залежності забрудненості атмосферного повітря пилом та метеорологічних умов, було виділено значення отримані о 12 годині щопонеділка третього тижня кожного місяця експерименту. Дані зведені в таблицю 3.2, де  $x_1$  – температура повітря ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $x_2$  – швидкість вітру (м/с),  $x_3$  – вологість повітря (%) та  $u$  – концентрація  $\text{PM}_{2.5}$  ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ).

Таблиця 3.2 – Запиленість повітря міста та метеорологічні умови

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$u$
5	3	78	5
1	3	87	6
-2	6	71	5
3	4	39	2
16	7	18	5
24	3	26	3
27	5	53	5
23	6	62	9

Для встановлення вище згаданої залежності складено квадратичне рівняння (3.1).

$$a_{11}x_1^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{22}x_2^2 + a_{23}x_2x_3 + a_{33}x_3^2 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + c = u \quad (3.1)$$

Щоб встановити величини коефіцієнтів  $a$ ,  $b$  та  $c$ , значення таблиці 3.2 було підставлено в формулу 3.1. В результаті отримано систему квадратичних лінійних рівнянь:

$$25a_{11} + 15a_{12} + 390a_{13} + 9a_{22} + 234a_{23} + 6084a_{33} + 5b_1 + 3b_2 + 78b_3 + c = u$$

$$a_{11} + 3a_{12} + 87a_{13} + 9a_{22} + 261a_{23} + 7569a_{33} + b_1 + 3b_2 + 87b_3 + c = u$$

$$4a_{11} - 12a_{12} - 142a_{13} + 36a_{22} + 426a_{23} + 5041a_{33} - 2b_1 + 6b_2 + 71b_3 + c = u$$

$$9a_{11} + 12a_{12} + 117a_{13} + 16a_{22} + 156a_{23} + 1521a_{33} + 3b_1 + 4b_2 + 39b_3 + c = u$$

$$256a_{11} + 112a_{12} + 288a_{13} + 49a_{22} + 126a_{23} + 324a_{33} + 16b_1 + 7b_2 + 18b_3 + c = u$$

$$576a_{11} + 72a_{12} + 624a_{13} + 9a_{22} + 78a_{23} + 676a_{33} + 24b_1 + 3b_2 + 26b_3 + c = u$$

$$729a_{11} + 135a_{12} + 1431a_{13} + 25a_{22} + 265a_{23} + 2809a_{33} + 27b_1 + 5b_2 + 53b_3 + c = u$$

$$529a_{11} + 138a_{12} + 1426a_{13} + 36a_{22} + 372a_{23} + 3844a_{33} + 23b_1 + 6b_2 + 62b_3 + c = u$$

В даній системі знаходиться вісім рівнянь і десять невідомих. Для рішення такої системи лінійних рівнянь можливо використати метод Жордана-Гауса (метод повного виключення невідомих). Це – метод, який використовується для вирішення квадратних систем лінійних алгебраїчних рівнянь, знаходження зворотної матриці, знаходження координат вектора в заданому базисі або відшукання рангу матриці. Метод є модифікацією методу Гаусса.

Для зручності знаходження рішення складено матрицю наступного виду:

25	15	390	9	234	6084	5	3	78	1	5
1	3	87	9	261	7569	1	3	87	1	6
4	-12	-142	36	426	5041	-2	6	71	1	5
9	12	117	16	156	1521	3	4	39	1	2
256	112	288	49	126	324	16	7	18	1	5
576	72	624	9	78	676	24	3	26	1	3
729	135	1431	25	265	2809	27	5	53	1	5
529	138	1426	36	372	3844	23	6	62	1	9

Хід розв'язку матриці зазначено в Додатку Г. Результатом розв'язку є наступні рівняння:

$$a_{11} = 0,03b_3 - 0,02$$

$$a_{12} = 0,17b_3 + 0,11$$

$$a_{13} = -0,01b_3 - 0,01$$

$$a_{22} = 0,82b_3 + 0,04c - 0,14$$

$$a_{23} = -0,01b_3 + 0,04$$

$$a_{33} = 0,01b_3$$

$$b_1 = 0,03b_3 - 0,03c + 0,53$$

$$b_2 = -9,96b_3 - 0,38c - 0,92$$

Враховуючи, що значення  $u$  не може бути від'ємним, тобто концентрації забруднювача не може бути нижче нуля, наступним кроком було знаходження коефіцієнтів  $b_3$  та  $c$  за умови отримання  $u \geq 0$ . Щоб знайти коефіцієнт  $b_3$  було проведено наступні перетворення:

$$0,03b_3 > 0,02$$

$$0,17b_3 > -0,11$$

$$-0,01b_3 > 0,01$$

$$-0,01b_3 > -0,04$$

$$0,01b_3 > 0$$

Отже, коефіцієнт  $b_3$  за умови  $u \geq 0$  може приймати значення в наступному діапазоні  $0,66 < b_3 < 1$ .

Щоб знайти коефіцієнт  $c$  було проведено наступні перетворення:

$$0,04c > 0,14 - 0,82b_3, c > 3,5 - 20,5b_3$$

$$-0,03c > -0,53 - 0,03b_3, c < 17,7 + b_3$$

$$-0,38c > 9,96b_3 + 0,92, c < -26,2b_3 - 2,4$$

На основі отриманих нерівностей складено систему рівнянь:

$$c = 3,5 - 20,5b_3$$

$$c = 17,7 + b_3$$

$$c = -26,2b_3 - 2,4$$

Побудувавши графік, на основі вказаних вище рівнянь, де вісь  $x=b_3$  та вісь  $y=c$  (рис. 3.3).

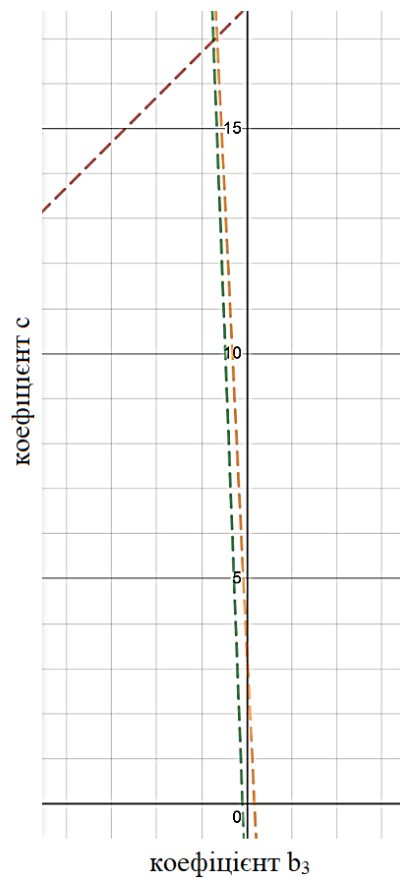


Рисунок 3.3 – Графік для знаходження діапазону значень коефіцієнту  $c$

Отже прийнявши  $b_3 = 0,7$  та  $c = 3$ , знайдено наступні коефіцієнти:  $a_{11} = 0,001$ ;  $a_{12} = 0,23$ ;  $a_{13} = -0,017$ ;  $a_{22} = 0,037$ ;  $a_{23} = 0,033$ ;  $a_{33} = 0,007$ ;  $b_1 = 0,46$ ;  $b_2 = -9$ ;  $b_3 = 0,7$ ;  $c = 3$ .

Підставивши коефіцієнти в рівняння 3.1 отримано залежність 3.2:

$$u = 0.001x_1^2 + 0.23x_1x_2 - 0.017x_1x_3 + 0.037x_2^2 + 0.033x_2x_3 + 0.007x_3^2 + 0.46x_1 - 9x_2 + 0.7x_3 + 3 \quad (3.2)$$

Отже, рівняння 3.2 представляє собою залежність впливу сукупності метеорологічних параметрів, а саме температури повітря ( $x_1$ ), швидкості вітру ( $x_2$ ) та вологості ( $x_3$ ), на стан забруднення атмосферного повітря міста твердими частками PM2.5 ( $u$ ).

Для більш чіткого уявлення даної залежності слід використати представлення за допомогою графіка. Але враховуючи, що в даному випадку має місце залежність 4 складових, то така модель буде представлена у чотирьох вимірному просторі, що є неможливим для графічного зображення.

Вивівши функції (3.3) та (3.4) на основі рівняння (3.5) побудовано графік (рис. 3.4) у трьох вимірному просторі, що відображає залежність параметру забруднення PM2.5 від температури повітря та швидкості вітру.

$$\begin{cases} F(x_1, x_2, x_3, u) = 0 \\ x_3 = 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

$$u = f(x_1, x_2) \quad (3.4)$$

$$u = 0.001x_1^2 + 0.23x_1x_2 + 0.037x_2^2 + 0.46x_1 - 9x_2 + 3 \quad (3.5)$$

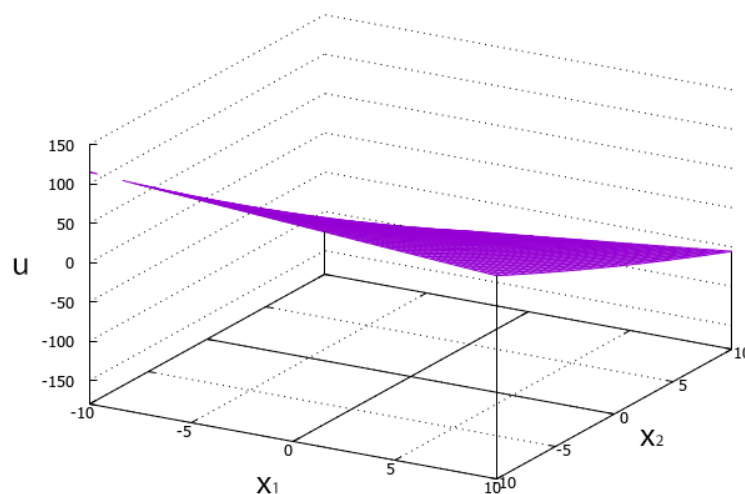


Рисунок 3.4 – Графік функції  $u = f(x_1, x_2)$



Вивівши функції (3.6) та (3.7) на основі рівняння (3.8) побудовано графік (рис. 3.5) у трьох вимірному просторі, що відображає залежність параметру забруднення PM2.5 від температури повітря та вологості.

$$\begin{cases} F(x_1, x_2, x_3, u) = 0 \\ x_2 = 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

$$u = f(x_1, x_3) \quad (3.7)$$

$$u = 0.001x_1^2 - 0.017x_1x_3 + 0.007x_3^2 + 0.46x_1 + 0.7x_3 + 3 \quad (3.8)$$

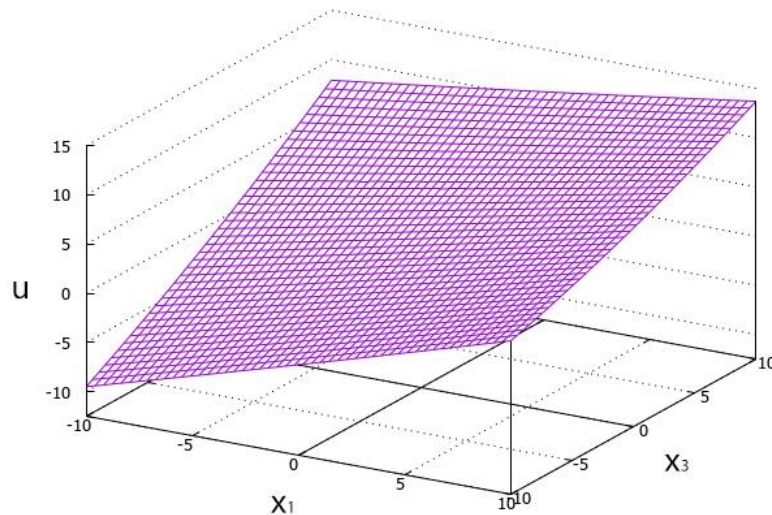


Рисунок 3.5 – Графік функції  $u = f(x_1, x_3)$

Вивівши функції (3.9) та (3.10) на основі рівняння (3.11) побудовано графік (рис. 3.6) у трьох вимірному просторі, що відображає залежність параметру забруднення PM2.5 від швидкості вітру та вологості повітря.

$$\begin{cases} F(x_1, x_2, x_3, u) = 0 \\ x_1 = 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

$$u = f(x_2, x_3) \quad (3.10)$$

$$u = 0.037x_2^2 + 0.033x_2x_3 + 0.007x_3^2 - 9x_2 + 0.7x_3 + 3 \quad (3.11)$$

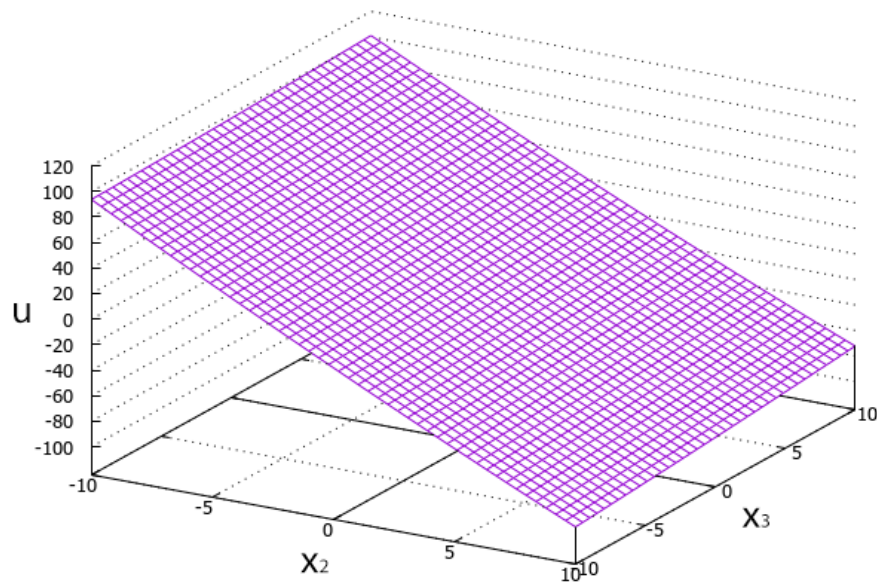


Рисунок 3.6 – Графік функції  $u = f(x_2, x_3)$

Отже, на основі спостережень за допомогою громадського моніторингу за запиленістю повітря міста, складено базу даних для встановлення взаємозв'язку з метеорологічними параметрами, виведено рівняння залежності їх впливу, та побудовано трьох вимірні моделі.

### **3.3. Інформування населення щодо рівня забруднення повітряного басейну територій міста**

Було проведено аналіз завдання та вибір методу його рішення. У результаті аналізу предметної області було виявлено, що існує необхідність створення системи візуалізації даних, отриманих за допомогою розгорнутої мережі громадського моніторингу стану атмосферного повітря (на прикладі м. Полтава). Так, визначено ряд недоліків існуючих інформаційно-технічних можливостей, що не дозволяють відображати дані зазначеного вище моніторингу в відповідності з наступними вимогами: візуалізація даних громадського моніторингу передбачає доступність результатів вимірювань стану атмосферного повітря, а саме за PM2.5 та PM10, з точки зору розбиття території міста на визначені ділянки та зазначення

концентрації пилу в цих ділянках. Тобто, є необхідність створення системи візуалізації отриманих даних громадського моніторингу з точки зору їх площинного поширення, а не відображення точкового вимірювання, якими є наявні на сьогодні сайти інформування населення, що також є неінформативними, чи незручними у використанні.

Для реалізації системи сповіщення щодо моніторингу атмосферного повітря, було обрано інструмент CMS Wordpress, що є одною з найпопулярніших CMS (систем управління контентом). Система управління контентом є набором різного роду скриптів для створення, редагування та управління сайтом, на професійному жаргоні такі системи називають рушіями. Дані системи дозволяють створювати публікації, відповідають за відображення медіа елементів та розміщення віджетів.

Завдяки своїй популярності дана система набрала дуже гарну підтримку в вигляді обширного співтовариства, та одну із найбагатших базу плагінів для різноманітних типів задач.

До того ж це безкоштовна Open Source платформа з відкритим вихідним кодом.

Найголовнішою перевагою серед фреймворків та інших CMS є дуже швидке розгортання невеликих проєктів. Зрозуміла та проста адмін-панель для редактора сайту. Легка підтримка проєктів. Зазвичай під час розробки даний рушій покриває більшу частину функціоналу типових проєктів, а найменшу потрібно дописувати під свої задачі модифікуючи тему або створивши відповідні плагіни. При реалізації даного проєкту використано метод модифікації теми.

Тема Wordpress є базовим набором php, js, css файлів, які використовуються для виводу інформації з бази даних в потрібному для дизайну майбутнього проєкту вигляді. В інших рушіях та фреймворках те, що в Wordpress називають темою, зазвичай вважається шаблоном. Проте так історично склалось, що для сумісності з попередніми версіями Wordpress не використовується типова MVC

архітектура, і в контексті розгляду Wordpress правильніше використовувати термін «тема» замість шаблону.

Для розробки сайту використана тема Joints WP – пуста тема Wordpress з базовим набором функцій яка включає в себе CSS фреймворк Foundation.

Для відображення моделі розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста використана JavaScript бібліотека GMapsTable, що ґрунтується в накладанні html об'єкту на Google карти за заданими координатами, зазвичай подібним методом накладають SVG об'єкти на Google карту. В даній бібліотеці даний метод адаптовано під накладання html таблиці для візуалізації даних. За допомогою цієї бібліотеки реалізовано вивід згрупованих даних по сітці міста, а не точкових даних.

Інтерфейс веб-сайту – сукупність способів і засобів, за допомогою яких користувач взаємодіє з будь-якою веб-сторінкою. Макет сайту – це схема сторінок, на якій розташовуються графічні і текстові елементи. Іншими словами, макет сайту це каркас, на якому формується дизайн і здійснюється наповнення сторінок.

На рисунку 3.7 зображено схему макета головної сторінки сайту.

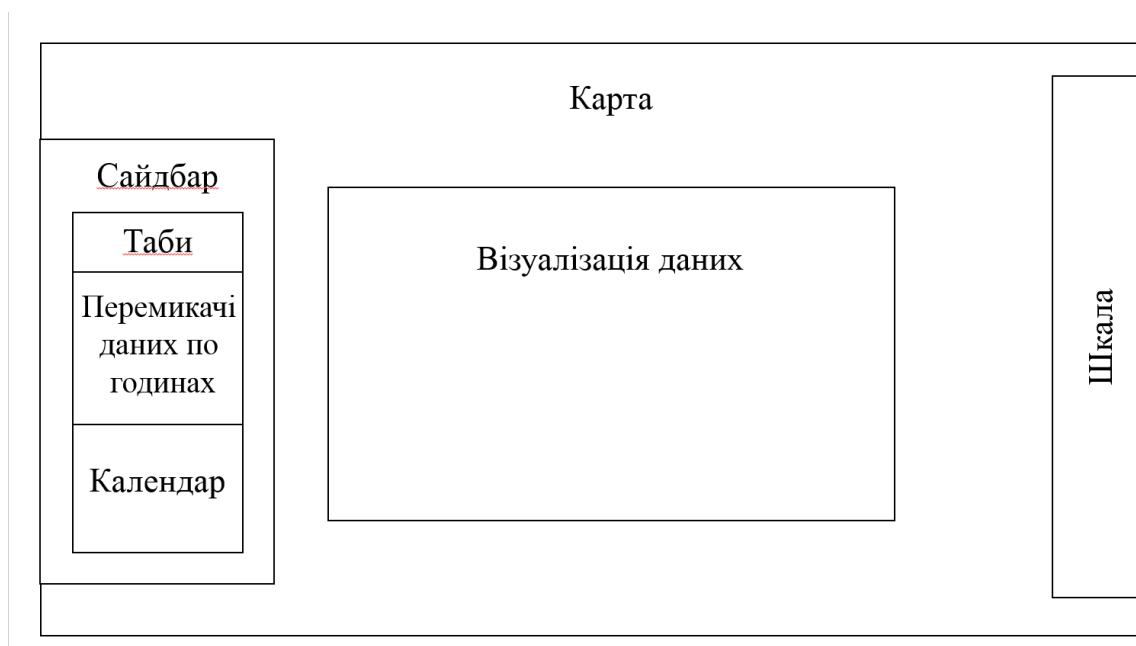


Рисунок 3.7 – Схема макета головної сторінки сайту

Сам сайт представляє собою одну сторінку з даними стану рівня забруднення атмосферного повітря за день. Карта абсолютно відпозиційована на всю висоту та ширину екрану. Зліва знаходиться плаваючий сайдбар, який є основним елементом для навігації. Він має наступні елементи: таби для переключення між датчиками PM2.5 та PM10, в яких знаходяться перемикачі за кожні 6 годин даних та календар для навігації по дням. При переключенні табу та внутрішнього перемикача змінюється візуалізація даних на карті та зображення шкали забруднення для цього типу датчика.

Елементи інтерфейсу реалізовано за допомогою метабоксів. Метабокси - специфічні властивості поста, що вносяться до структури сайту зазвичай плагінами. Це - панелі, що містять всі необхідні елементи, які необхідні для редагування даних поста. Знаходяться вони на екранах редагування адмін панелі, де реалізовані такі можливості, як керування сіткою, (створено 2 сітки: 7x7 та 12x12 комірок), також за допомогою табу користувач зможе швидко перемикати між датчиками та додавати інформацію за кожні 6 годин для кожного з них. За замовчуванням ці поля будуть обов'язковими для заповнювання.

На рисунку 3.8 зображено схему макета панелі адміністратора для редагування поста який містить всю додаткову інформацію за день для подальшого відображення даних після публікації на карті.

Саме остання публікація буде відображатись на головній сторінці.

На рисунку 3.9 зображено результат інтерфейсу користувача для заповнення метаданими нових довільних полів типу Maps data в таблиці бази даних та вигляд панелі адміністратора, що є рушієм для контент-менеджера сайту.

Назва посту

Вибір дати публікації посту

Перемикач сітки

Таби типу датчика

Поле для внесення даних 00:00

Поле для внесення даних 06:00

Поле для внесення даних 12:00

Поле для внесення даних 18:00

Рисунок 3.8 – Схема макету публікації поста

Add new Map Data

Add title

CPT: Maps Data

Data Size

12x12 7x7

PM2.5 PM10

Data \*

00:00 Map Data	06:00 Map Data	12:00 Map Data	18:00 Map Data

Рисунок 3.9 – Кінцевий інтерфейс користувача типу Maps Data

Для керування сайту необхідно залогінитись за адресою домена з додаванням до url /dashboard або /wp-admin чи /wp-login.php. Наприклад <http://city-air-dust.ho.ua/dashboard>. Після авторизації відбувається перехід в CMS. Для створення публікації створюємо пост типу Maps Data. Є багато способів для створення, найбільш швидкий через топ бар адмін панелі.

На рисунку 3.10 зображено приклад наповнення поста.

The screenshot displays the WordPress admin interface for editing a 'Map Data' post. The main content area shows the 'Edit Map Data' form with the date '19-04-2020' and a permalink. Below this, the 'CPT: Maps Data' widget is active, showing a 'Data Size' of 12x12 and 7x7. The widget is divided into two tabs: 'PM2.5' and 'PM10'. The 'Data' section contains four columns of data, each representing a different time of day: 00:00, 06:00, 12:00, and 18:00. Each column contains a 4x3 grid of numerical values. The right sidebar shows the post is published and visible to the public.

00:00 Map Data	06:00 Map Data	12:00 Map Data	18:00 Map Data
20	7	64	4
21	7	65	4
22	7	67	4
22	7	67	4
29	10	74	6
36	12	80	7
36	12	80	7
28	9	73	6
20	7	64	4
20	7	64	4
21	7	66	4
22	7	67	4
23	7	69	5
36	12	80	7
24	8	70	7
24	8	70	7
20	7	64	4
20	7	64	4
21	7	66	4
22	7	67	4
23	7	69	5
12	3	60	3
24	8	70	7
18	6	64	4
19	6	63	3
18	6	63	3
18	6	61	3
18	6	61	3
18	6	61	3
18	6	61	3

Рисунок 3.10 – Наповнення поста змістом

В першу чергу необхідно назвати пост в форматі (d-m-y) для генерації лінку сторінки у вигляді <http://city-air-dust.ho.ua/map/07-06-2020/>. В лівому сайдабарі публікації поста змінюється дата публікації за потрібний день, таким чином визначається день, за який буде опублікований пост, що необхідно для правильного визначення рушієм самого останнього поста на який буде здійснюватись переадресація з головної сторінки сайту. У віджеті ACF групи CPT: Maps Data обирається потрібний розмір сітки для заповнення даних. В нижній частині віджету доступні таби PM2.5 та PM10 які містять поля для заповнення інформації стосовно датчиків за кожні 6 годин. Заповнення обох табів налаштоване обов'язковим за замовчуванням. Якщо ці поля не будуть заповнені, при натисканні кнопки публікації, пост не буде опубліковано, та будуть підсвічені поля які необхідно обов'язково заповнити.

Після публікації поста перейшовши на головну сторінку сайту, відбувається переадресація на останній пост з візуалізацією стану забруднення атмосферного



повітря у зручній візуальній формі на карті. На рисунку 3.11 зображено кінцевий результат.

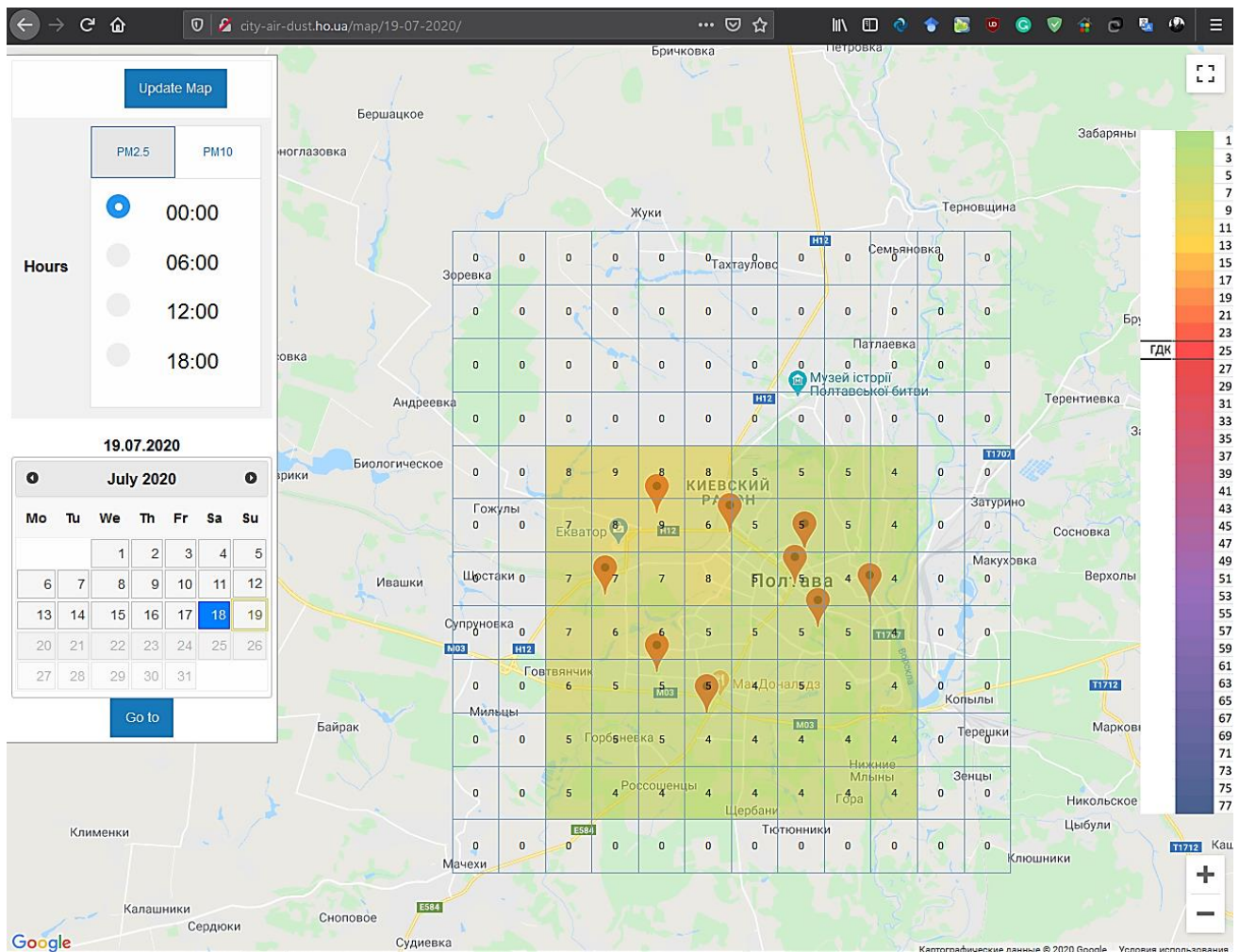


Рисунок 3.11 – вигляд поста після публікації

Для переходу на сторінку необхідно обрати в календарі потрібну дату, та натиснути лінк ‘go to’, після вибору дати link поста генерується автоматично. В верхній частині календаря відображено поточну дату посту, щоб користувач розумів за яку дату відображені дані.

Після натискання лінка Go to буде завантажено пост за інший день. Для зручності користувачів, якщо за певний день публікація спостережень відсутня, цю дату неможливо обрати в календарі.

При перемиканні між табами датчиків PM2.5 та PM10 дані на карті змінюються, та змінюється зображення шкали для цього датчика. Також при



перемиканні табу дані відображаються саме за ту годину, яку було обрано останньою.

Отже, реалізовано веб-сайт для публікацій результатів вимірювання рівня забруднення атмосферного повітря за допомогою громадського контролю. В результаті розрахунки та аналітичні дослідження перетворюються у зрозумілі користувачеві тематичні карти забруднення атмосферного повітря міста PM2.5 та PM10. Сайт завантажено на хостинг за адресою <http://city-air-dust.ho.ua/>.

### **3.4. Висновки до розділу**

1. Виявлено ряд недоліків діючої системи моніторингу атмосферного повітря міста. Запропоновано та введено в дію мережу громадського моніторингу, що на час експерименту включила заміри за допомогою 9 датчиків визначення концентрації твердих часток. Надано рекомендації встановлення датчиків вимірювання та приклад оптимального розбиття сітки міста для ефективного вимірювання запиленості повітря міста, та для подальшого інформування населення.

2. На основі отриманих даних громадського контролю складено базу даних для порівняння значень концентрацій PM2.5 від метеорологічних параметрів. Складено базу даних для встановлення взаємозв'язку з метеорологічними параметрами, виведено рівняння залежності їх впливу, та побудовано трьох вимірні моделі залежності забруднення повітря PM2.5 та наступних метеорологічних параметрів: температура повітря, швидкість вітру, вологість повітря.

3. Задля інформування населення щодо отриманих даних реалізовано веб-сайт для публікацій результатів вимірювання рівня забруднення атмосферного повітря за допомогою громадського контролю. В результаті розрахунки та аналітичні дослідження перетворюються у зрозумілі користувачеві тематичні карти забруднення атмосферного повітря міста PM2.5 та PM10.

Результати проведених досліджень опубліковані у роботах [108-110].

## **Розділ 4. Реалізація задач захисту атмосферного повітря міста Полтава в рамках проекту «Інтегрований розвиток міста»**

У четвертому підрозділі розглянута можливість імплементації Порядку здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря, враховуючи результати впровадження громадського моніторингу міста. Надані рекомендації щодо удосконалення існуючої системи моніторингу з огляду укомплектування сучасним автоматизованим обладнанням стаціонарних постів спостереження. Розроблені екологічні напрями планування розвитку міста Полтава.

### **4.1. Інтеграція порядку здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря**

Постанова Кабінету міністрів України «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря» від 14.08.2029 р. №827 розкриває поняття державного моніторингу атмосферного повітря як моніторинг, що здійснюється з метою забезпечення збирання, оброблення, збереження та аналізу інформації про якість атмосферного повітря, оцінювання та прогнозування її змін і ступеня небезпечності, розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень у галузі охорони атмосферного повітря та захисту навколишнього природного середовища, а також інформування населення про якість атмосферного повітря, вплив його забруднення на здоров'я та життєдіяльність населення [69]. У відповідності до постанови, місто Полтава є агломерацією – зоною, що становить місто з населенням понад 250000 осіб. Враховуючи зміни, внесені даною постановою, державний моніторинг міст України має ряд недоліків, висвітлених в попередніх розділах. Враховуючи створену мережу громадського моніторингу,

мова про яку йшла в третьому розділі роботи, результати напрацювань виступають допоміжним інструментом в імplementації постанови щодо здійснення моніторингу. Головними напрямками громадського моніторингу в рамках імplementації постанови можна виділити наступне:

- проведення незалежного оцінювання стану забруднення атмосферного повітря твердими частками PM2.5 та PM10 з подальшим обґрунтуванням встановлення пунктів державного моніторингу (враховуючи верхній та нижній пороги оцінювання за додатком 2 постанови);
- інформування населення щодо стану забруднення атмосферного повітря.

За пів року функціонування мережі громадського моніторингу в місті Полтава (01.09.2019-30.06.2020) спостерігалися підвищені концентрації твердих часток в атмосферному повітрі:  $\geq 20$  мкг/м<sup>3</sup> для PM2.5 та  $\geq 35$  мкг/м<sup>3</sup> для PM10. Дати, години та номери датчиків і відповідно концентрації забруднюючих речовин наведені в таблиці 4.1. Коментар до таблиці 4.1: виділені комірки позначають перевищення гранично допустимих значень.

Таблиця 4.1 – Підвищені концентрації твердих часток за громадським моніторингом

PM2.5				PM10			
дата	час	мг/м <sup>3</sup>	датчик	дата	час	мг/м <sup>3</sup>	датчик
8.12	18-00	20	2				
9.12	00-00	23	8				
22.12	06-00	20	4				
17.01	06-00	20	2				
18.01	00-00	20	2				
18.01	12-00	22	2				
29.01	12-00	20-29	2, 3	29.01	12-00	38	2, 3
1.02	06-00	21	2	1.02	06-00	35	2
15.02	18-00	20-30	2, 3, 9				
16.02	06-00	22	9				
17.02	00-00	20-28	2, 9				
24.02	06-00	23	9				
27.02	18-00	21	9				
1.03	00-00	20	9				
6.03	00-00	20	1-5, 9				
6.03	18-00	20-22	5, 9				

7.03	00-00	20-21	5, 9				
7.03	06-00	21	9				
7.03	12-00	21	9				
7.03	18-00	21-26	1, 2, 5, 8, 9				
9.03	00-00	20	9				
9.03	18-00	20-25	1-9				
10.03	00-00	21-25	1-5, 8, 9				
10.03	06-00	20-23	1, 5, 8, 9				
10.03	18-00	20-24	1, 2, 5, 7-9				
11.03	00-00	21	9				
19.03	12-00	20	9				
19.03	18-00	22	9				
20.03	00-00	21-28	1, 5, 8, 9				
21.03	18-00	20	9				
22.03	00-00	22	9				
26.03	06-00	20	9				
27.03	00-00	20	9				
27.03	06-00	20-23	8, 9				
30.03	06-00	21	9				
30.03	18-00	20-27	1-9	30.03	18-00	35	9
31.03	00-00	21	9				
6.04	06-00	21	9				
8.04	18-00	20-24	1, 5, 7-9				
18.04	00-00	35-69	1-9	18.04	00-00	47-85	1-9
18.04	06-00	29-40	1-9	18.04	06-00	40-51	1-9
19.04	12-00	49-61	1-9	19.04	12-00	60-70	1-9
15.06	00-00	20	8				

Слід відмітити, що перевищення граничних концентрацій в 3 рази спостерігалось 18-19 квітня, в період, коли по всій території України була встановлена надзвичайна запиленість атмосферного повітря у зв'язку з лісовими пожежами. На рисунку 4.1 представлено скріншот із розробленого сайту інформування населення за даний період. Говорячи про весь період спостережень (грудень 2019 року – липень 2020 року), якщо припустити, що тенденція стану забруднення атмосферного повітря до кінця року залишиться такою ж, то стан забруднення атмосферного повітря твердими частками, відповідно до постанови, не виходить за норми верхнього та нижнього порогу оцінювання.

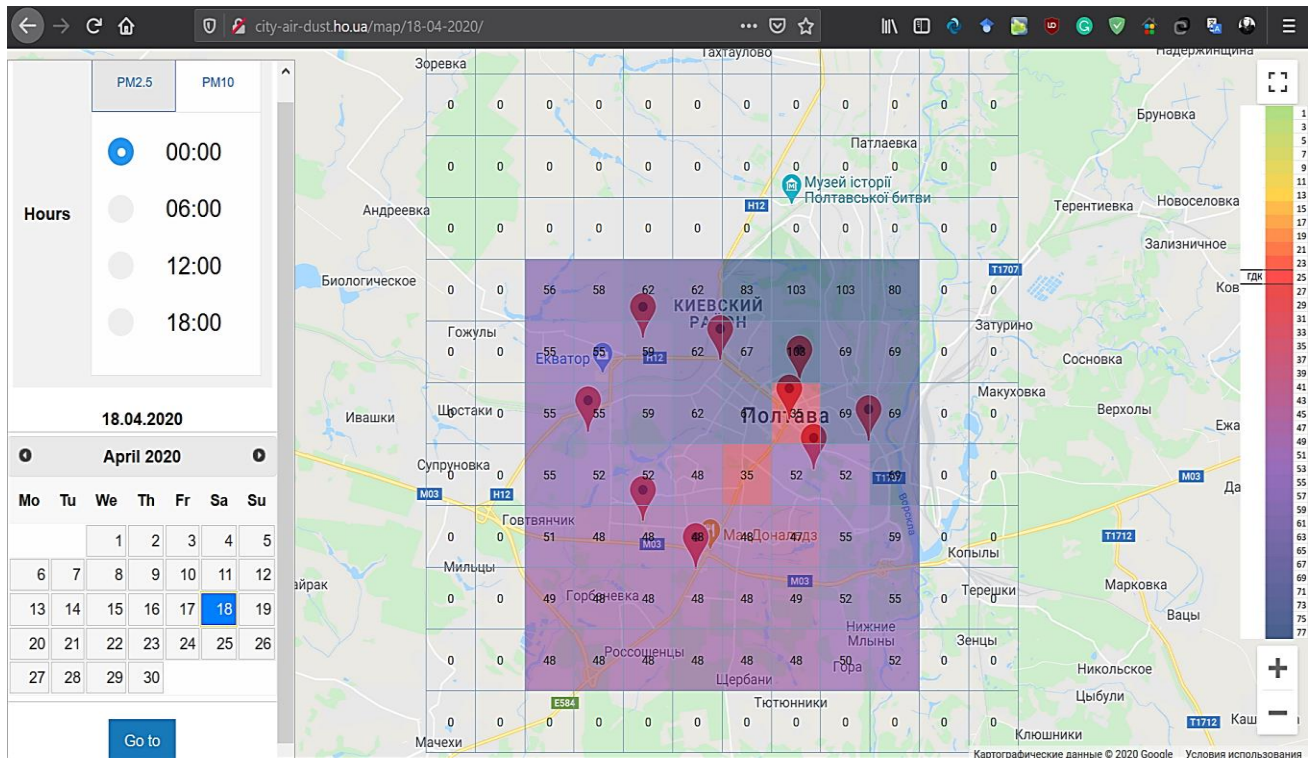


Рисунок 4.1 – Концентрація PM2.5 за 18 квітня 2020 року

З таблиці 4.1 також видно, що найчастіше підвищені концентрації твердих часток спостерігалися за показниками датчика №9 (Подільська районна рада). Провівши аналіз, щодо можливих причин таких показників, було встановлено, що найбільш вірогідним фактором впливу служить рельєф місцевості. Відповідно до рис. 4.2 у східній частині міста спостерігається зниження рельєфу приблизно на 80 м. Цей фактор за відповідних метеорологічних умов перешкоджає розсіюванню забруднюючих речовин на даній території міста. Тобто, за допомогою громадського моніторингу вдалося своєчасно встановити необхідність створення додаткового посту державного моніторингу атмосферного повітря. На території східної частини міста державні пункти спостереження були відсутні, а отже в програмах розвитку міста не враховувались можливості удосконалення екологічної складової міста.

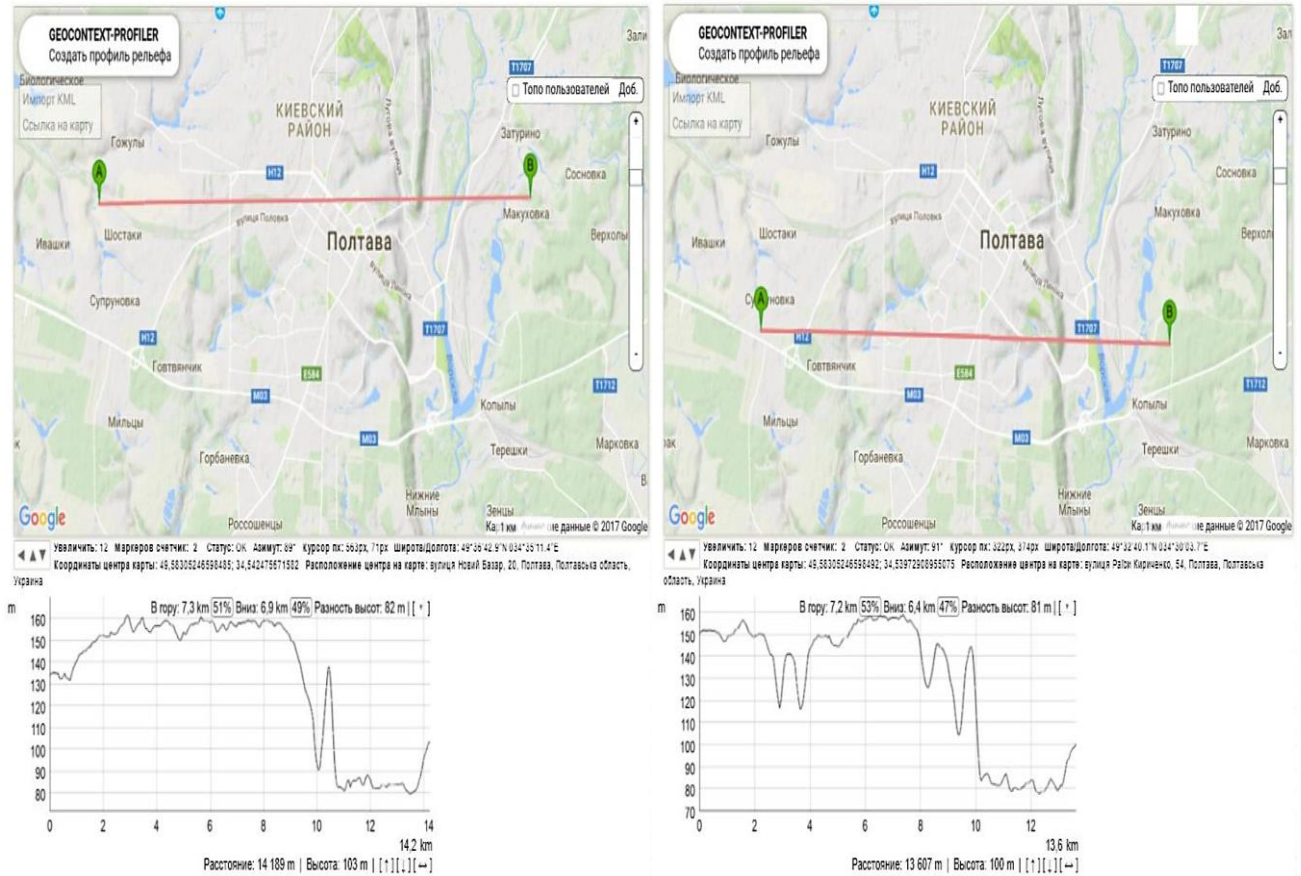


Рисунок 4.2 – Різниця висот рельєфу м. Полтава

Таким чином, мережа громадського моніторингу виступає допоміжним інструментом в імплементації постанови щодо здійснення моніторингу.

## 4.2. Рекомендації щодо впровадження удосконаленої системи моніторингу повітряного середовища міста

Головним недоліком існуючої системи моніторингу атмосферного повітря міста є відсутність автоматизованої реєстрації стану якості повітря. Для усунення даного недоліку необхідно провести удосконалення існуючої системи моніторингу за допомогою переобладнання постів спостереження за станом атмосферного повітря, чи створення, за необхідності, нових. Для цього, станції постів спостереження слід укомплектувати газоаналізаторами, які дають змогу проводити безперервний моніторинг атмосферного повітря. Враховуючи



проведені дослідження, необхідно зазначити, що характерними забруднювачами атмосферного повітря міста Полтава є тверді частки  $PM_{2,5}$  та  $PM_{10}$ , оксиди нітрогену  $NO$  та  $NO_2$ , і оксид карбону. Нижче наведено рекомендації щодо типів газоаналізаторів, та їх головні характеристики, що можуть бути використані при плануванні укомплектування постів спостереження.

Для аналізу атмосферного повітря на вміст оксидів нітрогену можливо застосувати газоаналізатор APNA-370 (рис. 4.3), що призначений для безперервного моніторингу залишкових концентрацій  $NO_x$ ,  $NO$ ,  $NO_2$  та  $NH_3$ . В аналізаторі використовується технологія перехресної модуляції потоків і незалежний внутрішній відбір сухого типу, який характеризується високою експлуатаційною надійністю та можливістю проводити безперервний аналіз без стороннього впливу на аналізований газ. [111]



Рисунок 4.3 – Газоаналізатор APNA-370

В аналізаторі використовується принцип подвійного перехресної модуляції потоків з використанням хімічної люмінесценції в комбінації з референтним розрахунковим методом. Така конструкція дозволяє використовувати один тип датчика, що забезпечує високу чутливість і стабільність результатів вимірювань в безперервному режимі роботи. Основні технічні характеристики: стандартні діапазони вимірювань -  $0..0,1/0,2/0,5/1$   $млн^{-1}$ , 4 додаткові діапазони, що перемикаються в межах  $0-10$   $млн^{-1}$  за умови десятикратного відношення границь,

передбачено автоматичне і ручне визначення діапазонів, а також дистанційне управління; межа виявлення - 0,5 ррб; температура експлуатації - 5...40 °С; напруга живлення - 220В, 50/60 Гц; габарити - 430 (Ш) x 550 (Г) x 221 (В) мм; маса - 21 кг.

Для аналізу атмосферного повітря на вміст оксиду карбону можливо застосувати газоаналізатор АРМА-370 (рис. 4.4), в основі роботи якого використовується модуляція за допомогою соленоїдного клапану. [112]



Рисунок 4.4 – Газоаналізатор АРМА-370

Принцип дії приладу заснований на перехресній модуляції потоку і технології поглинання інфрачервоного випромінювання, що дозволяє уникнути складної процедури налаштування оптичного устаткування і забезпечує стабільні та високочутливі вимірювання. В аналізаторі використовується інтерференційно-компенсаційний детектор типу AS. Нульовий газ автоматично генерується каталітичним окисленням аналізованого газу, в результаті чого відбувається перетворення CO в CO<sub>2</sub>. Це дозволяє знизити вплив інших елементів, що забезпечує отримання точних результатів вимірювань. У АРМА-370 не використовуються такі деталі, як віддзеркалюючі елементи, які можуть забруднитися. Це означає, що оптична система залишається чистою і забезпечує отримання стабільних результатів протягом тривалого часу. Основні технічні характеристики: стандартні діапазони вимірювань - 0...10/20/50/100 млн<sup>-1</sup>, 4



додаткові діапазони, що перемикаються в межах  $0...100 \text{ млн}^{-1}$  за умови десятикратного відношення границь, передбачено автоматичне і ручне визначення діапазонів, а також дистанційне управління; межа виявлення -  $0,02 \text{ млн}^{-1}$ ; температура експлуатації -  $5...40 \text{ }^\circ\text{C}$ ; напруга живлення - 220В, 50/60 Гц; габарити - 430 (Ш) x 550 (Г) x 221 (В) мм; маса - 16 кг.

Для аналізу атмосферного повітря на вміст твердих часток PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub> можливо застосувати аналізатор SM200 (рис. 4.5), який може здійснювати вимірювання як в автоматичному режимі в реальному часі (за принципом бета-аттенюації, вимірювання за допомогою лічильника Гейгера), так і здійснювати відбір проб на фільтрах, в процесі чого здійснюється визначення масової концентрації твердих частинок в повітрі (метод заснований на вимірюванні перепадів тиску потоку при його проходженні через фільтр). Також відібрана проба може бути використана для аналізу вмісту кадмію, нікелю, поліциклічних вуглеводнів та інших сполук. [113]



Рисунок 4.5 – Аналізатор SM200

Основний блок аналізатора може бути обладнаний насадками PM<sub>10</sub> або PM<sub>2.5</sub>, робоча швидкість вхідного потоку для яких становить  $2.3 \text{ м}^3/\text{год}$  або  $1.0 \text{ м}^3/\text{год}$  відповідно. Прилад оснащений опцією автоматичного калібрування, що

забезпечує надійність і достовірність отриманих при вимірюваннях даних, а також полегшує процес технічного обслуговування. Основні технічні характеристики: діапазон вимірювань – 0-1000 мкг/м<sup>3</sup>; межа виявлення – 0,5 мкг/м<sup>3</sup>; температура експлуатації - 5...35 °С; напруга живлення - 230В, 50/60 Гц; габарити - 440 (Ш) x 630 (Г) x 300 (В) мм; маса - 25 кг.

Наведене вище обладнання, та інші схожі за характеристиками моделі (наприклад, Teledyne T200 Н, ОС-2000, ОС-9200, ЕА033), дозволяють значно підвищити якість проведення моніторингу за станом атмосферного повітря в містах, та сприяють пришвидшенню імплементації таких постанов та керівних документів як Директива 2008/50/ЄС та Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря.

### **4.3. Екологічні напрями планування розвитку міста Полтава**

Показники міської стійкості - це інструменти, які дозволяють містобудівникам, керівникам міст та розробникам політики оцінити соціально-економічний та екологічний вплив, наприклад, сучасних міських проектів, інфраструктури, політики, системи видалення відходів, забруднення та доступ до послуг громадян. Вони дозволяють діагностувати проблеми та тиск, а отже, ідентифікувати зони, які можуть виникнути від вирішення проблем шляхом належного управління та науково обґрунтованих відповідей. Вони також дозволяють містам стежити за успішністю та впливом заходів, спрямованих на забезпечення стійкості [114]. Одним із таких показників (напрямів) є екологічна стійкість. [115]

При розробці планів розвитку важливо враховувати наступне [116]:

- без хороших даних, заснованих на моніторингу, неможливо розробити правильний напрям розвитку.
- необхідно встановлювати заходи щодо ефективності досягнення встановлених цілей.

- необхідно враховувати національні, географічні, культурні, фінансові та ін. відмінності при плануванні.
- набори показників розвитку змінюються з часом.
- зміна індикаторів (показників) також змінює систему підходу до планування, тому повинна переглядатись з часом.

Для успішного використання наявного екологічного потенціалу міста здійснено детальний експертний аналіз та прогнозування його перспективних змін на основі методики SWOT-аналізу. Дані аналітичних напрацювань враховують важливі результати експертних оцінок екологічного стану міста, виконані в попередні роки [117], та результати проведених еколого-соціологічних опитувань.

Екологічний аналіз є важливою частиною процесу планування стратегічного управління. SWOT (сильні сторони, слабкі сторони, можливості, загрози) [118]. Даний аналіз багатьма пропонується як аналітичний інструмент, який слід використовувати для класифікації значущих екологічних факторів як внутрішніх, так і зовнішніх.

SWOT не слід розглядати як статичний аналітичний інструмент з акцентом лише на його результатах. Його слід використовувати як динамічну частину процесу управління та розвитку [119]. Тобто він є однією з основ для подальшого планування.

Основним практичним орієнтиром даних аналітичних досліджень є визначення головних напрямів екологічного розвитку міста, які забезпечать Полтаві в майбутньому збереження довкілля, наявного природного потенціалу та покращення екологічної ситуації. Наведені в статті напрями планування розвитку міста є науково обґрунтованими та взаємопов'язаними, що пояснює причини встановлення вище вказаної мети та необхідність її досягнення.

Було виділено чотири головні напрями (рис. 4.6), які, на думку експертів й за результатами еколого-соціологічних опитувань, повинні враховуватись при стратегічному плануванні розвитку міста [77, 97, 120].

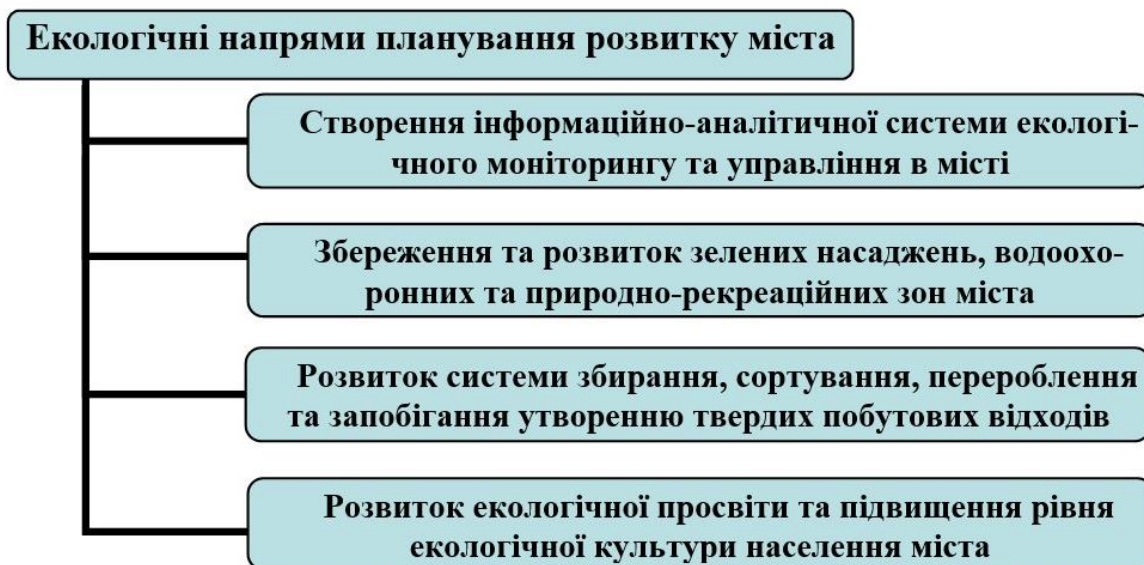


Рисунок 4.6 – Екологічні напрями планування розвитку міста

Напрямок 1: Створення інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу та управління в місті.

На даний час моніторинг екологічного стану міста не є регулярним й проводиться за обмеженим переліком окремих показників, що не дозволяє здійснювати об'єктивну оцінку поточного екологічного стану й прогнозувати вплив екологічних факторів на розвиток міста. Відповідно, інформаційна система контролю за параметрами та об'єктами навколишнього середовища фактично відсутня, що потребує створення за принципом «з нуля» та кардинальної зміни підходів щодо її створення.

Головними її цільовими діями (завданнями) є наступні:

1. Розробка програми та організація незалежної системи інформаційного забезпечення, моніторингу й лабораторного контролю за параметрами та об'єктами навколишнього середовища: якістю повітря й рівнем парникових газів; екологічним станом поверхневих водних об'єктів; гідрогеологічною ситуацією та якістю питних вод; кількісними та якісними параметрами системи водозабезпечення й водовідведення, зокрема ефективністю

очищення стічних вод; цільовим використанням та рівнем забруднення ґрунтів; кліматичними параметрами; шумовим впливом на середовище.

2. Організація системи раннього попередження та оперативного реагування на зміни стану об'єктів і параметрів навколишнього середовища.

3. Створення дієвої системи управління станом довкілля.

Інформаційно-аналітичну систему екологічного моніторингу та управління планується організувати в рамках території усього міста та прилеглих до нього приміських зон, концентруючись на найбільш вагомих об'єктах та зонах з точки зору їх впливовості на загальну екологічну ситуацію та умови життєдіяльності мешканців.

Контроль якості повітря, рівня парникових газів першочергово буде здійснюватись:

- 1) вздовж основних навантажених автомагістралей міста;
- 2) на межі санітарно-захисних зон (СЗЗ) діючих промислових підприємств міста;
- 3) у зонах щільних житлових забудов;
- 4) в усіх паркових зонах міста.

Контроль екологічного стану поверхневих водних об'єктів буде охоплювати водні об'єкти на території міста та прилеглих приміських зон, зокрема, р. Ворскла в межах міської території та ставки на території Дендропарку, парку культури та відпочинку «Перемога», Пушкарівської балки [121].

Контроль гідрогеологічної ситуації, якості питних вод будуть проводитись:

- 1) у зонах санітарної охорони п'яти водозаборів міста;
- 2) на п'яти водозаборах безпосередньо перед подачею у систему водогонів міста;
- 3) безпосередньо у місцях подачі води населенню («крани домівок»).

Контроль кількісних та якісних параметрів системи водозабезпечення та водовідведення міста, зокрема, ступеня очищення стічних вод буде включати

контроль складу зворотних вод після очищення на Затуринських і Супрунівських очисних спорудах та складу вод зливової каналізації міста.

Контроль цільового використання й рівня забруднення ґрунтів буде здійснюватись: у зонах житлових забудов, у паркових зонах, на межі санітарно-захисних зон промислових об'єктів і підприємств, у водоохоронних зонах, у межах природно-заповідних територій.

Контроль кліматичних параметрів буде поетапно організовуватись в межах усієї території міста, але першочергово в житлових масивах та зонах відпочинку населення (паркові та рекреаційні зони).

Контроль за шумовим впливом на середовище міста буде першочергово здійснюватись вздовж головних автомагістралей та в паркових зонах, що оточені автомагістралями.

Напрямок 2: Збереження та розвиток зелених насаджень, водоохоронних та природно-рекреаційних зон міста та їх елементів.

З метою забезпечення сталого розвитку території та екологічно збалансованого принципу природокористування в місті частково створена просторова структура природного екологічного каркасу, який включає території та об'єкти ПЗФ - 207,36 га, водні об'єкти – близько 94 га, прибережні захисні смуги – близько 355 га, ліси ДЛФ - 61,13 га, зелені насадження загального користування, рекреаційні території тощо. Однак «зелений каркас» міста потребує постійного збереження й оновлення, що буде сприяти значному покращенню умов проживання, оздоровленню міського середовища та підвищенню його екологічної стійкості до техногенних навантажень.

Ключовими завданнями для реалізації даного напрямку розвитку визначені наступні: інвентаризація та винесення меж у природу об'єктів зелених насаджень, водоохоронних та природоохоронних рекреаційних зон; наукові дослідження стійкості зелених насаджень до змін клімату; розробка програми збереження і розвитку зелених насаджень, об'єктів природно-заповідного фонду, природно-рекреаційного потенціалу та її реалізація; розвиток дендропарку – пам'ятки

садово-паркового мистецтва загального значення «Полтавський міський парк»; благоустрій та організація озеленення на територіях колишніх та діючих промислових підприємств; створення стійких до впливів зовнішнього середовища зон міста; підвищення рівня використання потенціалу та ролі КП «Декоративні культури» ПМР.

Базовими підходами, спрямованими на розвиток зелених насаджень, водоохоронних та природно-рекреаційних зон міста, є наступні [122]:

- оптимізація зелених насаджень у місті відповідно до етіології їх місцезростання і стійкості до біогенних та антропогенних факторів, зокрема, кліматичних факторів, та встановлення відповідних екологічних зв'язків;
- зонування та картографування території міста за рівнем стійкості зелених насаджень;
- картування біотопів як оселищ біорізноманіття в умовах міста і прилеглих територій;
- зонування, упорядкування та облаштування зон Полтавського міського парку відповідно до вимог чинного законодавства й винесення його меж у природу;
- оптимізація колекційного блоку дендрофлори Полтавського міського парку;
- створення нових, упорядкування та розширення існуючих газонних зон на території міста із посухостійких та районованих трав'яних сумішей;
- формування нових водоохоронних та природно-рекреаційних зон, необхідних для оздоровлення повітряного басейну, закріплення ґрунтів від ерозії на крутосхилих берегах та організації повноцінного відпочинку населення міста;
- упорядкування та благоустрій садово-паркових зон на територіях колишніх і діючих промислових підприємств;
- організація регулярного зволоження зелених насаджень міста у спекотний період;
- організація вертикального озеленення міста;

- організація заходів із профілактики і оздоровлення зелених насаджень, підданих оріто- та мікоінвазіям;
- здійснення координації вище перелічених напрямів робіт інформаційно-моніторинговим екологічним центром (ІМЕЦ).

Напрямок 3: Розвиток системи збирання, сортування, перероблення та запобігання утворенню твердих побутових відходів.

У місті Полтава проблеми твердих побутових відходів (ТПВ) є одними із неоднозначних і складних для вирішення з екологічної та соціально-економічної точки зору. Щорічно утворюється близько 600 тис. м<sup>3</sup> ТПВ, які вивозяться на звалище, а їх накопичений обсяг перевищує 3 млн. тонн, що спричиняє значний негативний вплив на усі компоненти довкілля й погіршує умови проживання людей у найближчих селах. Тому міське звалище ТПВ за своїм екологічним станом не повинне приймати відходи, а потребує професійного закриття й проведення технічної та біологічної рекультивації.

Сортування відходів не є централізованим, а здійснюється вручну на міському звалищі ТПВ із залученням сторонніх фізичних осіб-підприємців на договірній основі. Залишається неконтрольованим процес відділення із загальної змішаної маси небезпечних відходів та їх відокремлене зберігання й подальше перероблення. Важливою проблемою у місті залишаються негабаритні відходи, які спричиняють утворення несанкціонованих звалищ.

Отже, налагодження ефективної системи управління відходами потребує узгоджених активних дій з боку влади, бізнесу, громади, кожного громадянина [123].

Наступні завдання стануть ключовими для розвитку системи управління відходами у майбутньому: розробка стратегії та програми управління твердими побутовими відходами для міста Полтава на період до 2030 року й створення системи моніторингу за її реалізацією; створення адміністративно-організаційної системи управління відходами на базі муніципального співробітництва, включаючи небезпечні, медичні, будівельні відходи, та впровадження



роздільного збирання ресурсоцінних фракцій відходів; визначення нової території під полігон твердих побутових відходів; професійне закриття та рекультивація діючого міського звалища ТПВ [124].

Розвиток системи ефективного управління відходами в місті Полтава планується здійснювати шляхом:

- організації муніципального співробітництва в сфері поводження з відходами;
- створення публічно-приватного партнерства для ефективного вирішення питань у сфері поводження з відходами;
- створення муніципального комунального підприємства для вирішення питань поводження з відходами;
- оптимізаційного аналізу рішень щодо вибору сортувально-переробних технологій;
- будівництва сортувально-переробного комплексу (СПК) твердих побутових відходів;
- організації системи моніторингу за станом ґрунтів, підземних вод та атмосферного повітря в районі розташування закритого звалища відходів;
- організації навчально-підготовчої роботи серед представників комунальних підприємств посадових осіб органів місцевого самоврядування, громадських активістів тощо з питань поводження з ТПВ [123].

Напрямок 4: Розвиток екологічної просвіти та підвищення рівня екологічної культури населення міста.

В межах Полтавської області протягом останніх 10 років еколого-просвітницька діяльність належить до пріоритетів регіональної екологічної політики, що обумовило формування дієвих громадських організацій та формування активного молодіжного екологічного руху, створення умов у вищих навчальних закладах області для підготовки фахівців-екологів, видання спеціалізованої серії випусків «Екологічної бібліотеки Полтавщини», активного

залучення науковців, академічної спільноти та потенціалу студентів-екологів до розробки регіональних програм екологічного спрямування [97, 120].

Підвищення рівня культури населення можливе за умов системного підходу [125]. Відповідно актуальним є створення багаторівневої системи екологічної інформаційно-просвітницької діяльності для всіх верств населення та відвідувачів міста. Це можливо здійснити шляхом: організації експертної оцінки екологічної ситуації; організації системи інформування населення про стан довкілля в місті; організації системи підвищення кваліфікації посадовців щодо питань управління природоохоронною діяльністю; розробки програми екологічного виховання дітей та підлітків.

Розвиток екологічної просвіти та підвищення рівня екологічної культури планується здійснюватись серед всього населення міста із охопленням жителів приміських зон. Ключовими групами є студентська та шкільна молодь, педагоги, представники громадських організацій різного спрямування, представники органів місцевого самоврядування та державної влади.

Розвиток екологічної просвіти та підвищення рівнів екологічної культури населення міста буде здійснюватись шляхом:

- створення структури незалежної інформаційно-моніторингової діяльності та експертної екологічної ради;
- створення служби «Швидкої екологічної допомоги»;
- організації співробітництва наукових установ, вищих навчальних закладів, громадських організацій, державних природоохоронних установ для формування системи професійної підготовки посадовців щодо питань управління природоохоронною діяльністю;
- організації волонтерського руху соціально-екологічного спрямування;
- реалізації програми екологічного виховання дітей і підлітків;
- організації просвітницької роботи серед населення та інформаційних кампаній щодо поведження з ТПВ;

- створення «Візит-центру» на території Полтавського міського парку для централізованого проведення в ньому екологічних подій міста.

Представлені аналітичні напрацювання є складовою новітніх комплексних досліджень сучасного стану та перспектив розвитку міста Полтави, що базуються на даних SWOT-аналізу й враховують результати проведених еколого-соціологічних опитувань й фахових експертних оцінок. Виділені напрями (цілі) екологічного розвитку покладені в основу концепції інтегрованого розвитку міста. Дані напрацювання є науково-обґрунтованим базисом для розробки інвестиційних проєктів.

#### **4.4. Висновки до розділу**

Розглянута можливість імплементації Порядку здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря, враховуючи результати впровадження громадського моніторингу міста. За період спостережень (грудень 2019 року – липень 2020 року) стан забруднення атмосферного повітря твердими частками, відповідно до постанови, не виходить за норми верхнього та нижнього порогу оцінювання. Перевищення значень ГДК спостерігалися лише 9 діб за період спостережень. Встановлено, що причиною підвищених показників одного з датчиків служить рельєф місцевості, де у східній частині міста спостерігається зниження рельєфу приблизно на 80 м. Відмічено, що мережа громадського моніторингу виступає допоміжним інструментом в імплементації постанови щодо здійснення моніторингу.

Надані рекомендації щодо удосконалення існуючої системи моніторингу з огляду укомплектування сучасним автоматизованим обладнанням стаціонарних постів спостереження. Враховуючи проведені дослідження, необхідно зазначити, що характерними забруднювачами атмосферного повітря міста Полтава є тверді частки PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub>, оксиди нітрогену NO та NO<sub>2</sub>, і оксид карбону. Наведено рекомендації щодо типів газоаналізаторів, та їх головні характеристики, що можуть бути використані при плануванні укомплектування постів спостереження.

Розроблені екологічні напрями планування розвитку міста Полтава:

- створення інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу та управління в місті;
- збереження та розвиток зелених насаджень, водоохоронних та природно-рекреаційних зон міста та їх елементів;
- розвиток системи збирання, сортування, перероблення та запобігання утворенню твердих побутових відходів;
- розвиток екологічної просвіти та підвищення рівня екологічної культури населення міста.

Результати проведених досліджень опубліковані у роботах [126-127].

## Висновки

1. Розраховано розсіювання забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери від стаціонарних джерел викиду міста за допомогою програми ЕОЛ. Найбільше перевищення від допустимих значень спостерігається за пилом неорганічним. Обґрунтовано необхідність вирішення питання запиленості атмосферного повітря міста. Проведено аналіз стану забруднення атмосферного повітря за даними стаціонарних постів спостереження та державної статистики. За результатами спостережень середньорічних концентрацій в динаміці за 5 років (2013-2017рр.) відмічена тенденція стабілізації вмісту в повітрі більшості забруднюючих речовин, що визначаються. Проте, враховуючи зміни, внесені постановою Кабінету міністрів України від 14 серпня 2019 року №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря», в рамках спостереження за забрудненнями на стаціонарних постах відмічена відсутність проведення моніторингу таких речовин як РМ<sub>2,5</sub> та РМ<sub>10</sub>, та відсутність автоматизованих систем аналізу якості повітря, тобто моніторинг проводиться методом відбору проб.

2. Проаналізовано деяку залежність якості атмосферного повітря від показника метеорологічного потенціалу атмосфери міста та залежність якості атмосферного повітря. Удосконалено обрахування показника метеорологічного потенціалу атмосфери, в особливості його річного значення для міста Полтава (приведення коефіцієнту теплового потенціалу до середньорічних температур, та прив'язка до норм кількості опадів). Спостерігається певна залежність щодо спільного впливу коефіцієнтів вітрового потенціалу та потенціалу опадів, та ПМПА загалом на зниження індексу забруднення атмосфери пилом. Також спостерігається, що при збільшенні ПМПА дещо зростає забрудненість формальдегідом, СО та NO<sub>2</sub>, що можна пояснити різким зменшенням показників теплового потенціалу та потенціалу опадів. Нажаль, на даному етапі за відсутності доступних відкритих даних для оновлення існуючих результатів було

неможливо провести більш детальний аналіз зв'язку параметрів ПМПА та ІЗА. Тобто, це можливо здійснити лише за умови удосконалення існуючої в місті системи моніторингу за станом атмосферного повітря.

3. Здійснено порівняльний аналіз стану забруднення атмосферного повітря міст Лейпциг (Німеччина) та Полтава (Україна). Обґрунтовано, що порівняно з містами Європейського Союзу, в Полтаві дані щодо забрудненості атмосферного повітря забруднюючими речовинами, що визначаються на стаціонарних постах спостереження, не є загально доступними, тобто відповідна інформація про стан повітря в місті не є широко доступною для громадськості. Встановлено, що спостереження за якістю повітряного середовища міста Полтава не відповідає європейським принципам та перешкоджає проведенню більш глибоких та детальних аналізів. Наприклад, в точки зору обрахунку щоденного індексу забруднення атмосфери. Відмічено відсутність аналізу за PM2.5 та PM10 для м. Полтава, так як ці речовини не вимірюються на стаціонарних постах спостереження.

4. Виявлено ряд недоліків діючої системи моніторингу атмосферного повітря міста. Запропоновано та введено в дію мережу громадського моніторингу, що на час експерименту включила заміри за допомогою 9 датчиків визначення концентрації твердих часток. Надано рекомендації встановлення датчиків вимірювання та приклад оптимального розбиття сітки міста для ефективного вимірювання запиленості повітря міста, та для подальшого інформування населення.

5. Задля інформування населення щодо отриманих даних реалізовано веб-сайт для публікацій результатів вимірювання рівня забруднення атмосферного повітря за допомогою громадського контролю в площинному відображенні кінцевих значень забруднень. Сайт представляє собою одну сторінку з даними стану рівня забруднення атмосферного повітря за день. Карта абсолютно відпозиційована на всю висоту та ширину екрану. Зліва знаходиться плаваючий сайдбар, який є основним елементом для навігації. Він має наступні

елементи: таби для переключення між датчиками PM2.5 та PM10, в яких знаходяться перемикачі за кожні 6 годин даних та календар для навігації по дням. При переключенні табу та внутрішнього перемикача змінюється візуалізація даних на карті та зображення шкали забруднення для цього типу датчика. В результаті розрахунки та аналітичні дослідження перетворюються у зрозумілі користувачеві тематичні карти забруднення атмосферного повітря міста PM2.5 та PM10. Сайт завантажено на хостинг за адресою <http://city-air-dust.ho.ua/>.

6. На основі отриманих даних громадського контролю складено базу даних для порівняння залежності значень концентрацій PM2.5 від метеорологічних параметрів. Складено базу даних для встановлення взаємозв'язку з метеорологічними параметрами, виведено рівняння залежності їх впливу, та побудовано трьох вимірні моделі залежності забруднення повітря PM2.5 та наступних метеорологічних параметрів: температура повітря, швидкість вітру, вологість повітря.

7. Розглянута можливість імплементації Порядку здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря, враховуючи результати впровадження громадського моніторингу міста. За період спостережень (грудень 2019 року – липень 2020 року) стан забруднення атмосферного повітря твердими частками, відповідно до постанови, не виходить за норми верхнього та нижнього порогу оцінювання. Перевищення значень ГДК спостерігалися лише 9 діб за період спостережень. Встановлено, що причиною підвищених показників одного з датчиків служить рельєф місцевості, де у східній частині міста спостерігається зниження рельєфу приблизно на 80 м. Обґрунтовано, що мережа громадського моніторингу виступає допоміжним інструментом в імплементації постанови щодо здійснення моніторингу.

## Література

1. Конституція України: Закон від 28 червня 1996 р. № 254к/96-ВР.
2. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-ХІІ.
3. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707-ХІІ.
4. С.І. Сніжко, О.Г. Шевченко. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. – Київ: ВЕГО, МАМА, 86, 2006 рік. – 297 с.
5. Оцінка якості атмосферного повітря з використанням методів біомоніторингу – Найкращі соціальні проекти України – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://forum.o2.ua/ua/projects/17>.
6. Л.В. Димитрова. Епіфітні лишайники та мохоподібні як індикатори стану атмосферного повітря міста Києва: Автореферат. – Київ, КНУ, 2009. – 21с.
7. О.П. Бригас, І.В. Масберг та інші. Біоіндикація стану атмосферного повітря в зоні діяльності тваринницьких комплексів. «Агроекологічний журнал» №1 – Київ, 2014. – с. 40-42.
8. У.Дж. Мэнинг, У.А. Фелер. Біомоніторинг забруднення атмосфери за допомогою рослин. - М.: Гидрометеиздат, 1985. - 143с.
9. І.П. Суханова. Ліхеноіндикація якості повітряного середовища Дендропарку «Софіївка» НАН України. Збірка наукових праць Харківського національного педагогічного університету ім. Г.С. Сковороди. «Біологія та Валелогія». Вип. 14. – Харків, 2012. – с. 162-170.
10. Н.Л. Ричак, А.М. Свистунова. Оцінка якості атмосферного повітря урбосистеми методом ліхеноіндикації (на прикладі Держинського району міста Харкова). Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, №1070. Серія «Екологія», вип. 9. – Харків, 2013. – с.74-83.



11. М.Ф. Бойко. Характеристика мохоподібних як індикаторів стану навколишнього середовища. Чорноморський ботанічний журнал – том 6, №1. – Херсон, 2010. – с. 35-40.
12. М.Є. Рагуліна. Участь мохоподібних у процесах самовідновлення. Техногенно порушених екосистем Волино-Поділля та Передкарпаття: Дисертація. – Львів, ДПМ НАН України, 2015. – 206 с.
13. В.М. Вірченко, О.О. Орлов. Мохоподібні Житомирської області. – Житомир: Волинь, 2009. – 216 с.
14. О.В. Федотов, О.В. Чайка, О.Г. Метрусенко. Вплив бензопірену на інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів штаму *Pleurotus ostreatus* P-107: Стаття. Проблеми екології та охорони природи техногенного району, - №1 (12). – Донецьк, 2012. – с. 252-257.
15. Д.Л. Пляцук. Проведення інтегральної експрес-оцінки якості атмосферного повітря в умовах зміни промислової інфраструктури регіону: ISS №1729-3774. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Вип. 3/6 (75) – Харків, - 2015. - С. 58-63.
16. R. Bargagli, C. Barghigiani. Lichen biomonitoring of mercury emission and deposition in mining, geothermal and volcanic areas of Italy. *Environmental Monitoring and Assessment*. – 1991. – Vol. 16, Issue 3. – P. 265–275. doi: 10.1007/bf00397614.
17. Л.В. Доценко, А.С. Демиденко. Порівняльний аналіз методів визначення рівня забруднення атмосферного повітря. *Екологічна безпека*, №2(18), – Кременчук: КрНУ, 2014. – с. 71-74.
18. Н.С. Максюта, Ю.С. Голік. Аналіз стану забруднення атмосферного повітря м. Полтави. Збірник статей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів». – Харків, 2014. – С. 85-88.
19. Sean Daley. *Analysis of the Air Quality Health Index in Canadian Urban Centres – Canada*, 2010. – P. 241.

20. Air Quality Index (AQI) - A Guide to Air Quality and Your Health – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi>.

21. А.І. Горова, Ю.В. Бучавий, А.В. Павличенко та ін. Удосконалення методів оцінки якості атмосферного повітря із використанням рослин-індикаторів та геоінформаційних технологій. Екологічна безпека та природокористування. – 2014. – С. 58-53.

22. Геоінформаційні системи / Картографія – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrmap.com.ua/e-maps/geoinformatsijni-sistemi/>.

23. П.І. Копач, В.Д. Інін, М.А. Ємець. Комплексний кадастр природних ресурсів території як інформаційна основа вибору стратегії сталого розвитку. Екологія і природокористування: Збірник наукових праць. Вип. 2, Дніпропетровськ, 2000.

24. І.П. Ковальчук, Є.А. Іванов, Ю.М. Андрейчук. Моделювання стану природно-антропогенних систем з використанням ГІС-технологій. Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів: НУ «Львівська політехніка», вип. 65, 2004. – С. 105-110.

25. Б.В. Мокін, О.Г. Яворська, М.П. Боцула. Геоінформаційна аналітична система державного моніторингу довкілля Вінницької області. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – 2005. – 78 с.

26. E.J. Pebesma. Gstat user's manual. - Utrecht, The Netherlands, 2001. – 100 p.

27. С.П. Сонько, Ю.Ю. Косенко. Геоінформаційні системи в охороні довкілля, сільському та лісовому господарстві. – Умань, УНУС, 2013, – 103 с.

28. В. Ночвай, Р. Криваковська, О. Іщук. Використання ГІС у задачах управління якістю повітря / ISSN 2224-087x. Електроніка та інформаційні технології. Випуск 2.: 2012. – С. 154-163.

29. С.Ю. Вольська, О. Маргаф, Л.Г. Руденко. Геоінформаційна технологія: етапи розвитку, стан в Україні. Український географічний журнал №4, 1993. – С. 6-14.

30. Урбанізація і охорона природи. Клімат міста – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.duhzemli.ru/ohrana-prirody/29-klimat-goroda.html>.

31. О.Є. Линюк. Статистичний аналіз забруднення та охорони атмосферного повітря в Україні : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.03.01 "Статистика" – К., 2002. – 20 с.

32. О.М. Яворська. Удосконалення економічного механізму забезпечення охорони та якості атмосферного повітря : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.06 "Економіка природокористування і охорони навколишнього середовища". – Львів, 2009. – 20 с.

33. В.Д. Калугін, В.В. Тютюнник та ін. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки. Системи обробки інформації, №9(116), – Харків, 2013. – С. 204-216.

34. О.Г. Шевченко. Оцінка та прогнозування сучасного стану забруднення атмосферного повітря у м. Києві: Автореферат. – Київ, КНУ, 2009. – 18 с.

35. В.В. Бойко, Л.Д. Пляцук. Аналіз методів математичного моделювання розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері. Екологічна безпека: Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, вип. 6(65), – Кременчук, 2010. – с.1-4.

36. Л.Р. Сонькин. Синоптико-статистичний аналіз і короткотерміновий прогноз забруднення атмосфери. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 250 с.

37. А.Ю. Вараксин. Турбулентні потоки газу з твердими частками. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 192 с.

38. Н.Н. Беляев. Моделювання процесу розсіювання токсичного газу в умовах забудови. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – 2009. – вип. 29. – С. 83-85.
39. В.С. Бабков, Т.Ю. Ткаченко. Аналіз математичних моделей розповсюдження домішок від точкових джерел. Наукові праці ДонНТУ. – 2011. – вип. 13(185). – С. 147-155.
40. Б.Н. Корганбаєв. Розрахунок сумарних значень факторів оточуючого середовища, що впливають на організм людини. Гідрометеорологія і екологія. – 2005. № 4. – С.178-186.
41. Л.Д. Пляцук, В.В. Бойко. Оцінка впливу поля вітру та коефіцієнтів турбулентності при моделюванні розповсюдження викидів в атмосфері. Вісник КДПУ ім. М.Остроградського. – 2011. - № 1 (66). – Ч.1. – С. 141-144.
42. Л.Д. Пляцук, В.М. Шмандій. Передумови побудови моделі імовірнісного розподілу забруднюючих речовин в атмосфері. Екологічна безпека, №2(18), – Кременчук: КрНУ, 2014. – с. 56-61.
43. М.М. Біляєв, Т.І. Русакова. Комп'ютерна оцінка рівня забруднення атмосферного повітря під дією техногенних джерел. Збірник наукових праць НГУ, №54(36), – Дніпро, 2018. – с. 337-344.
44. Є.М. Кіптенко, М.П. Баштанник та ін. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря та його прогнозування в промислових містах України (на прикладі м. Луганська). Наукові праці УкрНДГМІ, вип. 265, – Київ, 2013. – с. 78-89.
45. Є.М. Кіптенко, Т.В. Козленко. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря в містах України. УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 288-297.
46. О.Г. Шевченко. Вплив інверсій на рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва. Український гідрометеорологічний журнал, №8, – Київ, 2011. – с. 5-10.

47. Г.П. Івус, А.Б. Семергей-Чумаченко, А.Ф. Мізевіч. Оцінка забруднення атмосферного повітря над Одесою пилом та діоксидом сульфуру у січні 2003-2007 рр. Вестник ГМЦ ЧАМ. - 2009. – С. 70-77.
48. Є.М. Кіптенко, Т.В. Козленко. Розроблення схеми короткотермінового прогнозу забруднення повітря для міста Луцька. Наукові праці УкрНДГМІ, вип. 256, – Київ, 2007. – с. 318-330.
49. Н.Н. Безуглова, Ю.А. Суковатов, К.Ю. Суковатов, І.А. Сутоїхін. Числове моделювання забруднення атмосферного повітря і підстилаючої поверхні в рішенні задач охорони повітря промислового району. – 2005. - №4. – С. 122-124.
50. М.Е. Берлянд. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
51. Л.А. Раменский, О.Г. Черкасова. Аэроклиматическая характеристика потенциала загрязнения воздуха в районе Кривого Рога. Труды УкрНИГМИ. – 1976. – Вып. 147. – С. 62-67.
52. И.Н. Пономаренко, Д.К. Огановская, З.И. Глущенко, Л.И. Гавриленко, Л.И. Сидоренко. О метеорологической обусловленности загрязнения воздуха. Труды УкрНИГМИ. – 1979. – Вып. 176. – С. 83-95.
53. И.Н. Пономаренко, О.И. Щепец, Д.К. Огановская. Аэросиноптические условия высоких уровней общего загрязнения воздуха в Киеве. Труды УкрНИГМИ. – 1977. – Вып. 154. – С. 89-99.
54. Г.П. Івус, Г.В. Хоменко та ін. Метеорологічні та синоптичні умови забруднення атмосферного повітря міста Одеси. Український гідрометеорологічний журнал, №10, – Київ, 2012. – с. 28-35.
55. О. Шевченко, Ю. Яценко, Н. Данілова. Особливості часових змін концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі міст України. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, №2(35), – Київ, 2016. – с. 24-29.

56. С.З. Поліщук, Л.В. Даценко та ін. Оцінка впливу метеорологічних факторів на стан забруднення атмосферного повітря м. Дніпропетровська (на прикладі формальдегіду). Строительство, материаловедение, машиностроение, – Дніпро, 2015. – с. 266-270.

57. С.В. Какарека, А.В. Мальчихина. Оцінка джерел та рівнів надходження формальдегіду в атмосферне повітря (на прикладі м. Гомель). Природные ресурсы. – 2011. – № 1. – С. 07–115.

58. О.Г. Шевченко, М.І. Кульбіда, С.І. Сніжко та ін. Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом. Український гідрометеорологічний журнал, №14, – Київ, 2014. – с. 5-15.

59. О.В. Киналь. Орокліматичні чинники забруднення атмосфери міських ландшафтів (на прикладі Чернівців). Наукові записки Вінницького педуніверситету, вип. 25, – Вінниця, 2013. – с. 215-218.

60. О. Моргоч. Кліматологічні дослідження ландшафтознавчого змісту: ретроспектива. Сучасний стан, майбутнє. Вісник Львівського університету. Серія географічна. – 2004. – Вип. 31. – С. 170-175.

61. N. Maksjuta, Yu. Golik. Analysis of atmospheric air of Poltava city. ISSN 2073-5057 Scientific journal «Ecological safety» Issue 1/2016 (21). – Kremenchuk: KrNU, 2016, pp. 60-63.

62. Офіційний веб-портал – Полтавська обласна державна адміністрація – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.adm-pl.gov.ua/page/poltavskiy-oblasniy-centr-z-gidrometeorologiyi-ukrayinskogo-gidrometcentru-dsns>.

63. Ю.С. Голік, В.А. Барановський, О.Е. Ілляш та ін. Екологічний атлас Полтавщини. – Полтава: Полтавський літератор, 2007. – 128 с.

64. А.В. Маренич, В.С. Бахарєв, М.М. Мороз. Виконання комплексу завдань моніторингу атмосферного повітря за допомогою пересувної муніципальної екологічної лабораторії в м. Кременчук. Науковий журнал «Екологічна безпека». Кременчук: КрНУ, 2017. № 1 (23). С. 32–39.

65. А.В. Маренич. Розробка системи моніторингу атмосферного повітря урбосистем із застосуванням пересувних екологічних лабораторій: Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Кременчук, КрНУ, 2017. – 23 с.

66. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) ( ДСП-201-97) – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97>.

67. 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 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0050&from=EN>.

68. В.В. Морозов, Ю.Л. Попов. Порівняння методологій обґрунтування ГДК в атмосферному повітрі в Україні та країнах ЄС і США – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2001/feht/polupaenko/diss/lib/col01.htm>.

69. Постанова Кабінету міністрів України від 14 серпня 2019 року №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря» – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF>.

70. Luft in Sachsen – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.luft.sachsen.de/>.

71. Aktueller Luftgüteindex in Sachsen (12.10.2009) – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.luft.sachsen.de/img/klima/LQI\\_rda\\_x\\_87.jpg](https://www.luft.sachsen.de/img/klima/LQI_rda_x_87.jpg).

72. Н.С. Максюта, Ю.С. Голік. Комплексна оцінка атмосферного повітря міста Полтави. Збірник матеріалів 4-ого Міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (21–23 вересня 2016 р.). – Львів, 2016, с.22.

73. Н.С. Максюта, Ю.С. Голік. Перспективи комплексного аналізу стану атмосферного повітря (на прикладі міста Полтава). Матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів «Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку» (7–15 листопада 2016 р.). – Ірпінь: УДФСУ, 2016, с.139–141.

74. Н.С. Максюта, Ю.С. Голік. Перспективи аналізу стану забруднення атмосферного повітря міста Полтава. Матеріали IV Міжнародної наукової конференції молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» (1–2 грудня 2016 р.). – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016, с.129–131.

75. Н.С. Максюта, Ю.С. Голік. Актуальність дослідження стану забруднення атмосферного повітря міста Полтава. Збірник наукових праць за матеріалами IX Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки» (7–9 грудня 2016 р.). – Полтава: ПолтНТУ, 2016, с.129–132.

76. Н.С. Максюта. Обґрунтування проведення оцінки стану атмосферного повітря міста за допомогою методів біоіндикації. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства» (27–28 квітня 2017 р.). – Тернопіль: Крок, 2017, с.71–73.

77. Концепція інтегрованого розвитку міста «Полтава 2030», затверджена рішенням позачергової дванадцятої сесії Полтавської міської ради сьомого скликання від 21 грудня 2018 року – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://city2030.org.ua/sites/default/files/documents/Poltava%202030%20FINAL\\_new1-compressed\\_0.pdf](https://city2030.org.ua/sites/default/files/documents/Poltava%202030%20FINAL_new1-compressed_0.pdf).

78. Головне управління статистики у Полтавській області – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pl.ukrstat.gov.ua/>.



79. N. Maksiuta, Yu. Golik. Comprehensive study of atmospheric pollution in cities. Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво, №1(50), Полтава: ПолтНТУ, 2018, С. 285–291, DOI: 10.26906/znp.2018.50.1087.

80. Постанова КМУ від 13.12.2001 № 1655 "Про затвердження Порядку ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря" – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1655-2001-%D0%BF>.

81. Методологічні положення з організації державного статистичного спостереження з охорони атмосферного повітря, затверджені наказом Держстату від 23.03.2016 №44 зі змінами, затвердженими наказами Держстату від 13.01.2017 №9 та від 19.02.2019 №84 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/metod\\_polog/metod\\_doc/2019/84/mp\\_oh\\_ap.docx](http://www.ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2019/84/mp_oh_ap.docx).

82. Прес-випуск головного управління статистики у Полтавській області №11-81/182-19 від 03.06.2019 р.

83. Статистичний щорічник Полтавської області за 2017 рік, за заг. ред. Л.В. Калашник. – Полтава: 2018, 352 с.

84. Туристичний портал регіону Лейпцигу – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.leipzig.travel/de/>.

85. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Полтавській області у 2015 році. Звіт департаменту екології та природних ресурсів. – Полтава: 2015, 170 с.

86. Weather data – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.meteomanz.com>.

87. Umwelt in Sachsen – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.umwelt.sachsen.de/>.

88. Aufgaben, Ausstattung und Betrieb des Luftmessnetzes – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.luft.sachsen.de/aufgaben-ausstattung-und-betrieb-des-luftmessnetzes-15058.html>.

89. N. Maksiuta, Yu. Golik. Comparative Analysis of Pollution of Atmospheric Air in Cities (an Example of Leipzig and Poltava). ISSN 2366-2565 Proceedings of CEE 2019 - Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering, volume 47, pp. 260-267, DOI: 10.1007/978-3-030-27011-7.

90. О.Е. Ілляш, Ю.В. Комлева. Аналіз впливу кліматичних факторів на рівень забруднення атмосфери м. Полтави. Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна серія «Екологія», вип. 16 – 2017, С. 73-77.

91. Т.С. Селегей. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработать усовершенствованный комплексный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы (на примере территории Западной Сибири). – Новосибирск, 2014. 132с.

92. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Авторського колективу: О. Шевченко, О. Власюк, І. Ставчук, М. Ваколюк, О. Ілляш, А. Рожкова. – 2014, 74с.

93. A. Shvidenko. Non-borea Forests of Eastern Europe in a Changing World: the Role in the Earth Systems. Regional Aspects of Interactions in Non-boreal Eastern Europe. – Springer Science+Business Media B. V. 2009. – P. 123–133.

94. Б.С. Титов. Мировой опыт использования понятия климатического градостроения. Экология градостроительства, №5. – 2012. – с.89-96.

95. Yasin Toparlar, Bert Bloken, Adelya Khayrullina. Феномен городского острова тепла. Здания высоких технологий. – Весна, 2015. – с.72-79.

96. Ю.С. Голік, В.М. Калініченко, В.П. Волік, М.Є. Шиянов, Н.С. Максюта. План дій сталого енергетичного розвитку міста Полтави до 2020 року, затверджений рішенням дев'ятої сесії Полтавської міської ради сьомого скликання від 31 січня 2017 року, 65 с.

97. В.О. Онищенко, Ю.С. Голік, О.Е. Ілляш, Н.С. Максюта та ін. Регіональна програма охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням регіональних

пріоритетів Полтавської області на 2017–2021 роки («Довкілля – 2021»). – Полтава, 2017. – 131с.

98. N. Maksiuta, Yu. Golik, O. Iliash. Urban "heat-island effect" and its connection with architectural and climatic features on the example of Poltava. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2) (2018), published on: 20-06-2018, pp. 597-601, DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14598.

99. Ю.С. Голік, О.Е. Ілляш, Н.С. Максюта. Кліматичні особливості міста та острів тепла. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Архітектура: Естетика+Екологія+Економіка». — Полтава: ПолтНТУ, 2019. – С. 92-93.

100. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» від 30.03.1998, № 391.

101. Wan, K., Shackley, S., Doherty, R. M., Shi, Z., Zhang, P., & Golding, N. (2020). Science-policy interplay on air pollution governance in China. *Environmental Science & Policy*, 107, 150-157. doi:10.1016/j.envsci.2020.03.003.

102. Payne-Sturges, D. C., Schwab, M., & Buckley, T. J. (2004). Closing the research loop: A risk-based approach for communicating results of air pollution exposure studies. *Environmental Health Perspectives*, 112(1), 28-34. doi:10.1289/ehp.6354.

103. Morello-Frosch, R., Brody, J. G., Brown, P., Altman, R. G., Rudel, R. A., & Pérez, C. (2009). Toxic ignorance and right-to-know in biomonitoring results communication: A survey of scientists and study participants. *Environmental Health*, 8(1). doi:10.1186/1476-069x-8-6.

104. Mendes, J. F., Silva, L. T., Ribeiro, P., & Magalhães, A. (2009). An urban environmental monitoring and information system. *Air Pollution XVII*. doi:10.2495/air090101.

105. Hurley, P. J. (1999). The air pollution model (TAPM) version 1: Technical description and examples. Aspendale.

106. Sofiev, M., Vira, J., Prank, M., Soares, J., & Kouznetsov, R. (2013). An outlook of System for Integrated modeLling of Atmospheric coMposition SILAM v.5. Air Pollution Modeling and Its Application XXII NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 397-400. doi:10.1007/978-94-007-5577-2\_67.

107. Перелік програмних продуктів в галузі охорони атмосферного повітря – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://menr.gov.ua/content/perelik-programnih-produktiv-v-galuzi-ohoroni-atmosfernogo-povitrya.html>.

108. Holik Yu., Maksiuta N. Establishment of a network for the public atmospheric air monitoring and informing the population. Technology audit and production reserves (2020) – №4/3(54), pp. 36-40, DOI: 10.15587/2312-8372.2020.210376.

109. Голік Ю.С., Ілляш О.Е., Максюта Н.С. Концепція створення громадського моніторингу стану забруднення атмосферного повітря в місті Полтава. Збірник наукових праць III Міжнародної азербайджансько-української науково-практичної конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2020», 1 – 2 червня 2020 року – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка», 2020. – С. 271-273.

110. Голік Ю.С., Максюта Н.С. Громадський моніторинг як інструмент контролю стану атмосферного повітря. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції «ENVIRONMENT PROTECTION - 2020», 5 червня 2020 року. Випуск 1. – Київ: Київського національного університету будівництва і архітектури, 2020. – С. 22-23.

111. APNA-370 Газоаналізатор оксидів нітрогену – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.horiba.com/ru/process-environmental/products/ambient/details/apna-370-ambient-nox-monitor-274/>.

112. APMA-370 Газоаналізатор оксиду карбону – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.horiba.com/ru/process-environmental/products/ambient/details/apma-370-ambient-carbon-monoxide-monitor-270/>.

113. Аналізатор твердих часток PM2.5 / PM10 (аналізатор пилю) OPSIS SM200 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avanta.by/index.pl?act=PRODUCT&id=14>.

114. European Union (2015) In-depth report: indicators for sustainable cities.

115. Wced our common future: report of the world commission on environment and development Oxford university press, Oxford. (1987), pp. 1–300, especially point, particularly chapter 2, III – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.

116. Food and agriculture organization of the united nations (2002) Pressure-state-response framework and environmental indicators – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/lead/toolbox/refer/envindi.htm>.

117. Голік Ю., Ілляш О. (2014) Навколишнє середовище Полтавської області. Копі центр, Полтава, с. 265.

118. SWOT analysis tutorial indicators – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://online.visualparadigm.com/tutorials/swot-analysis-tutorial/>.

119. Pickton, D.W., Wright S. (1998) What's SWOT in strategic analysis? / Strategic Change, 7(2), pp. 101-109.

120. Головка В.А., Онищенко В.О., Голік Ю.С., Ілляш О.Е., Пругло О.Е., Рева Е.В. (2017) Комплексна програма поводження з твердими побутовими відходами в Полтавській області на 2017 - 2021 роки. Полтава, с. 134.

121. Stepova O.V. (2016) Analysis of phosphate pollution of surface water bodies of Poltava region / Bulletin of the Kharkiv National Karazin University «Ecology series», issue 14, pp. 78-82.

122. Smoliar N.O. (2018) Urban green zones planning concept and ecological functionality (through the example of Poltava, Ukraine) / N.O. Smoliar, V.I. Bredun, O.M. Toronchenko // International Journal of Engineering & Technology, vol. 7(3.2), pp. 522-527

123. Tolkovanova V.V., Illyash O. (2018) Solid waste management in the context of local self-government development and inter-municipal cooperation / Training manual, Kyiv, pp. 367.

124. Golik Yu., Illyash O, Bilous M. (2017) Subregional solid waste management strategy for Poltava region / Journal «Environmental Safety» issue 1/2017 (23), pp. 20-25.

125. Golik Yu., Illyash O. (2002) Formation of professionals training system in the field of waste management / The collective monograph «The development of the natural sciences in the countries of the European Union in view of the challenges of the 21st century», «Izdevnieciba «Baltija Publishing», Latvia, pp. 15-19.

126. Голік Ю.С., Ілляш О.Е., Чухліб Ю.О., Максюта Н.С. Екологічні напрями планування розвитку міста Полтави. Збірник наукових праць II Міжнародної українсько-азербайджанської конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2019», 23 – 24 травня 2019 року – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – С. 249-251.

127. Golik Yu., Illiash O., Chuhlib Yu., Maksjuta N. Environmental areas of Poltava planning development. ISSN 2366-2565 Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Building Innovations (2020) - Lecture Notes in Civil Engineering, pp. 375-383, DOI: 10.1007/978-3-030-42939-3.

## Додатки

**Додаток А:** Карти розсіювань забруднюючих речовин (2015 р.):

- 301 Діоксид нітрогену
- 308 Кислота борна
- 316 Водень хлористий
- 317 Водень ціанистий
- 322 Кислота сірчана
- 323 Кремнію діоксид
- 326 Озон
- 328 Сажа
- 330 Ангідрид сірчистий
- 333 Сірководень
- 342 Фтористий водень
- 343 Фториди добре розчинні неорганічні
- 344 Фториди погано розчинні неорганічні
- 346 Фосфор чотирихлористий
- 348 Кислота ортофосфорна
- 349 Хлор
- 402 Бутан
- 403 Гексан
- 406 Поліетилен
- 410 Метан
- 521 Пропілен
- 528 Ацетилен
- 612 Толуол
- 616 Ксилол
- 703 Бенз(а)пірен
- 827 Вініл хлористий

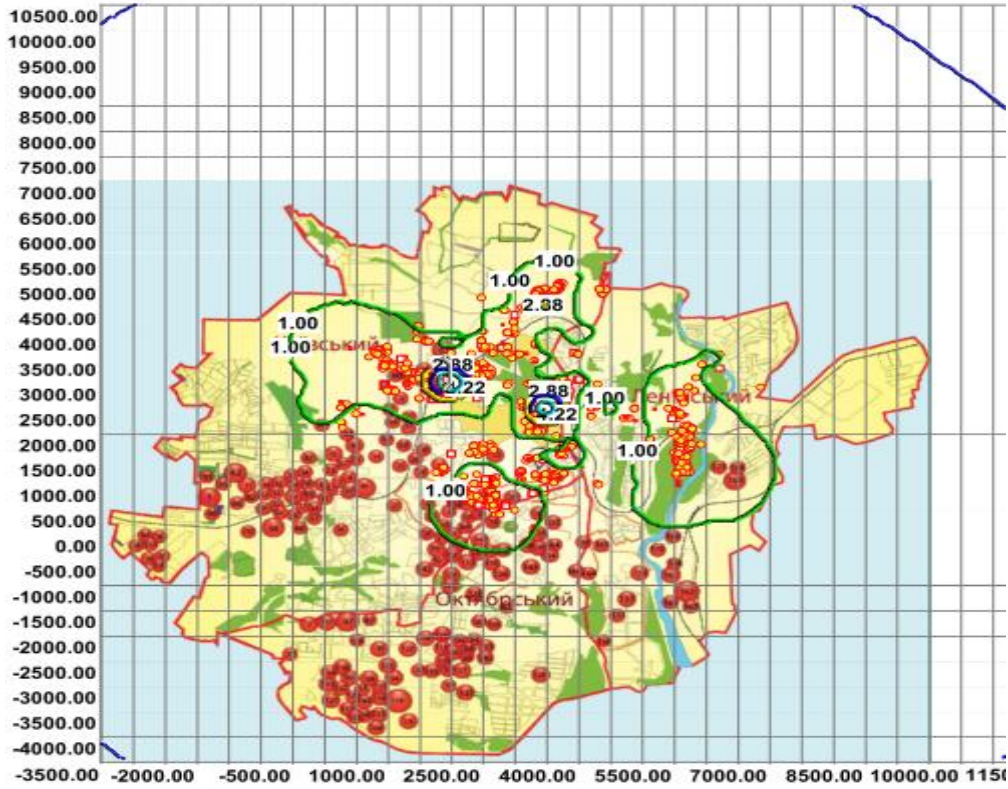
- 882 Тетрахлоретилен
- 902 Трихлоретилен
- 1042 Спирт бутиловий
- 1048 Спирт ізобутиловий
- 1051 Спирт ізопропіловий
- 1052 Спирт метиловий
- 1061 Спирт етоловий
- 1071 Фенол
- 1078 Етиленгліколь (етадіоль)
- 1081 Спирт полівініловий
- 1105 Діетиловий ефір
- 1210 Бутилацетат
- 1232 Метиловий ефір метакрилової кислоти
- 1240 Етилацетат
- 1246 2-Етоксиетанол
- 1247 Ефір 3,5-дітретбутил-4-гідроксифенілпропіонової кислоти
- 1301 Акролеїн
- 1314 Альдегід пропіоновий
- 1317 Ацетальдегід
- 1325 Формальдегід
- 1401 Ацетон
- 1555 Кислота оцтова
- 1716 Одорант СМ
- 2425 Фурфурол
- 2704 Вуглеводні граничні с12-с19
- 2732 Керосин (Гас)
- 2735 Масло мінеральне нафтове
- 2747 Синтанол дс-10
- 2750 Сольвент нафта



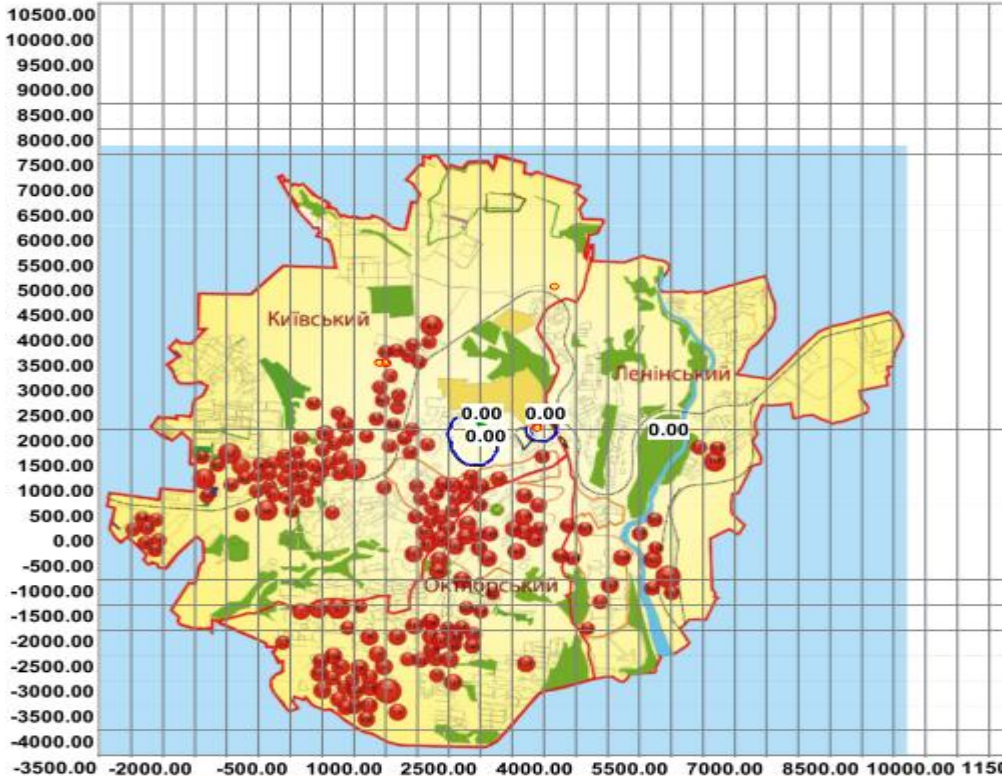
- 2752 Уайт-спірит
- 2902 Суспендовані частинки, недиференційовані за складом
- 2903 Зола сланцева
- 2907 Пил неорганічний, який містить діоксид кремнію у % і нижче 70
- 2908 Пил неорганічний, який містить діоксид кремнію у % 20-70
- 2909 Пил неорганічний, який містить кремнію у % і нижче 20
- 2911 Пил комбікормовий
- 2912 Пил кісткового борошна
- 2914 Пил (неорганічний) гіпсового в'язучого з фосфогіпсу з цементом
- 2915 Пил скловолокна
- 2917 Пил хлопковий
- 2918 Пил цементного виробництва
- 2920 Пил шерстяний
- 2921 Пил полівінілхлориду
- 2922 Пил поліпропіленовий
- 10094 Кальцію хлорид
- 10152 Натрію ортофосфат
- 10172 Пил поліаміда
- 10178 Пил фенолформаьдегідної смоли резольного типу
- 10226 Титану діоксид
- 10265 Емульсон
- 10279 Полівінілбутираль
- 10292 Пил абразивний
- 10293 Пил деревини
- 10304 Пропан
- 10355 Пил крохмалю
- 10361 Пил борошна
- 10363 Пил цукру, цукрова пудра
- 10368 Пил азбестовий

- 10400 Пил гумовий
- 10414 Пил металічний
- 10417 Пил зерновий
- 10428 Пил текстоліту
- 10431 Пил абразивно-металевий
- 10433 Пил графітовий
- 10678 Пил фенопластів фенольного типу
- 10937 Пил каучуку
- 10943 Кислота лимонна
- 10949 Лігносульфанат технічний модифікований гранульований на сірчано кислому натрію (ЛСТМ-Г)
- 10951 Ламінофор КТЦ-1 /по ітрію/ пил
- 10982 Пил акрилонітрилбутадієнстирольних пластиків
- 11277 Кальцію карбонат (вапняк (пил))
- 11510 Аерозоль лакофарбових матеріалів
- 11518 Пил лушпиння соняшника
- 11523 Пил насіння соняшника
- Група сумації 3
- Група сумації 4
- Група сумації 5

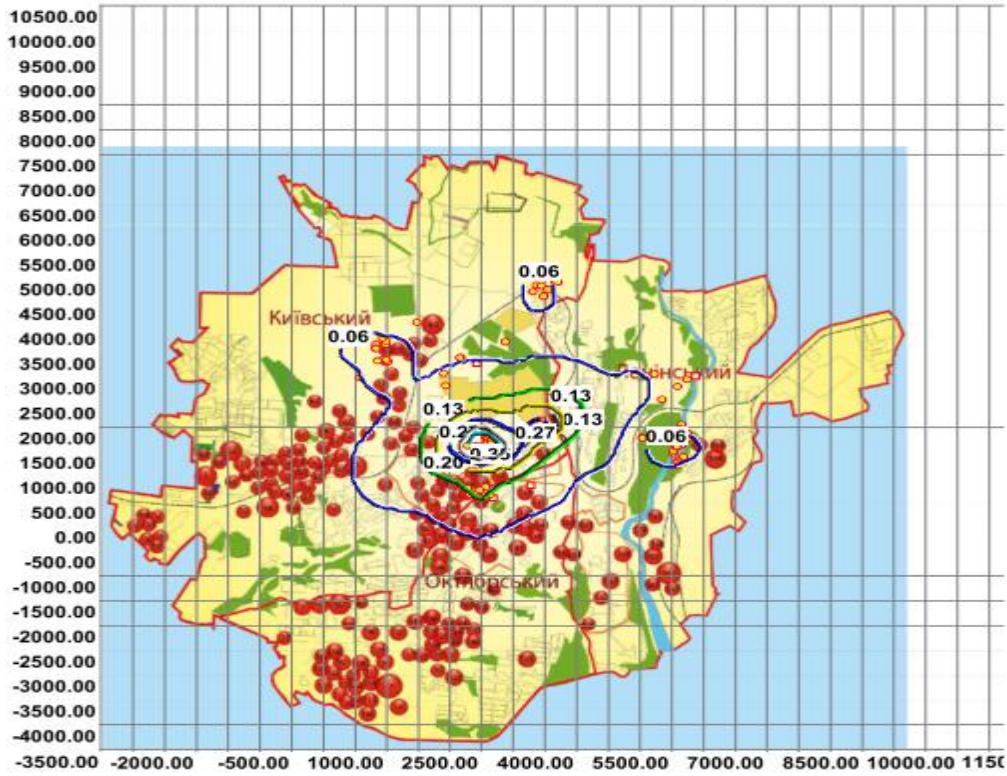
301 Азоту двоокис



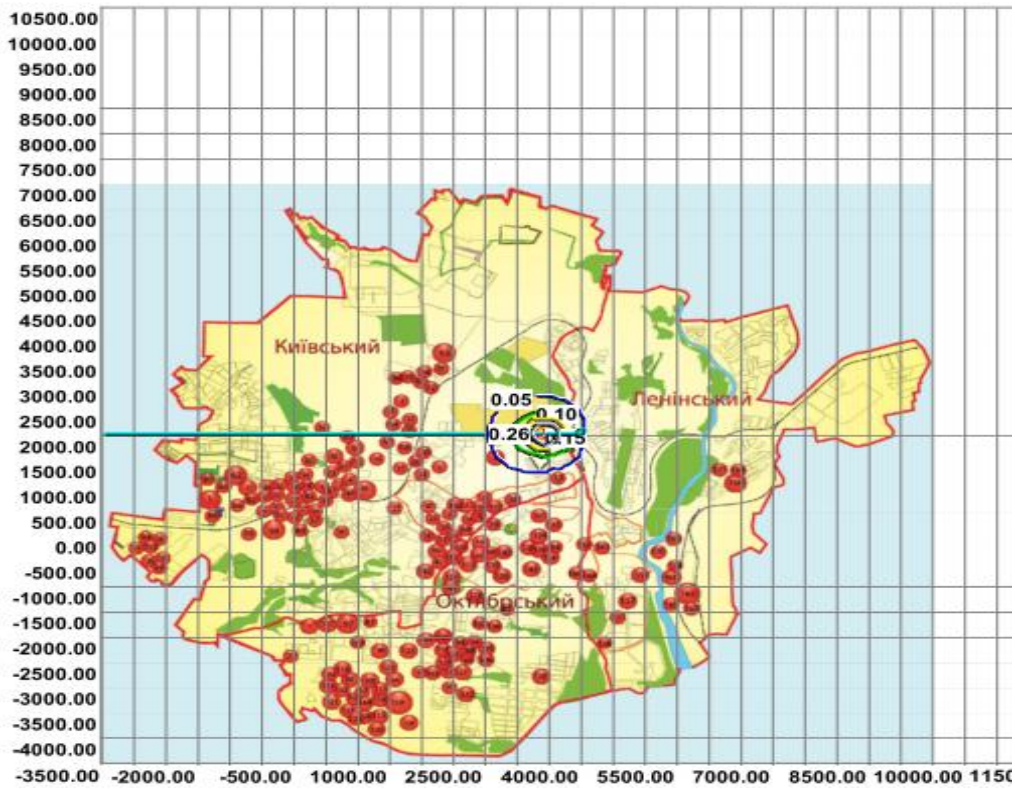
308 Кислота борна



316 Водень хлористий

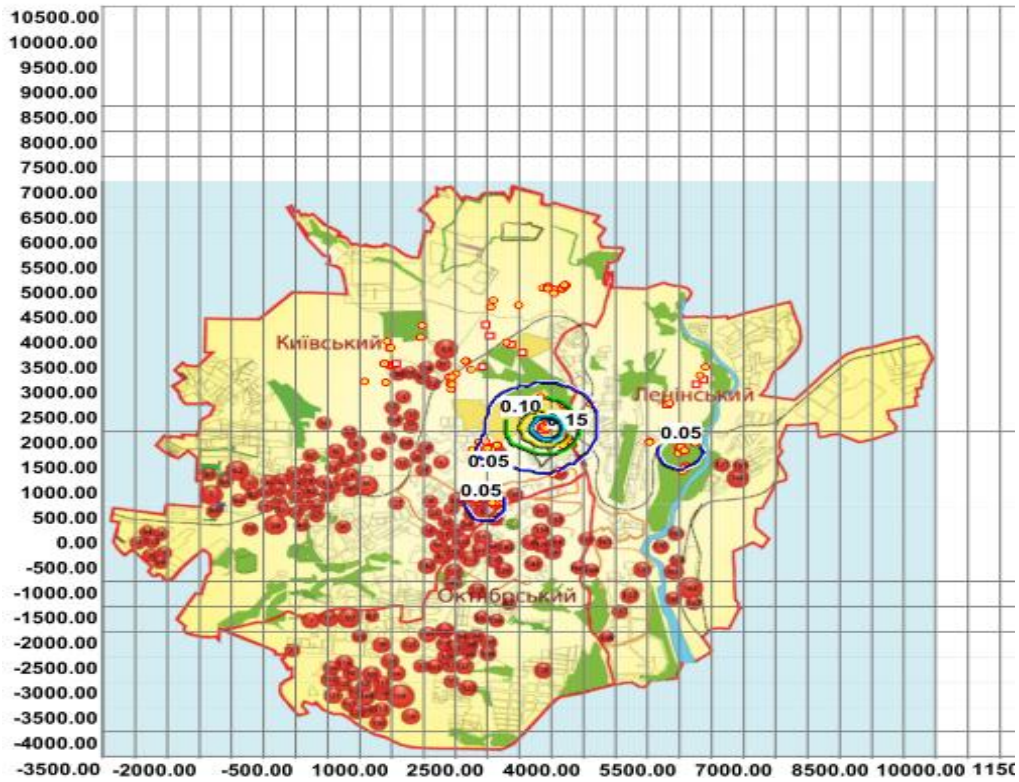


317 Водень ціанистий

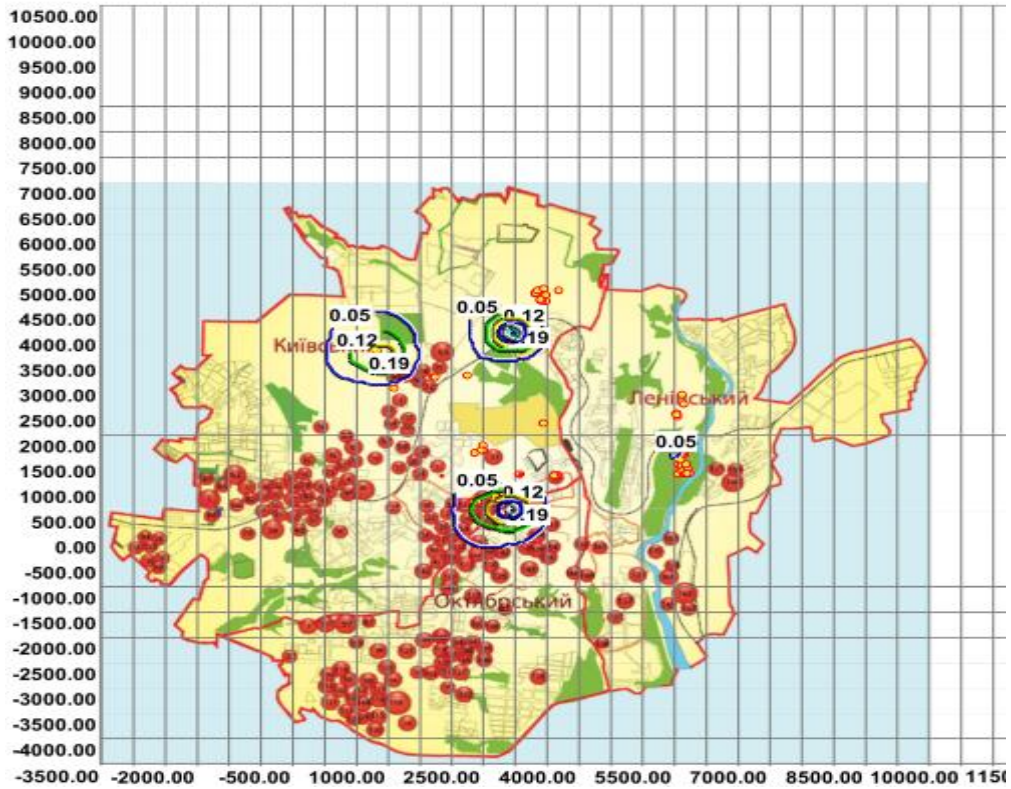




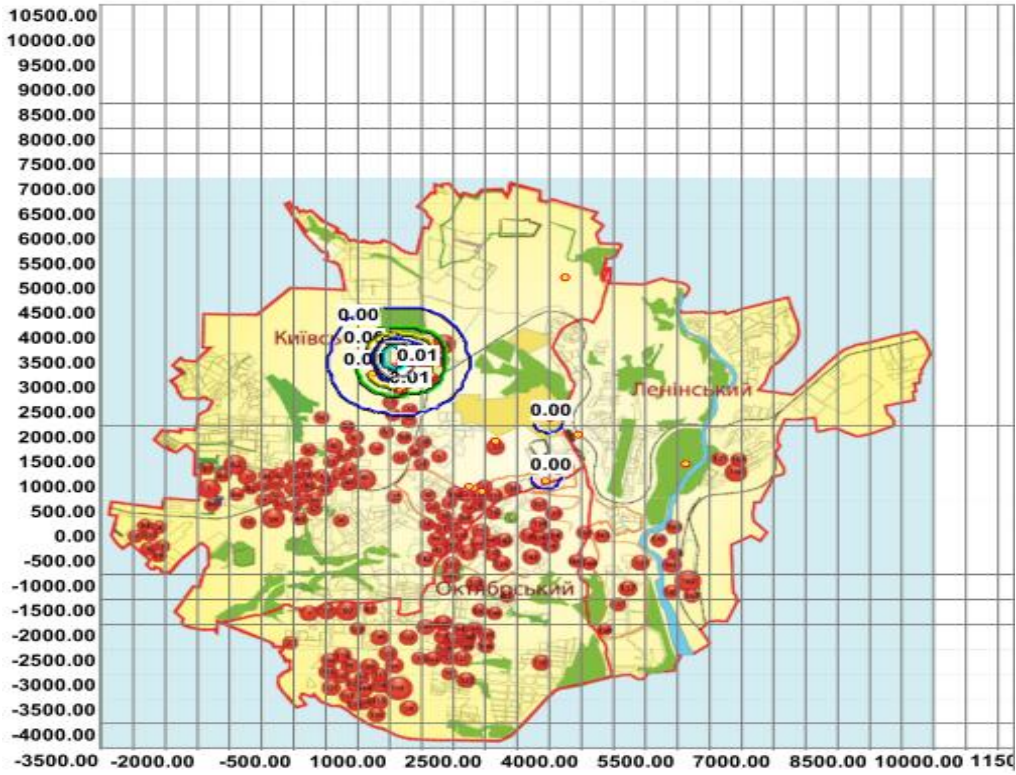
322 Кислота сірчана



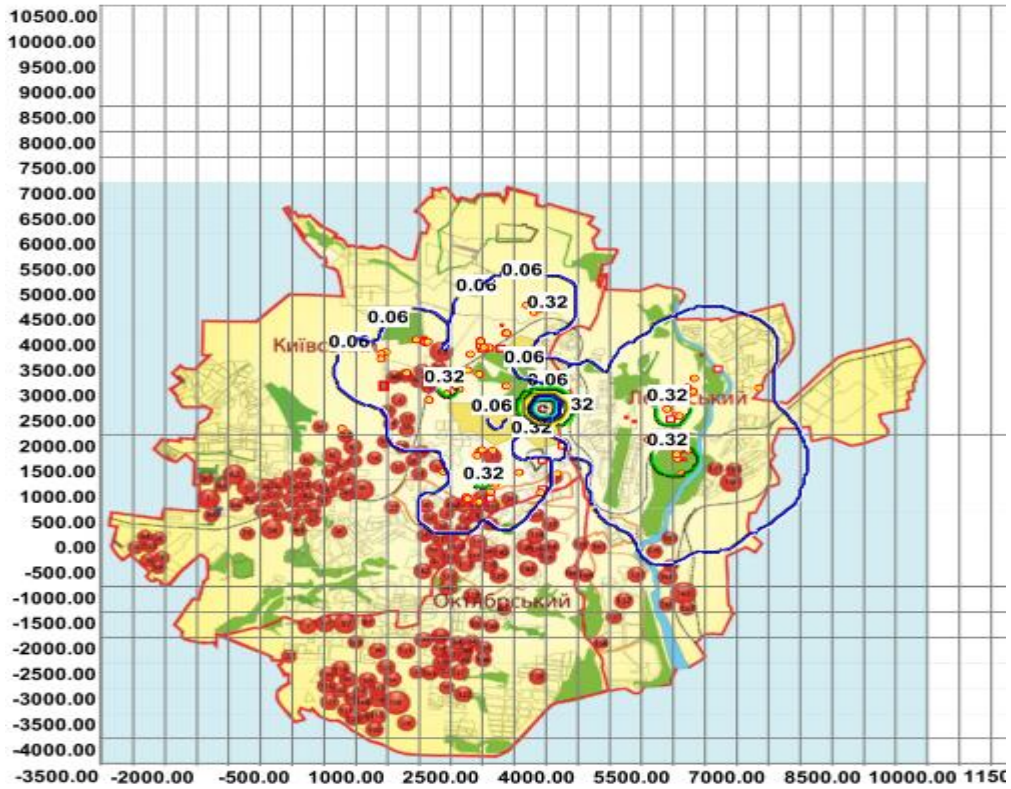
323 Кремнію двоокис



326 Озон

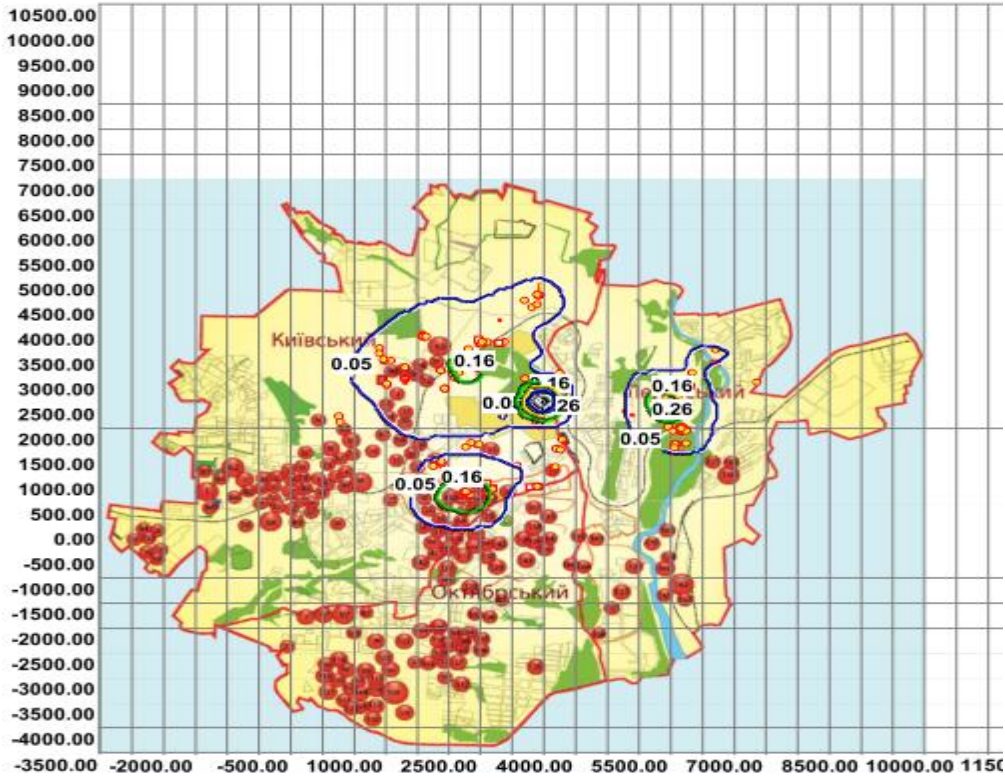


328 Сажа

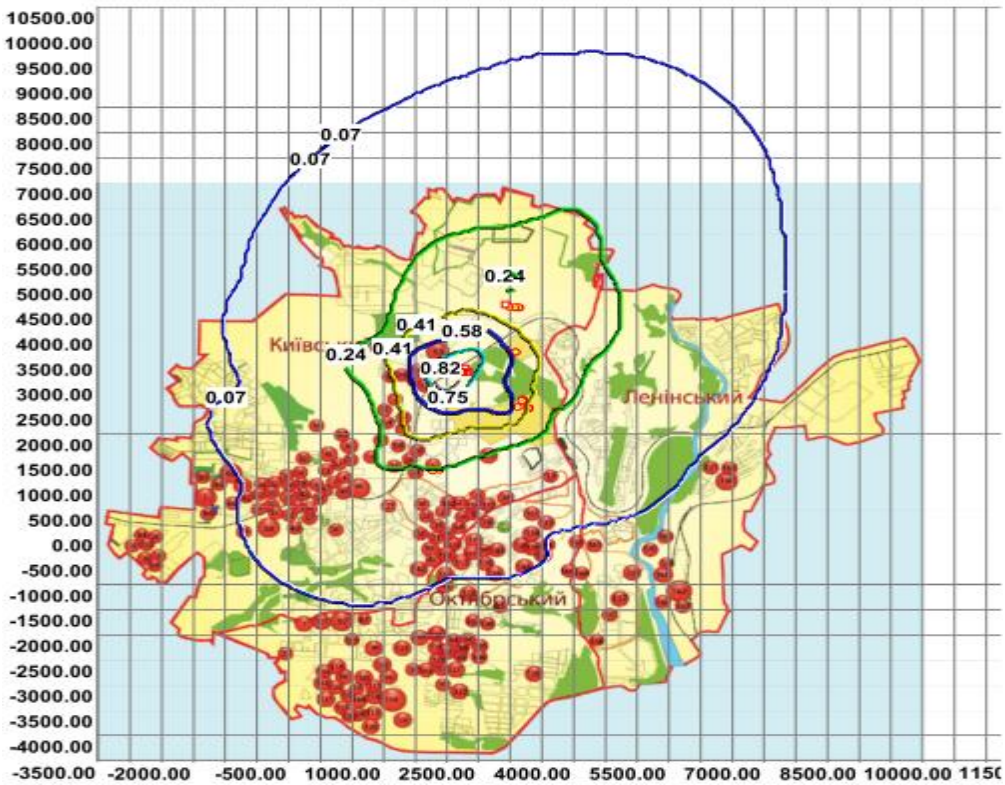




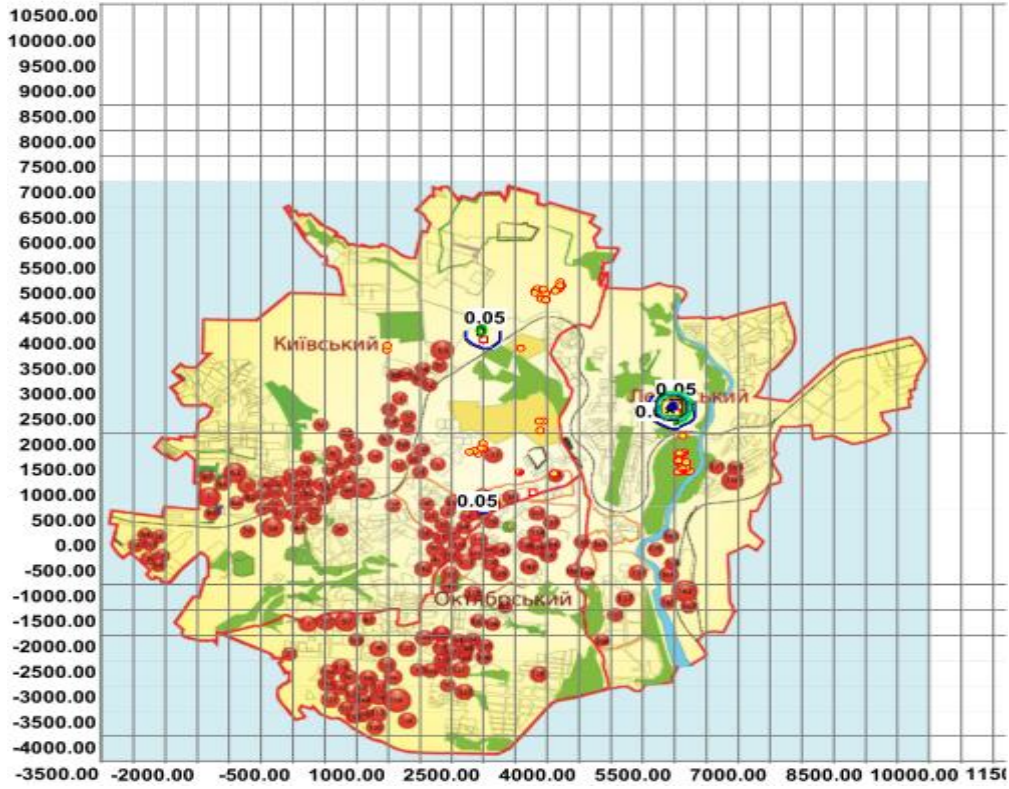
330 Сірчистий ангідрид



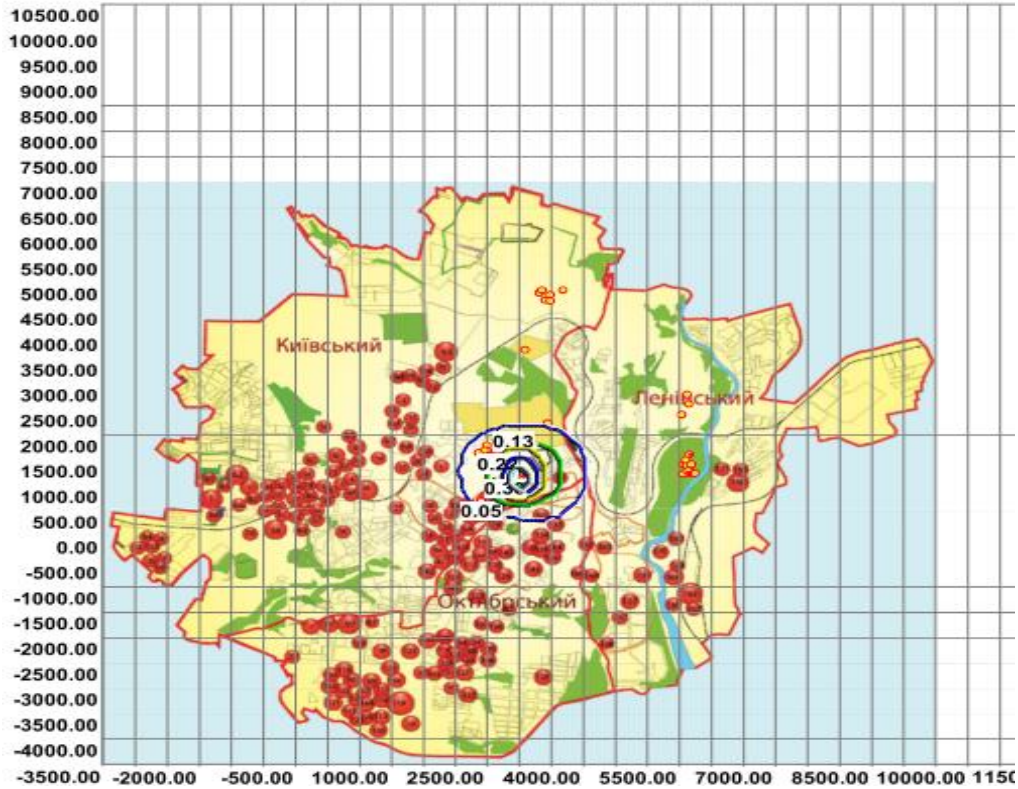
333 Сірководень



342 Фтористі газоподібні з'єднання

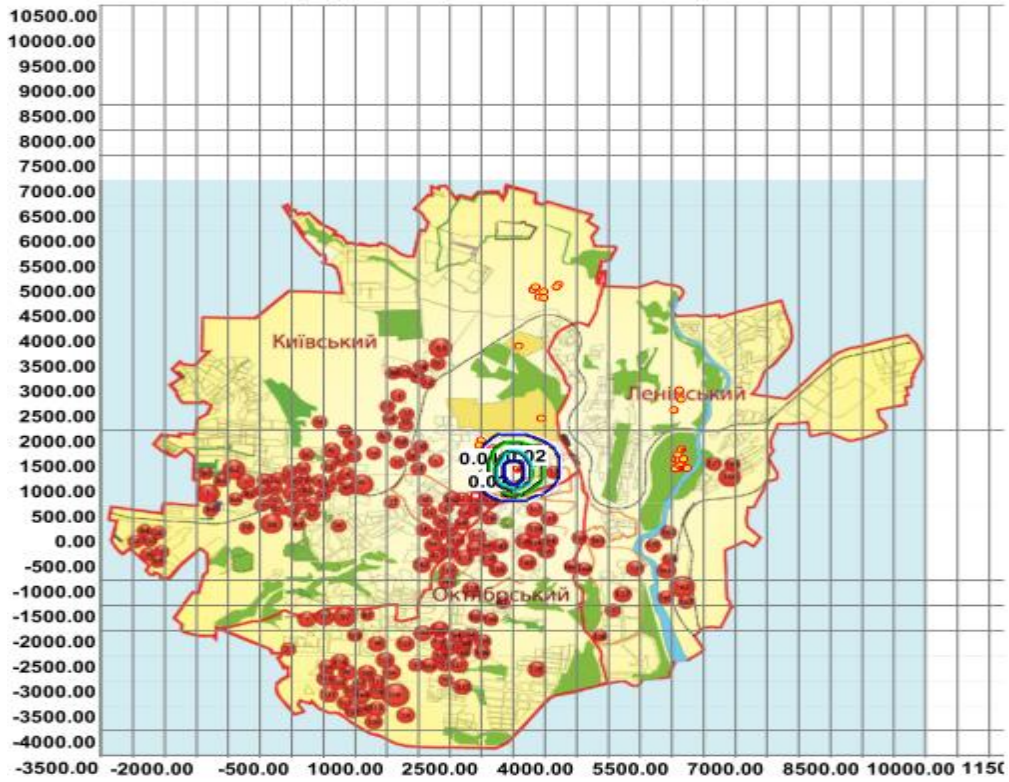


343 Фториди неорганічні добре розчинні

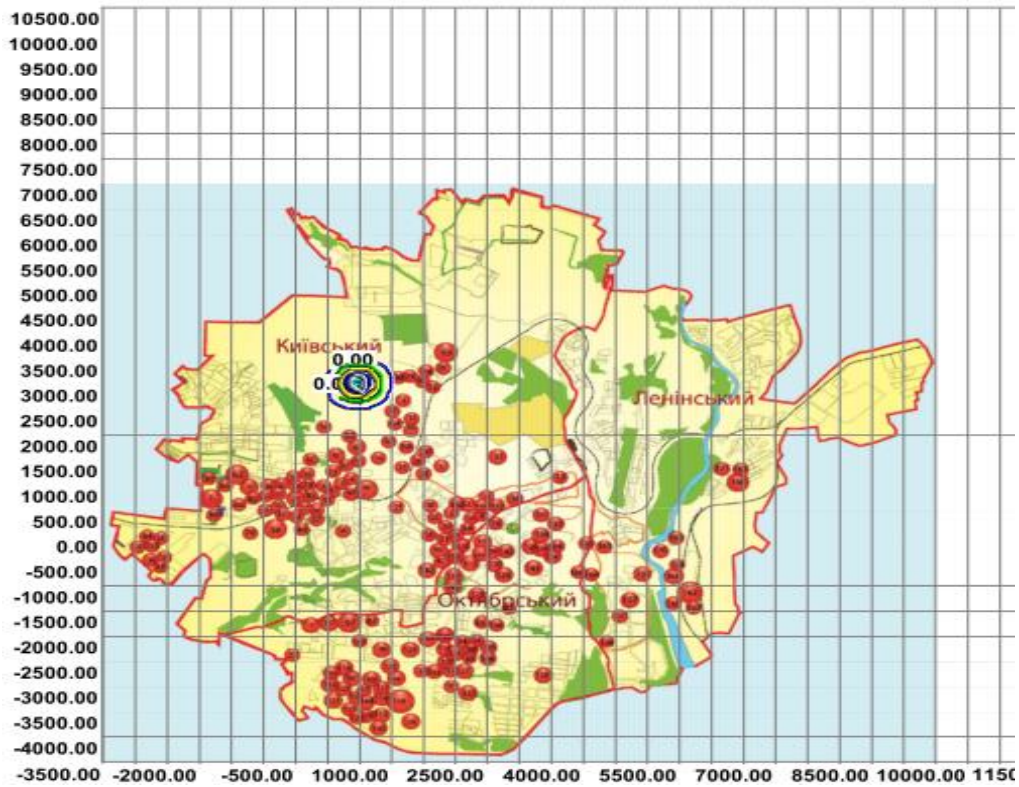




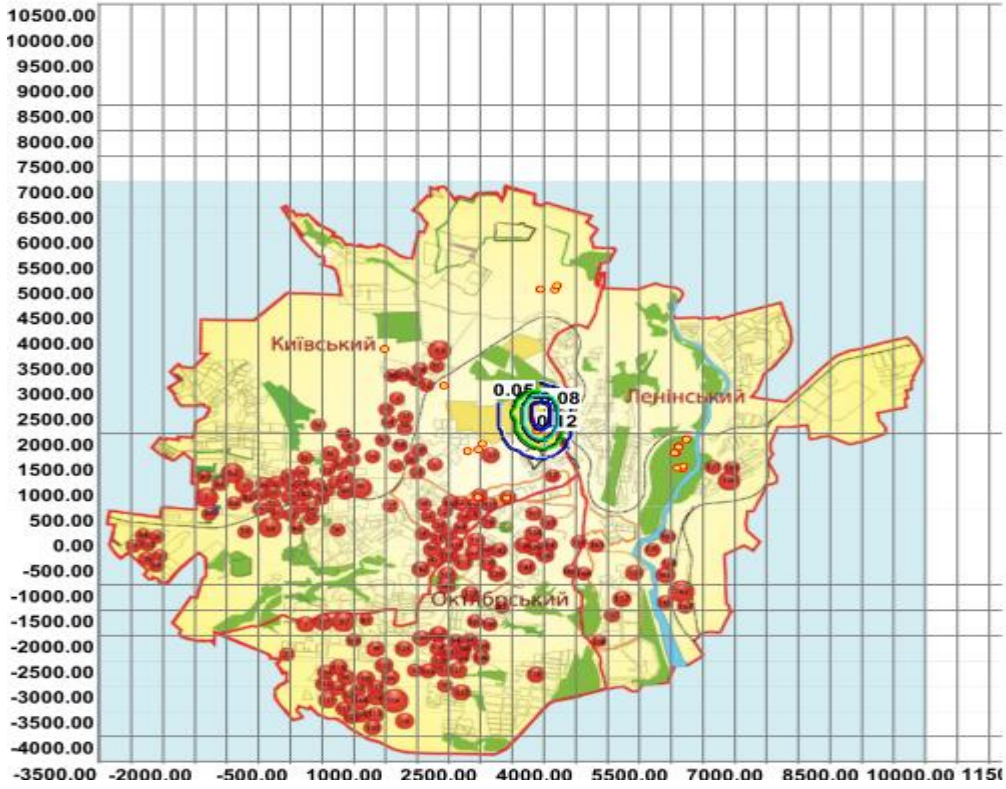
344 Фториди неорганічні погано розчинні



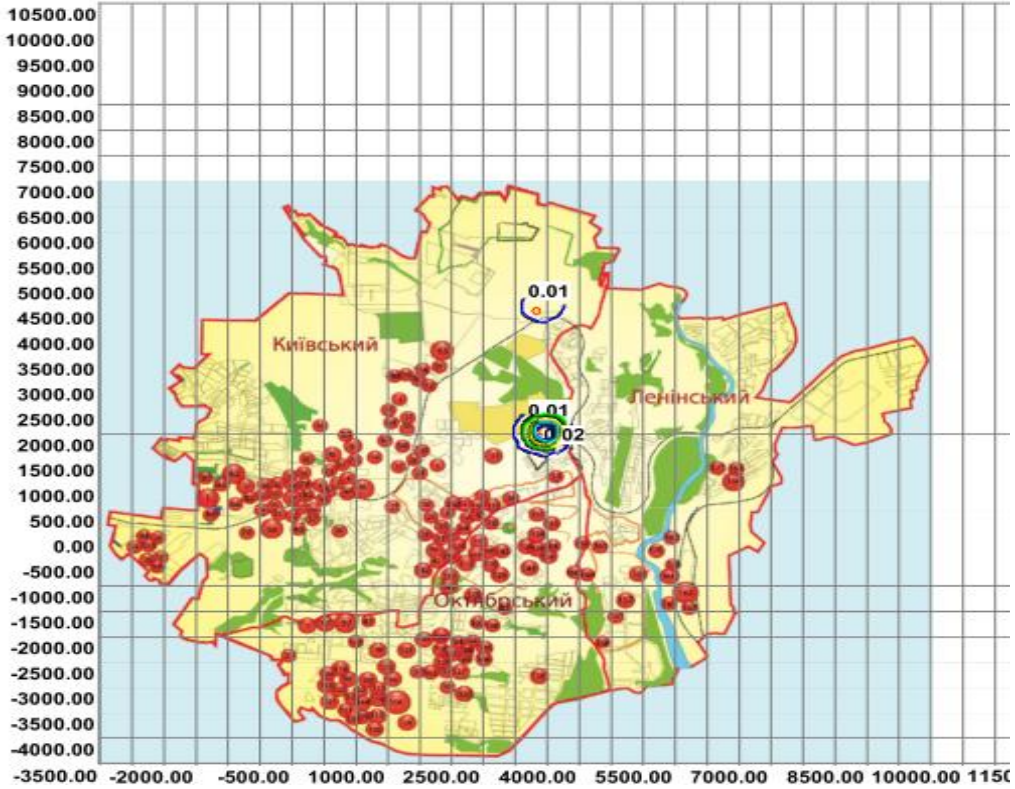
346 Фосфор чотирихлористий



348 Кислота ортофосфорна

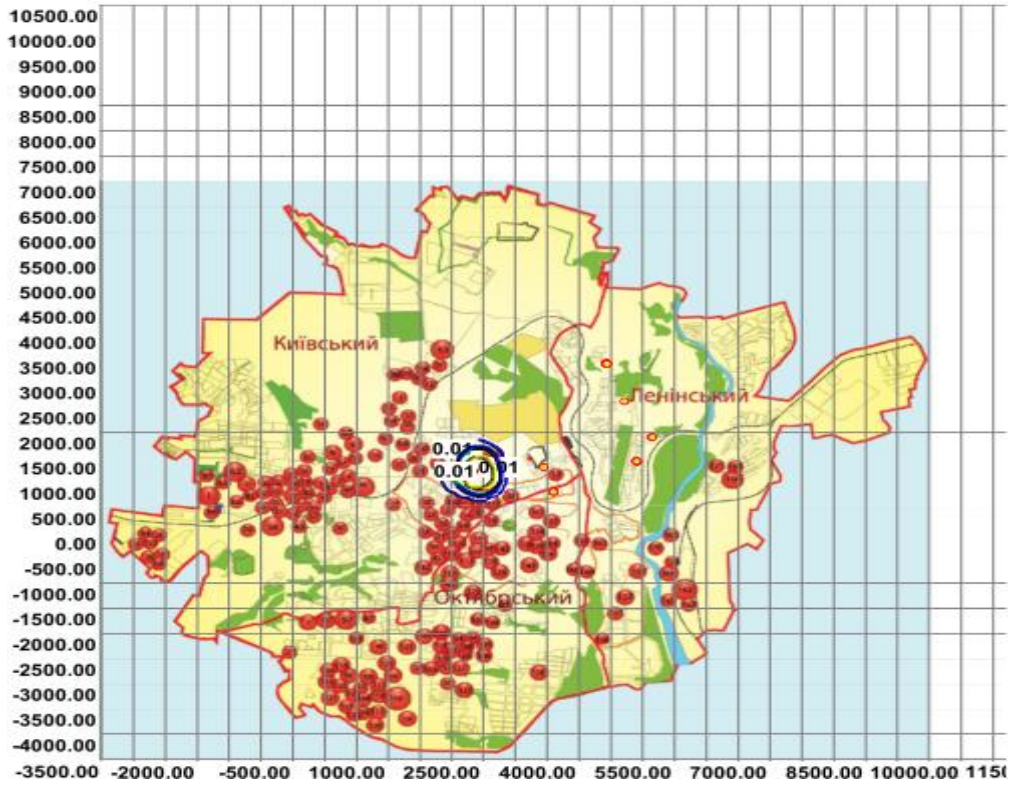


349 Хлор

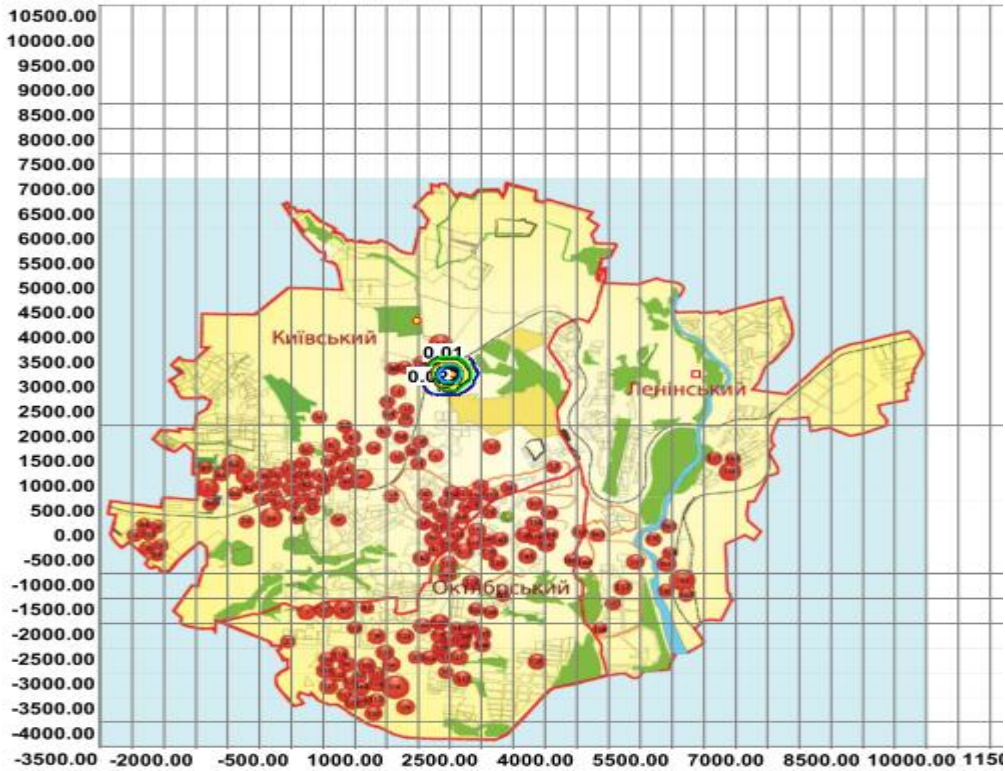




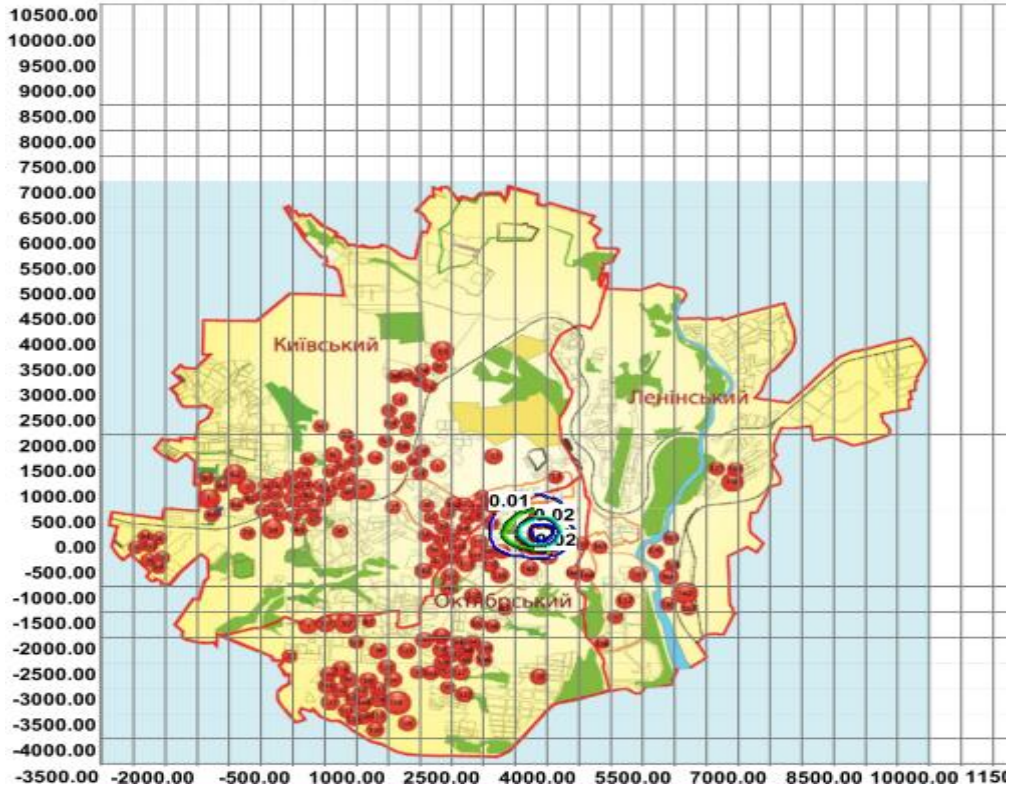
402 Бутан



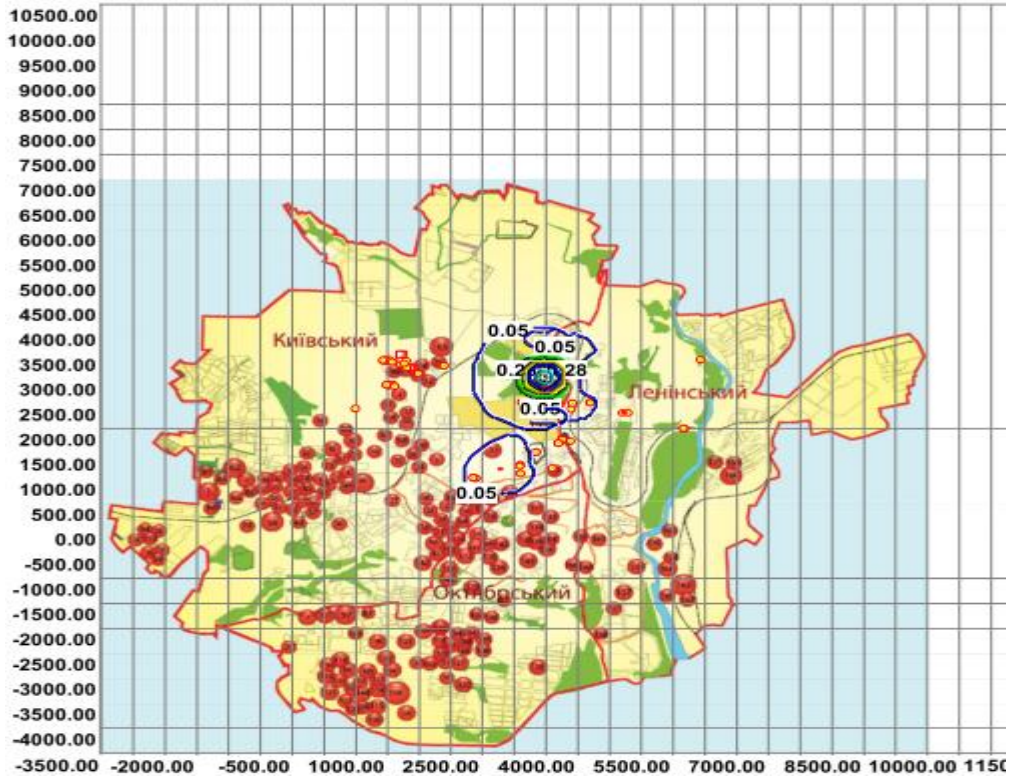
403 Гексан



406 Полиетилен

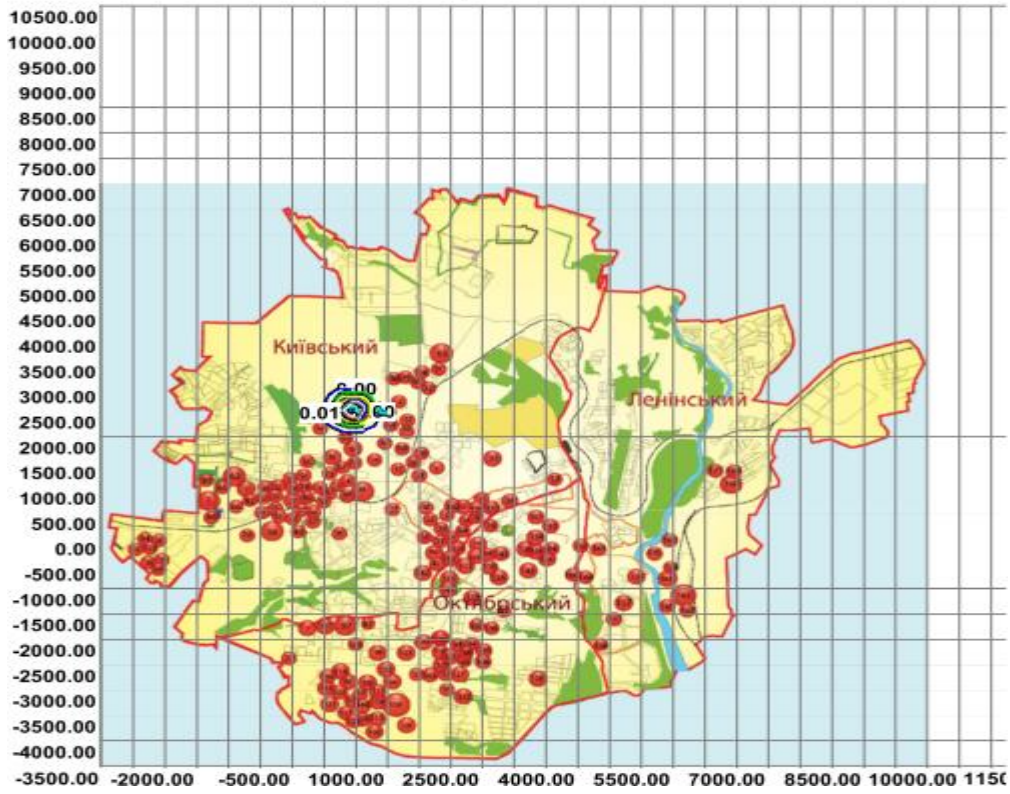


410 Метан

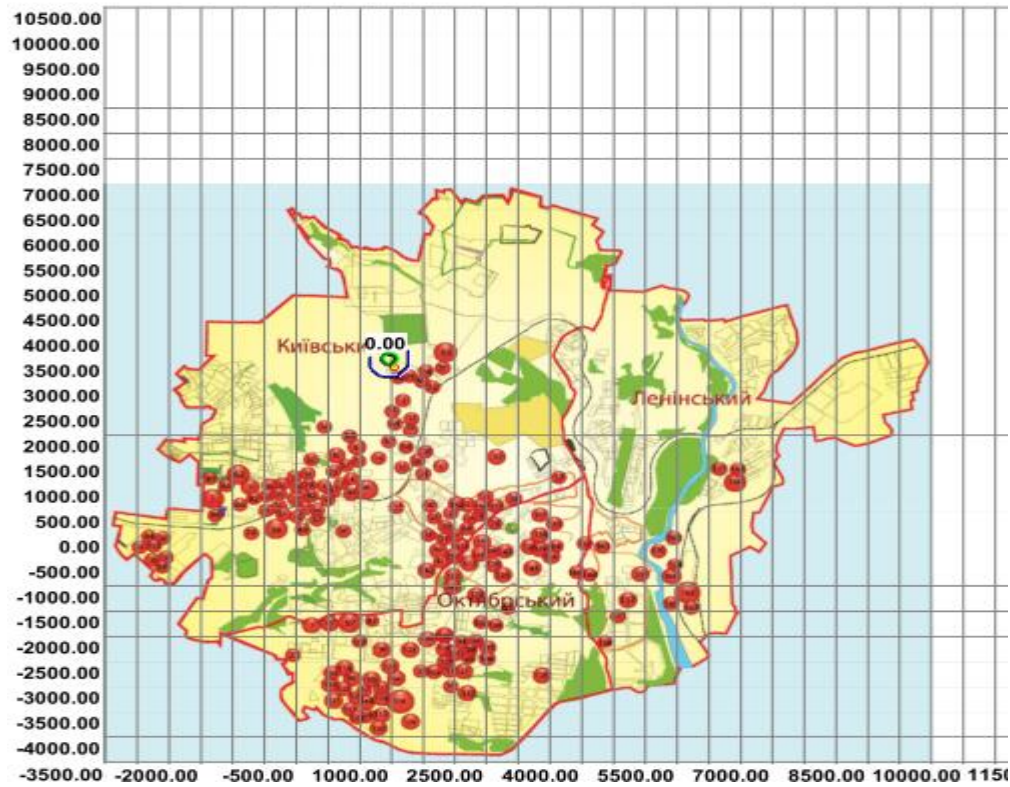




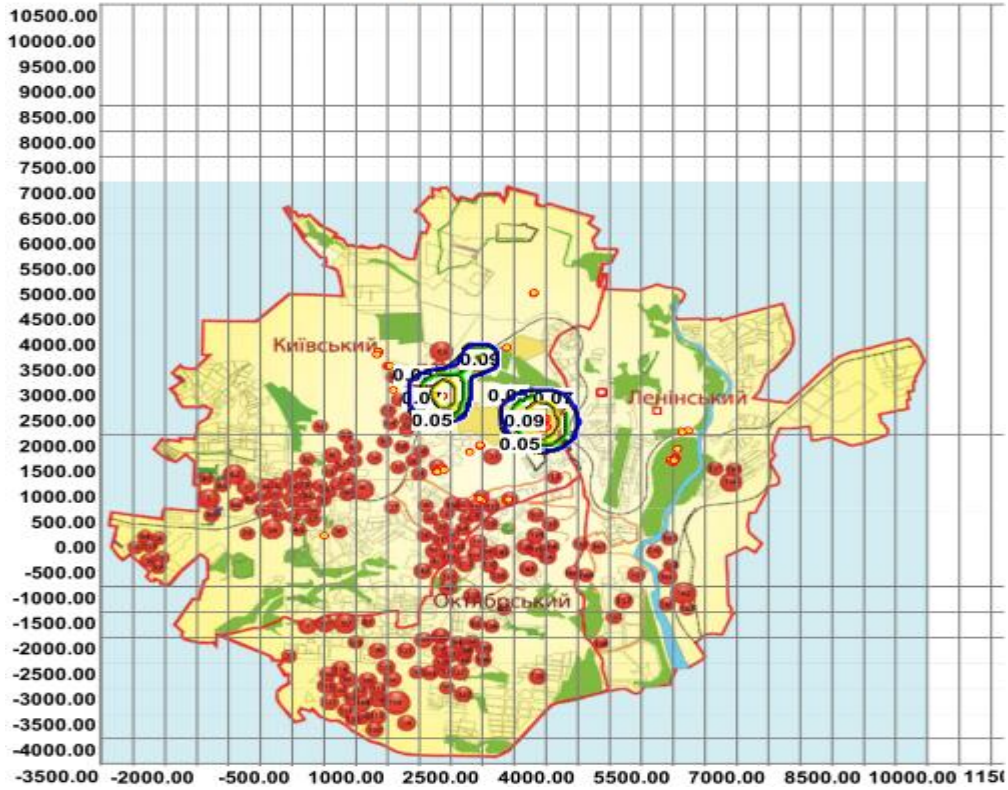
521 Пропілен



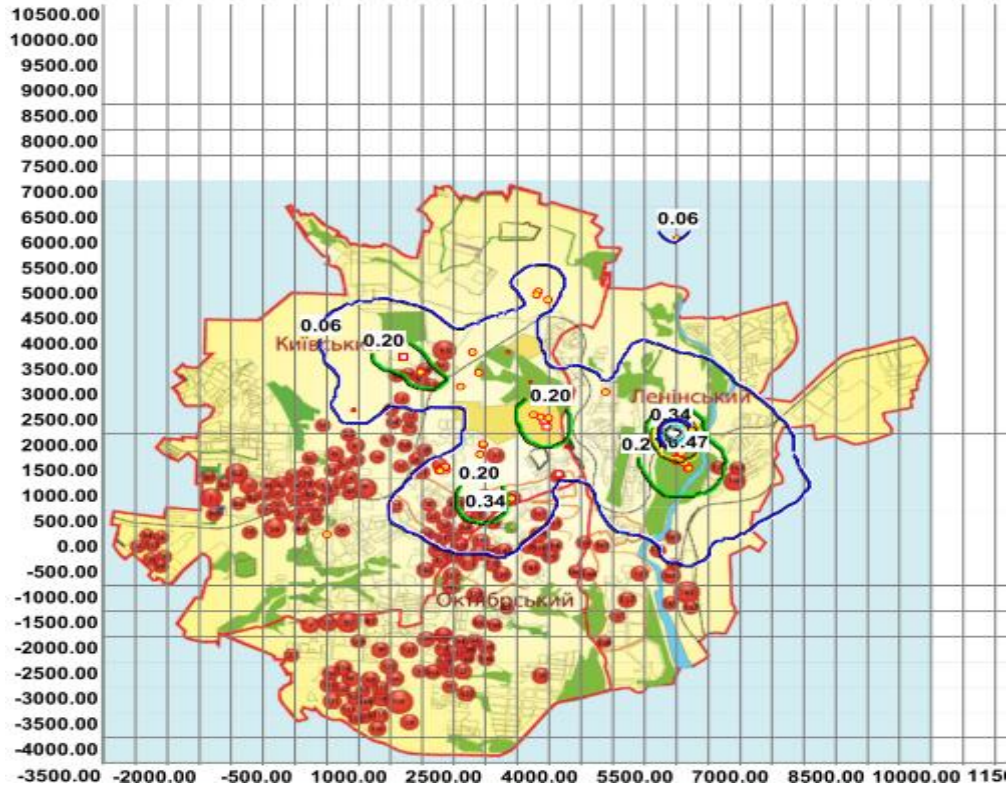
528 Ацетилен



612 Толуол

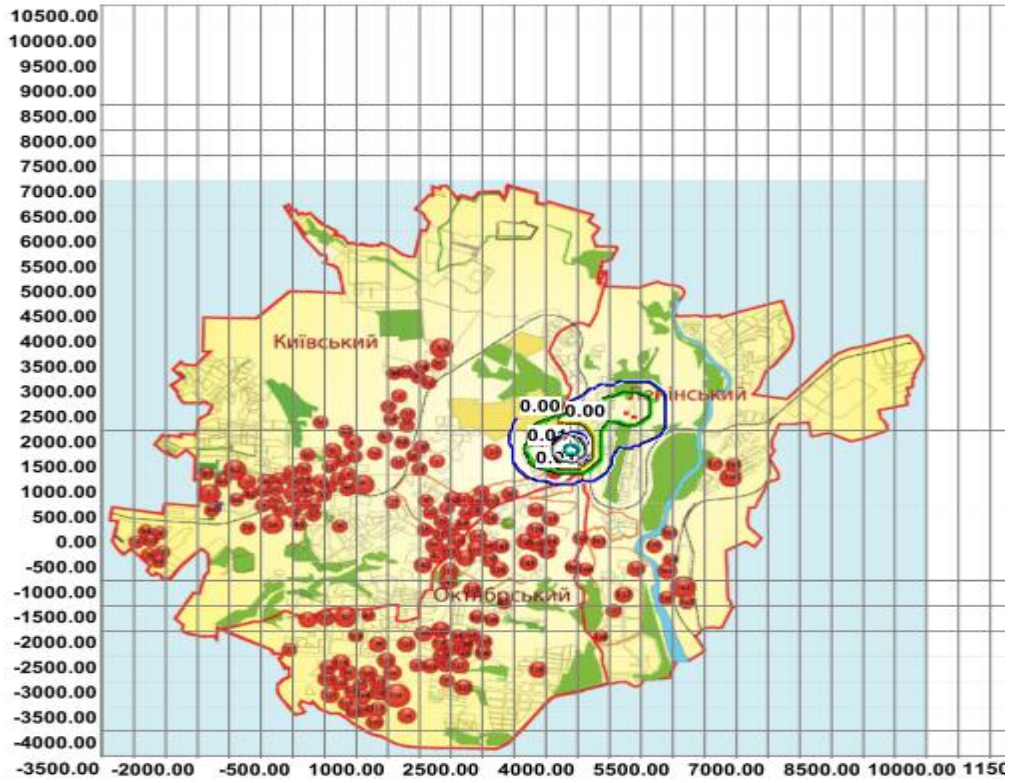


616 Ксилол

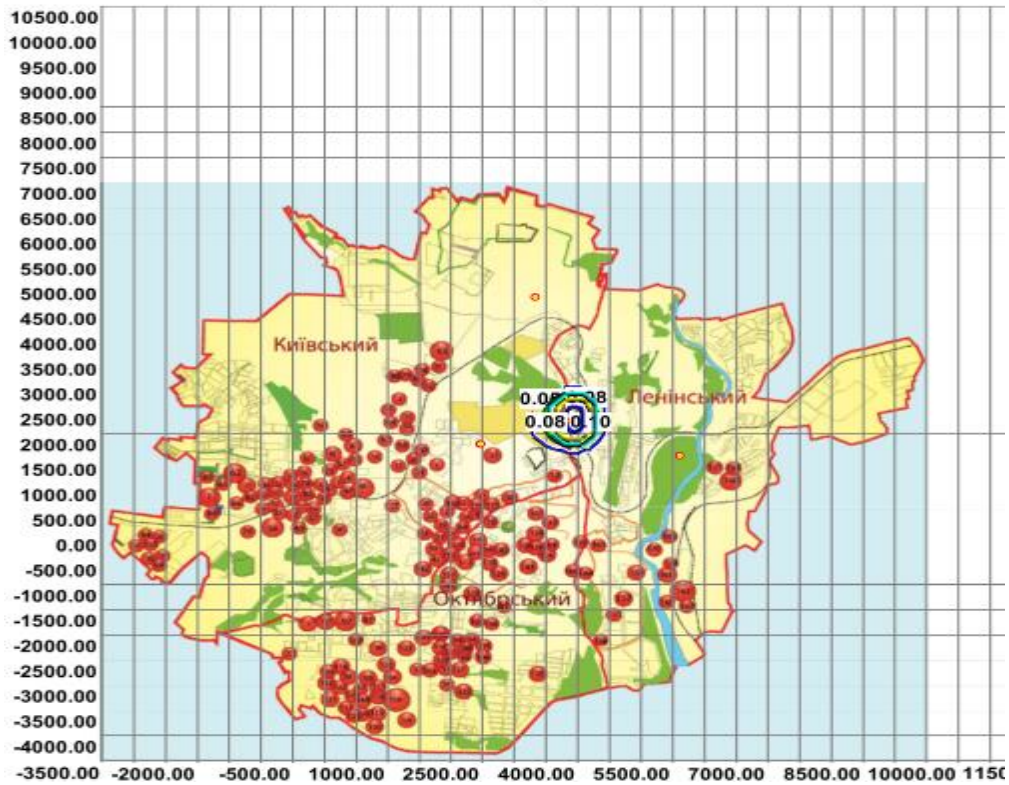




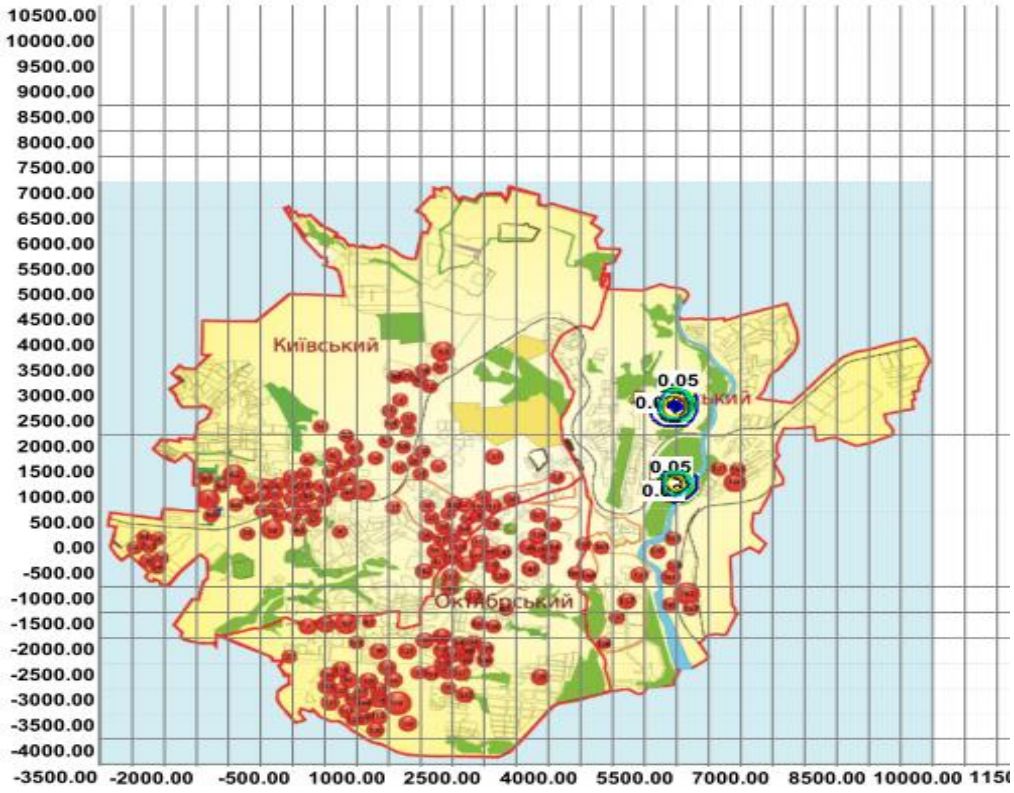
703 Бенз(а)пірен



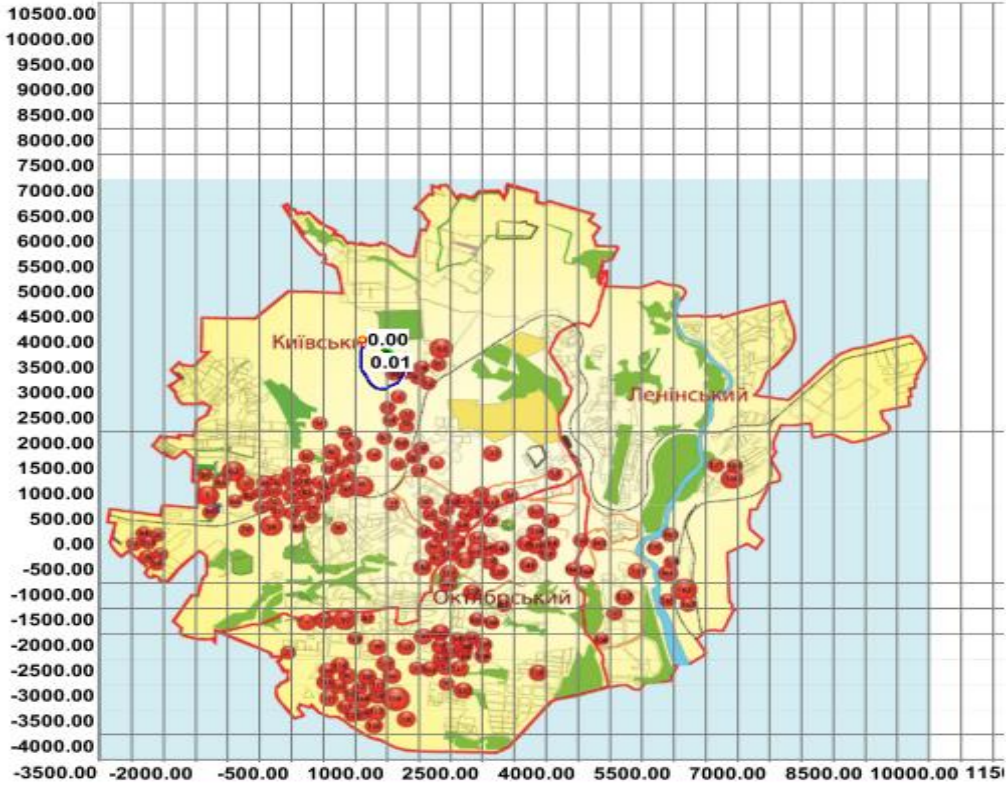
827 вініл хлористий



882 Тетрахлоретилен

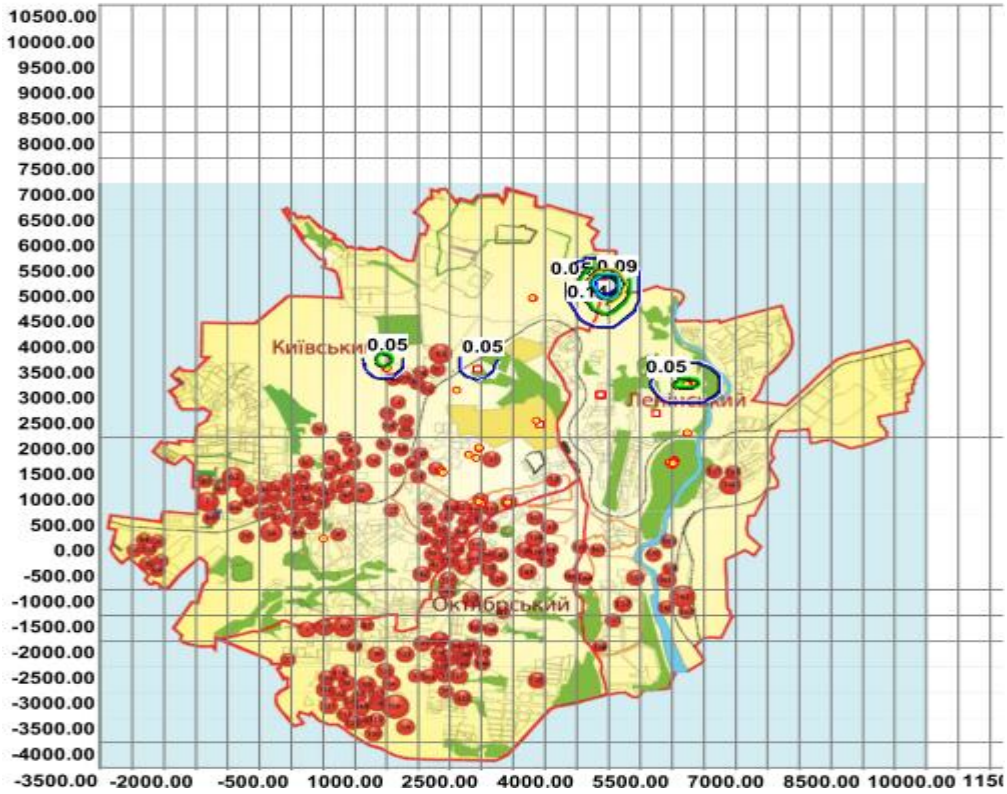


902 Трихлоретилен

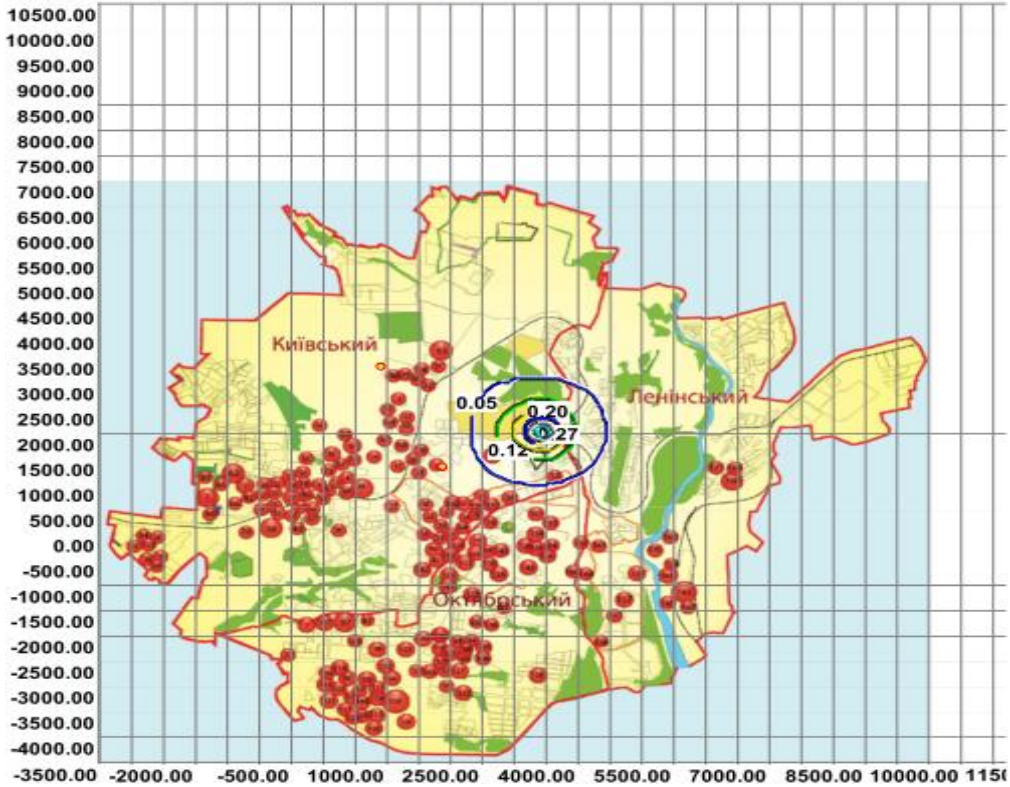




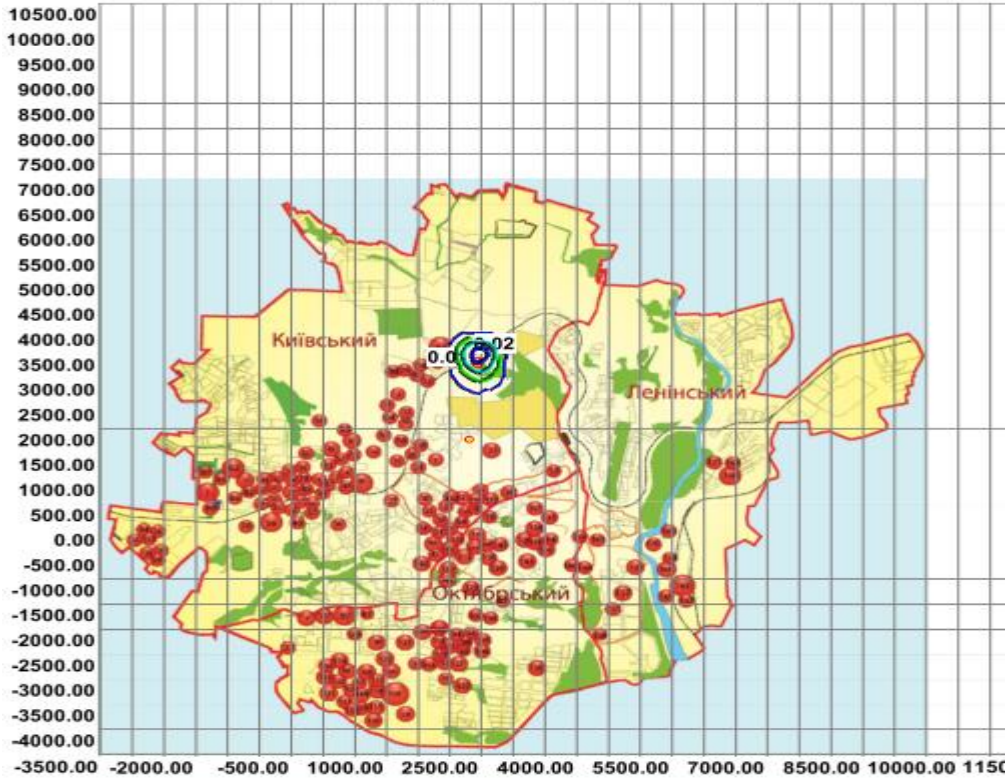
1042 Спирт бутиловий



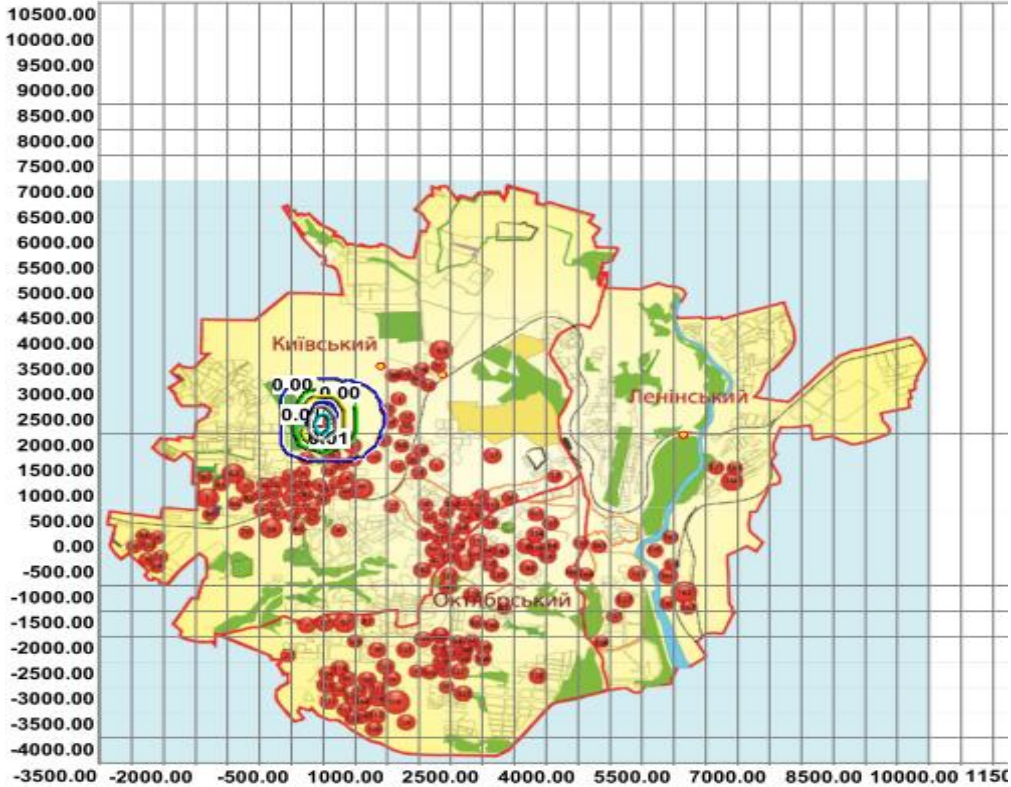
1048 Спирт ізобутиловий



1051 Спирт ізопропіловий

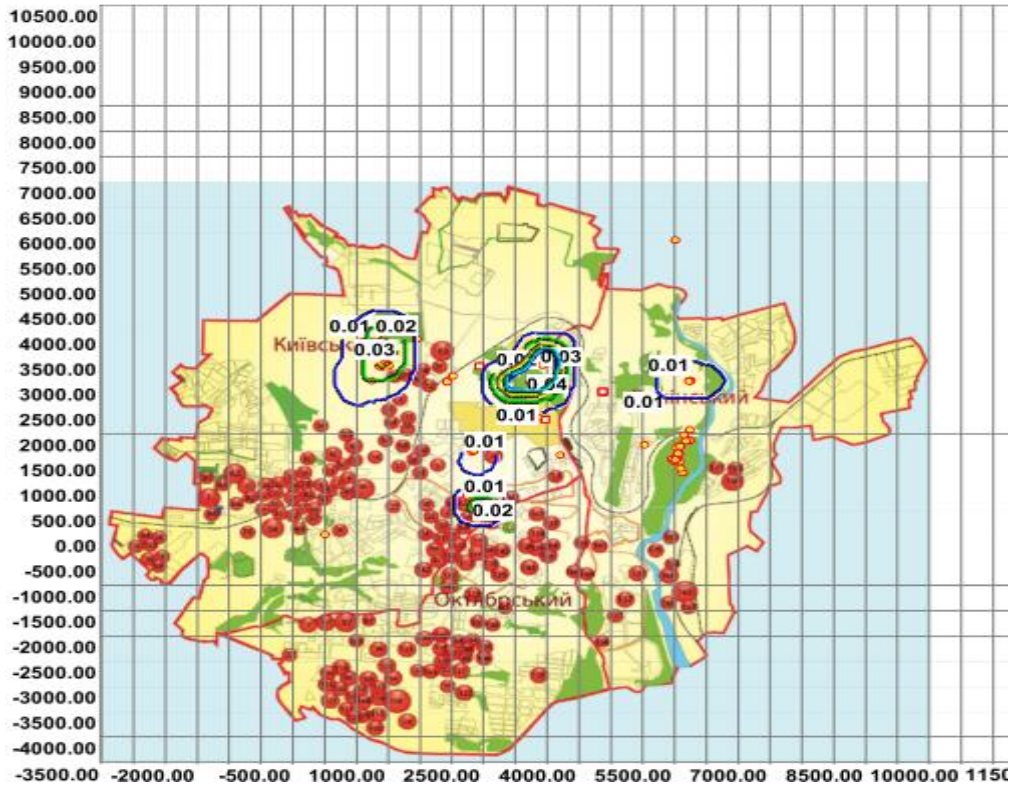


1052 Спирт метиловий

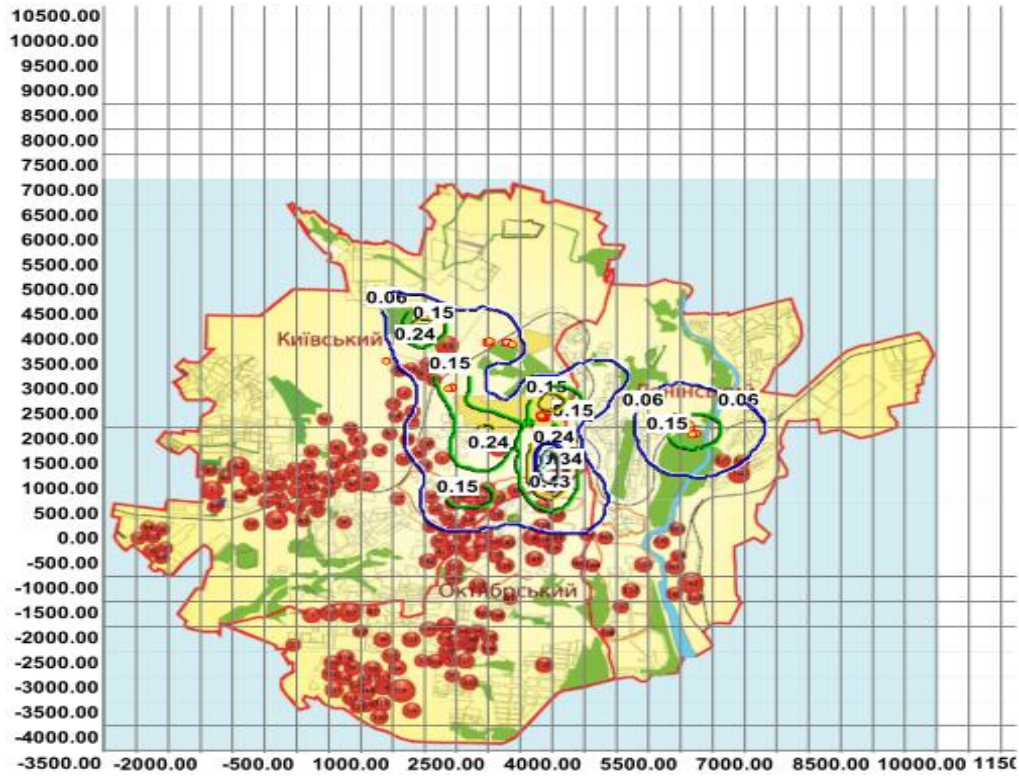




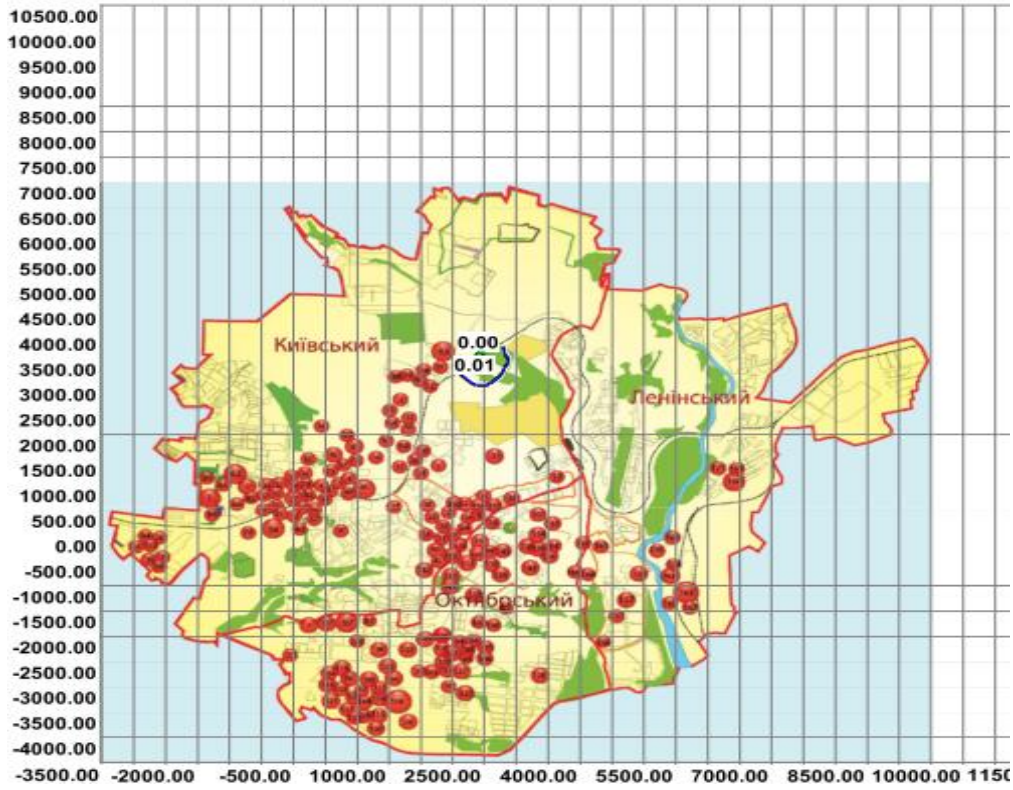
1061 Спирт етиловий



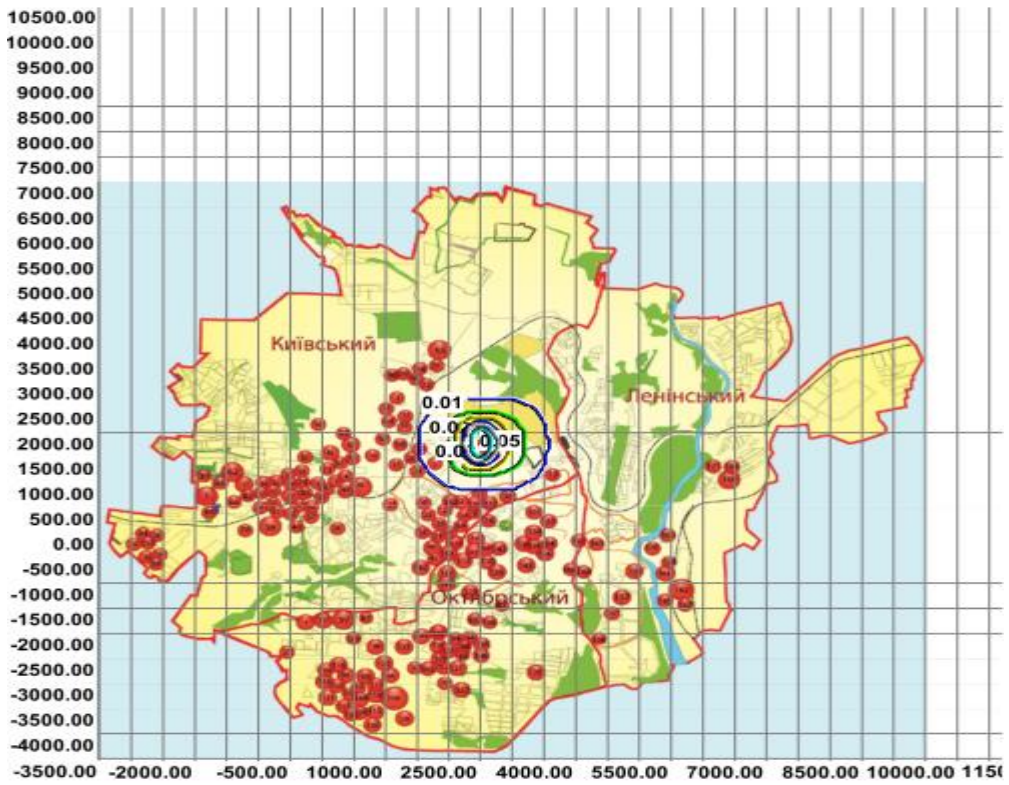
1071 Фенол



1078 Етиленгліколь

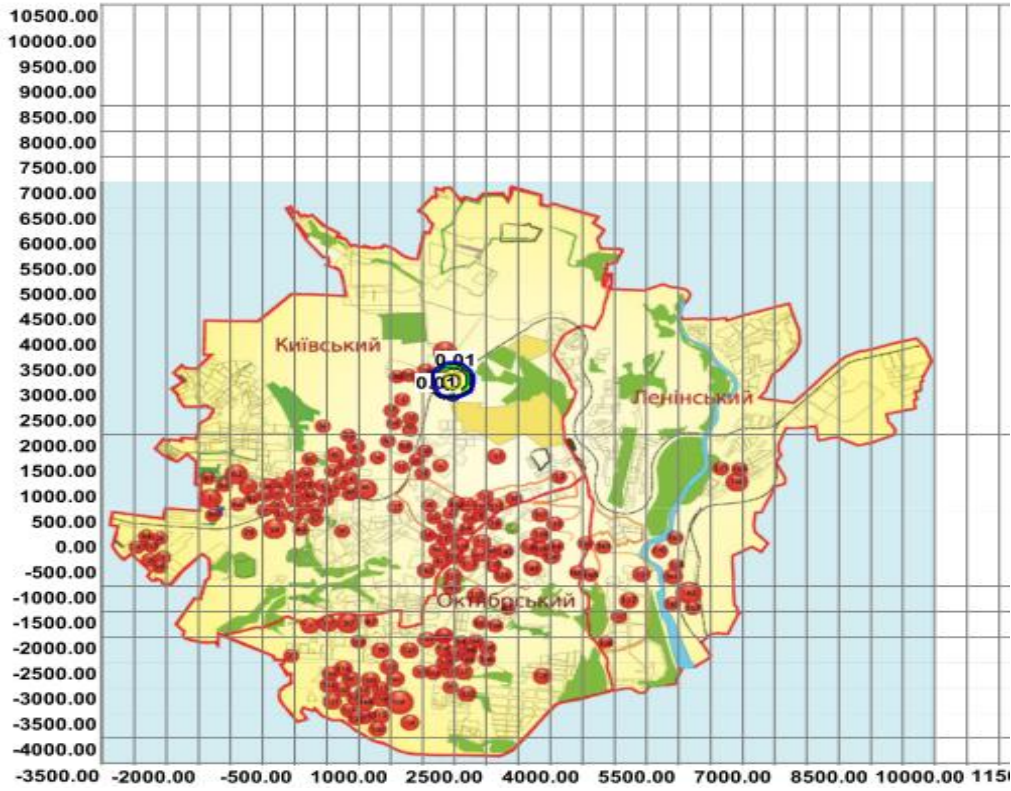


1081 Спирт полівініловий

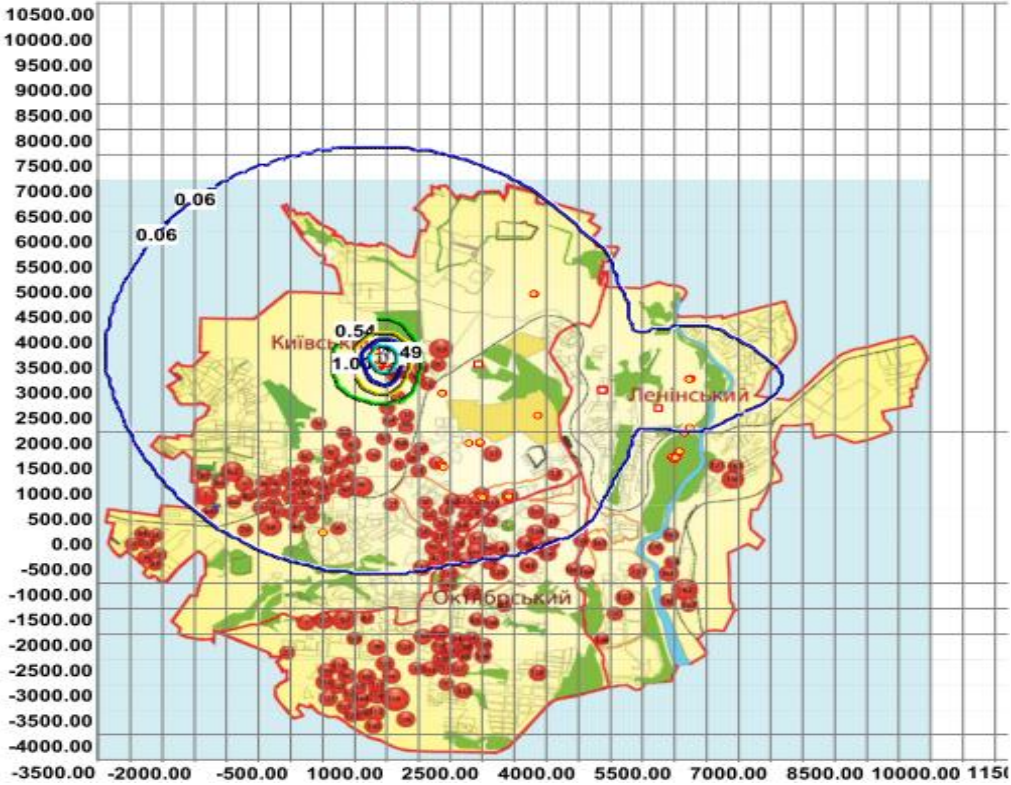




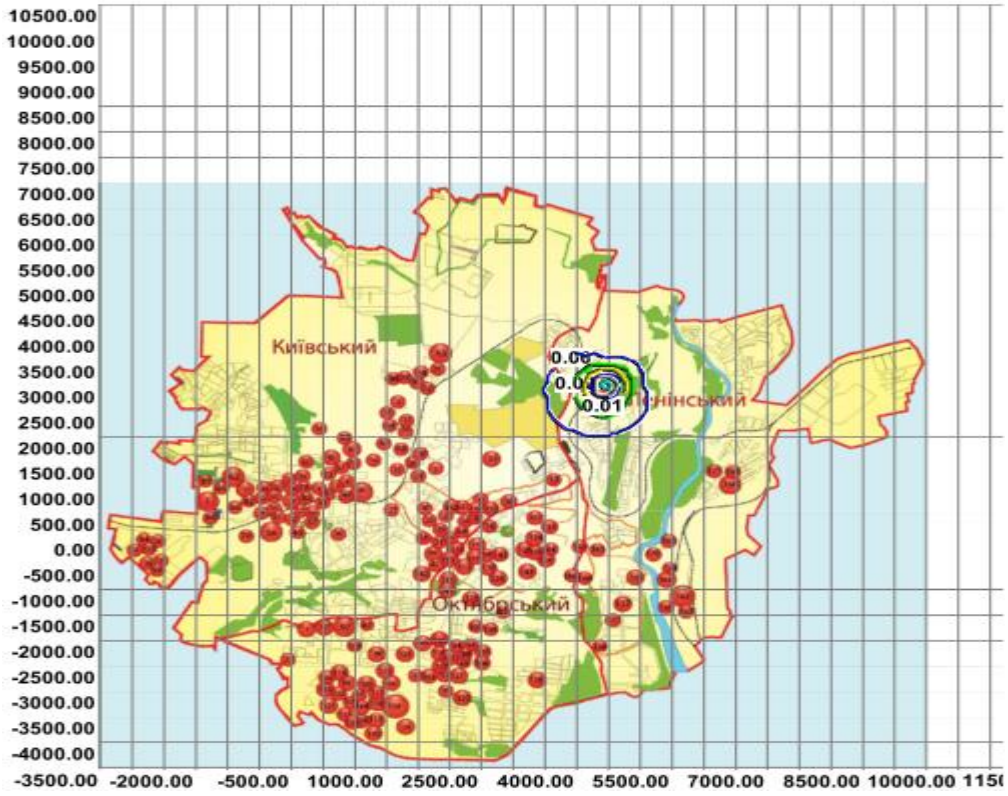
1105 Диетиловий ефір



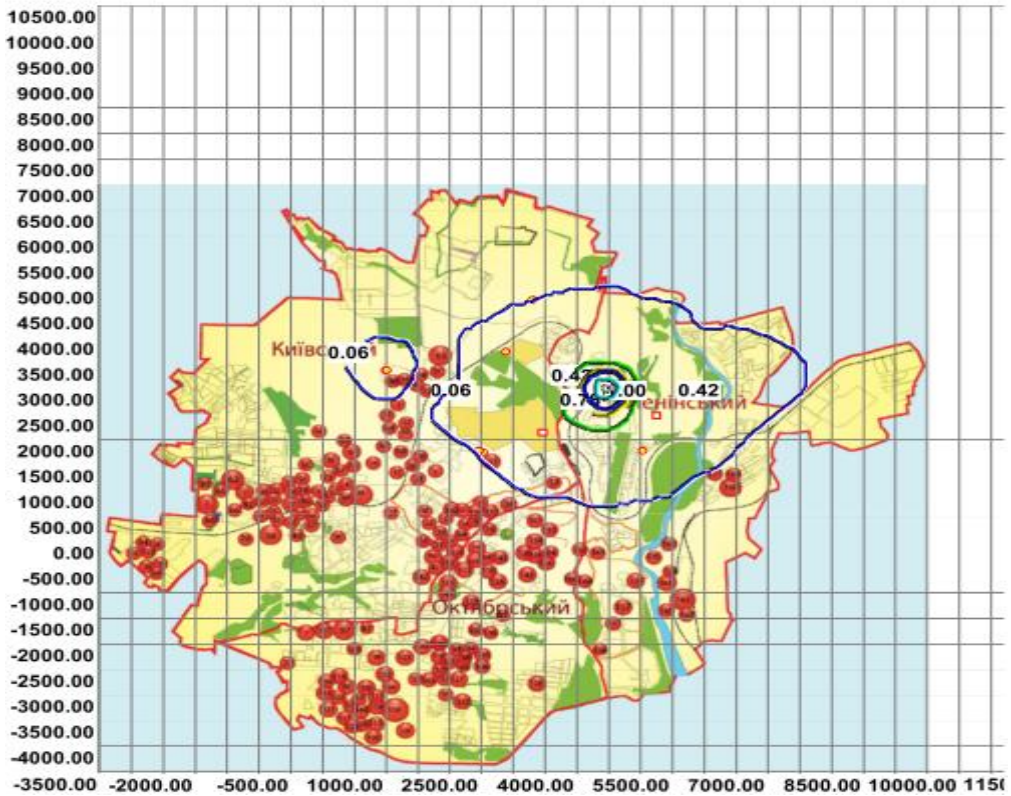
1210 Бутилацетат



1232 Метиловий ефір метакрилової кислоти

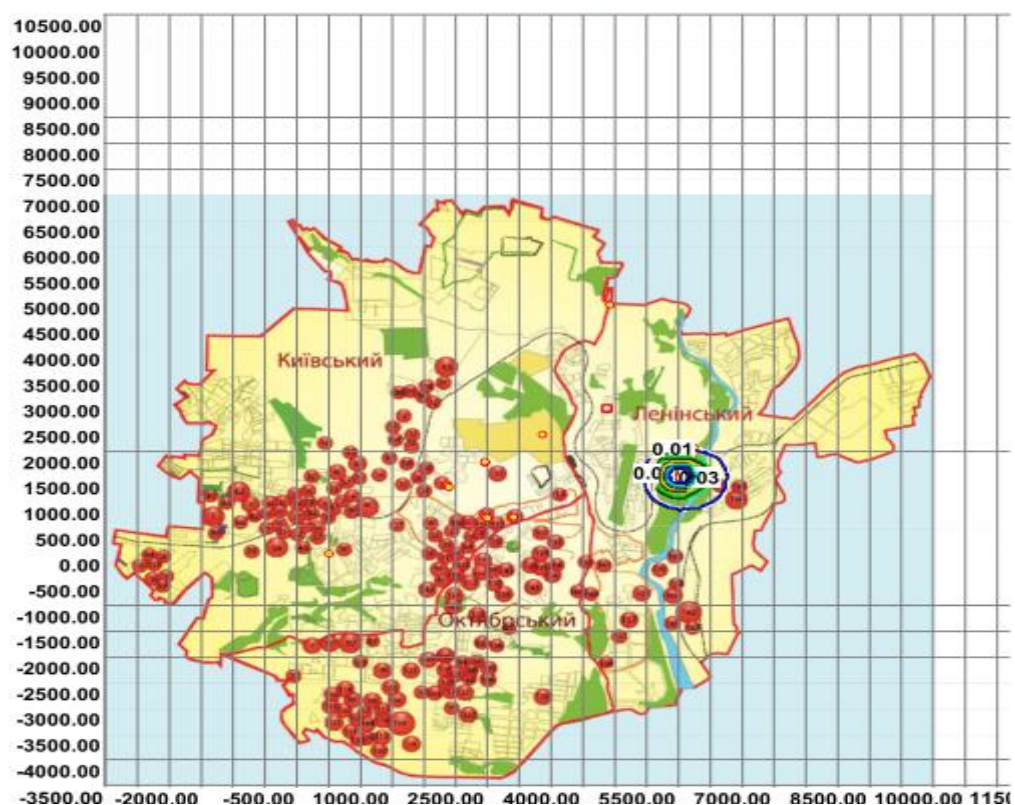


1240 Етилацетат

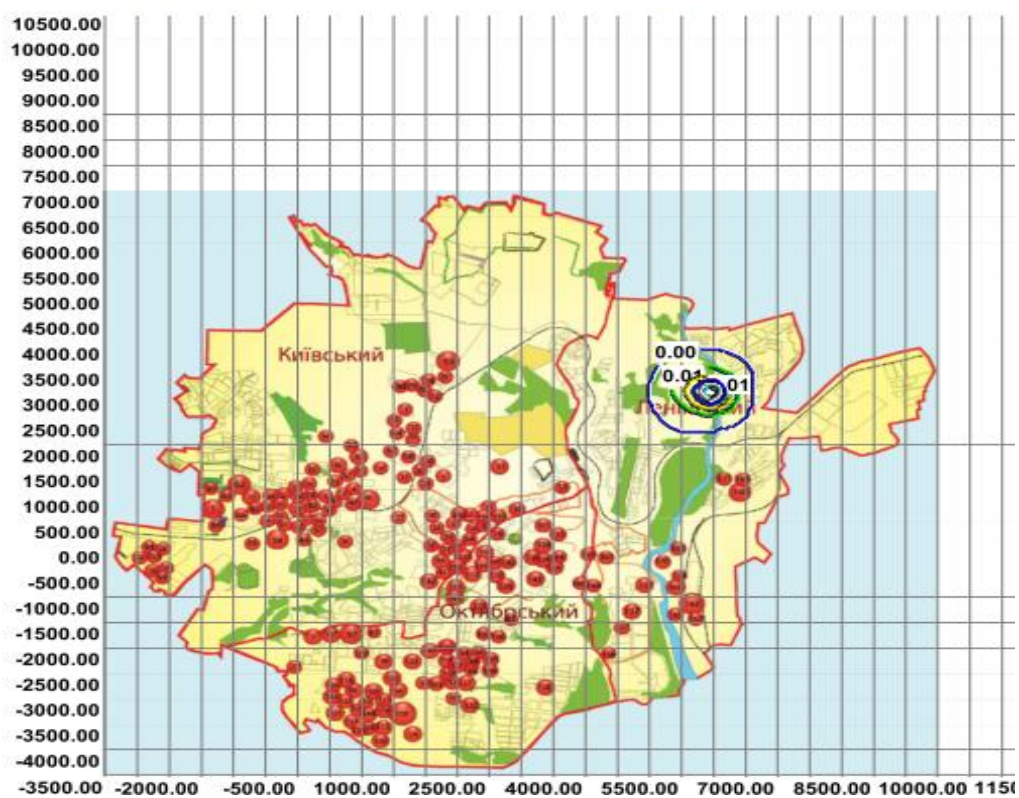




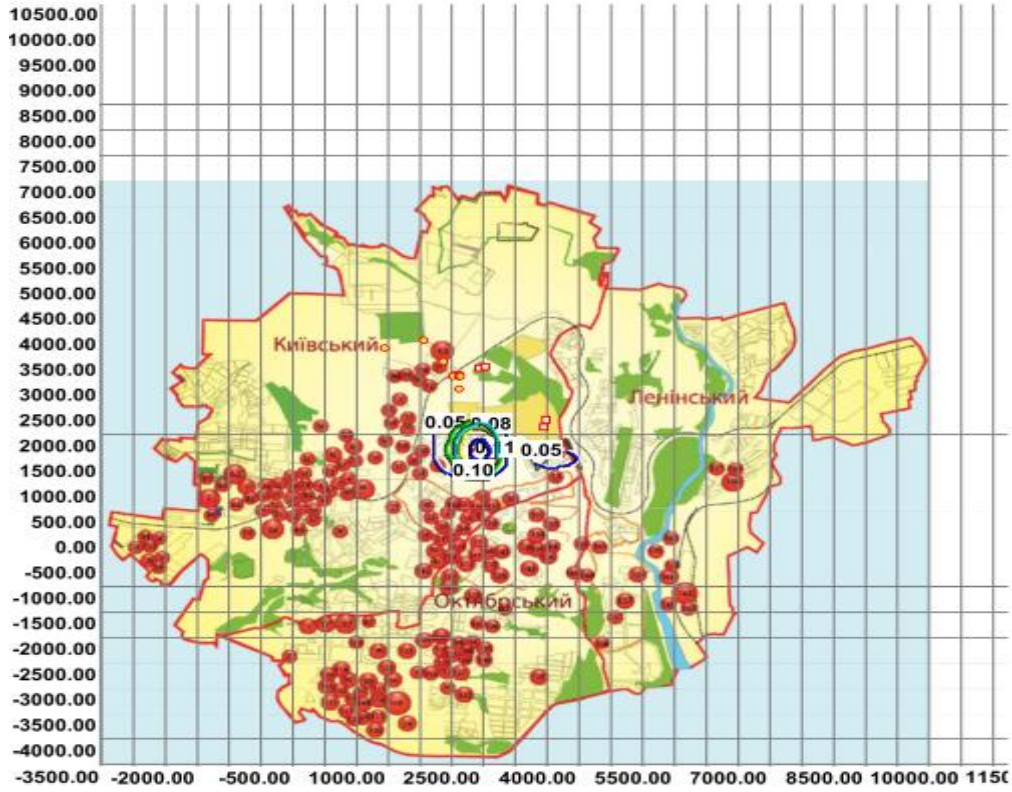
## 1246 2-етоксиетанол



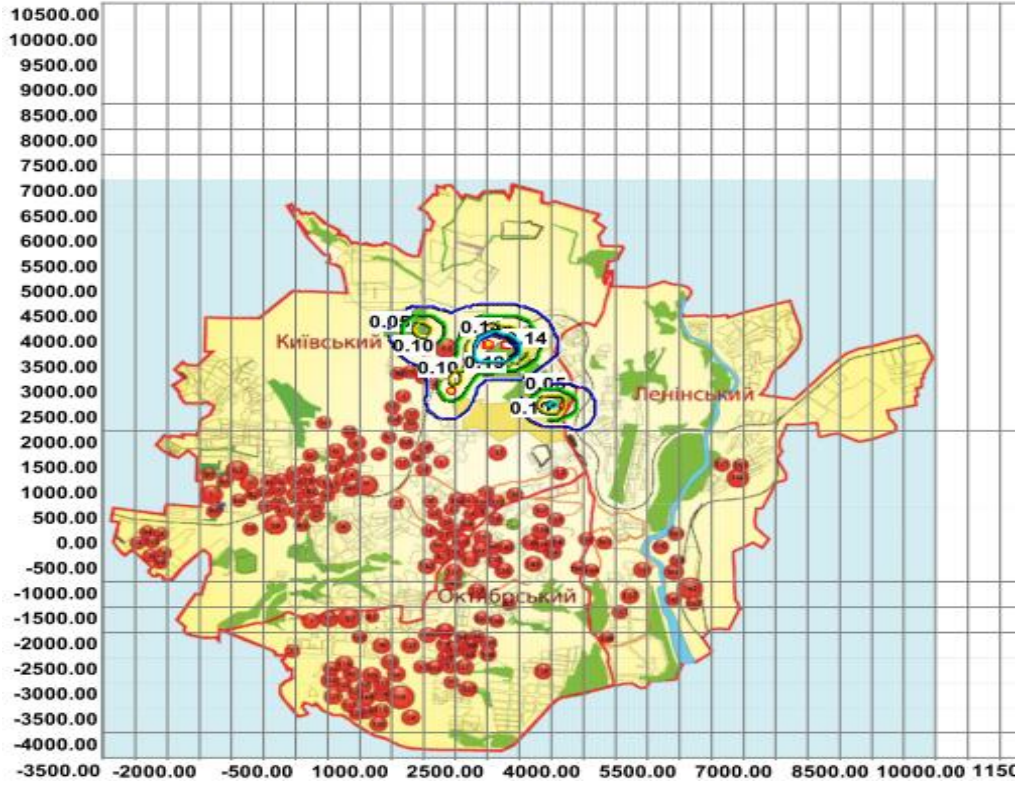
## 1247 ефір 3,5-дітретбутил-4-гідро-ксіфенілпропіонової кислоти



1301 Акролеїн

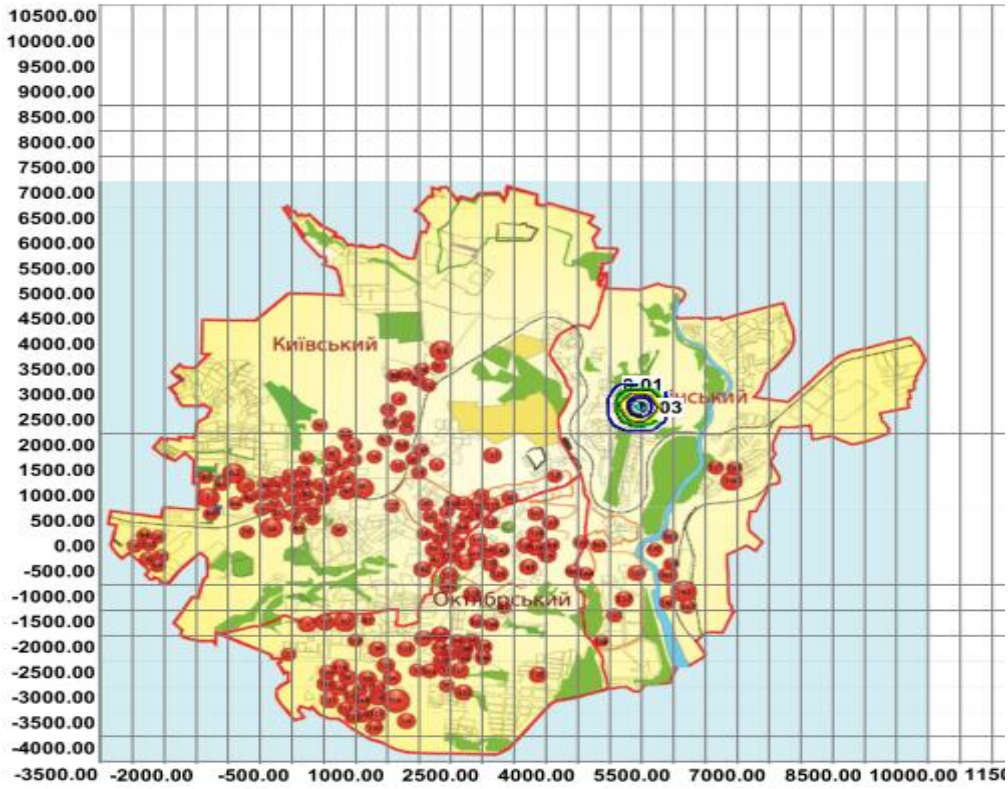


1314 Альдегід пропіоновий

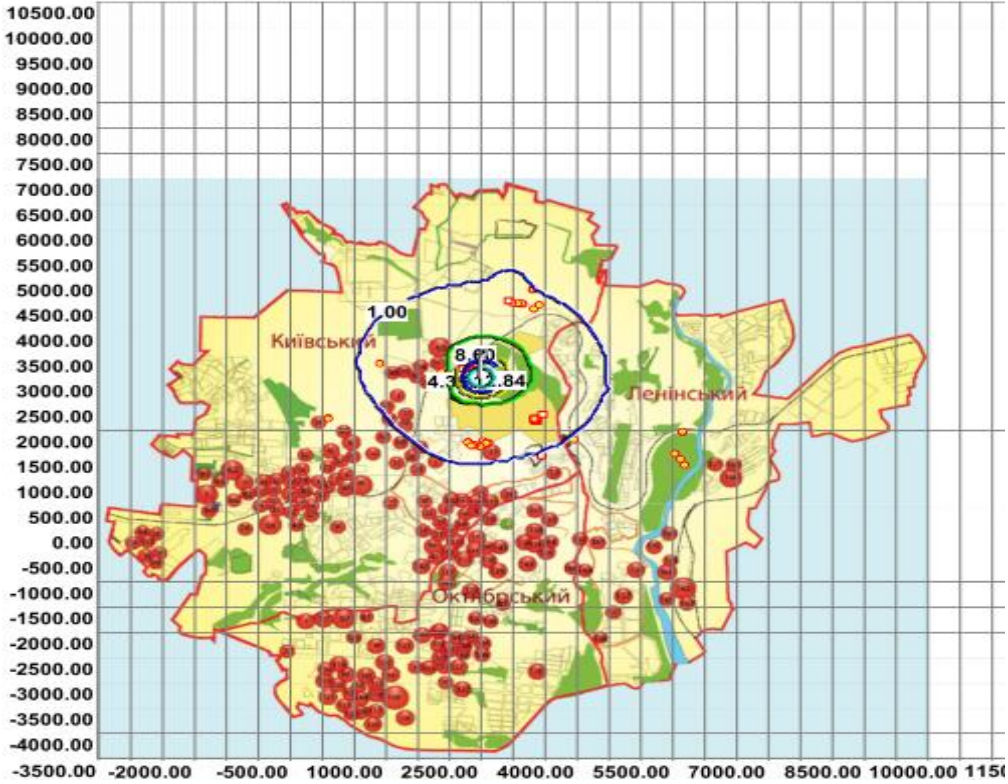




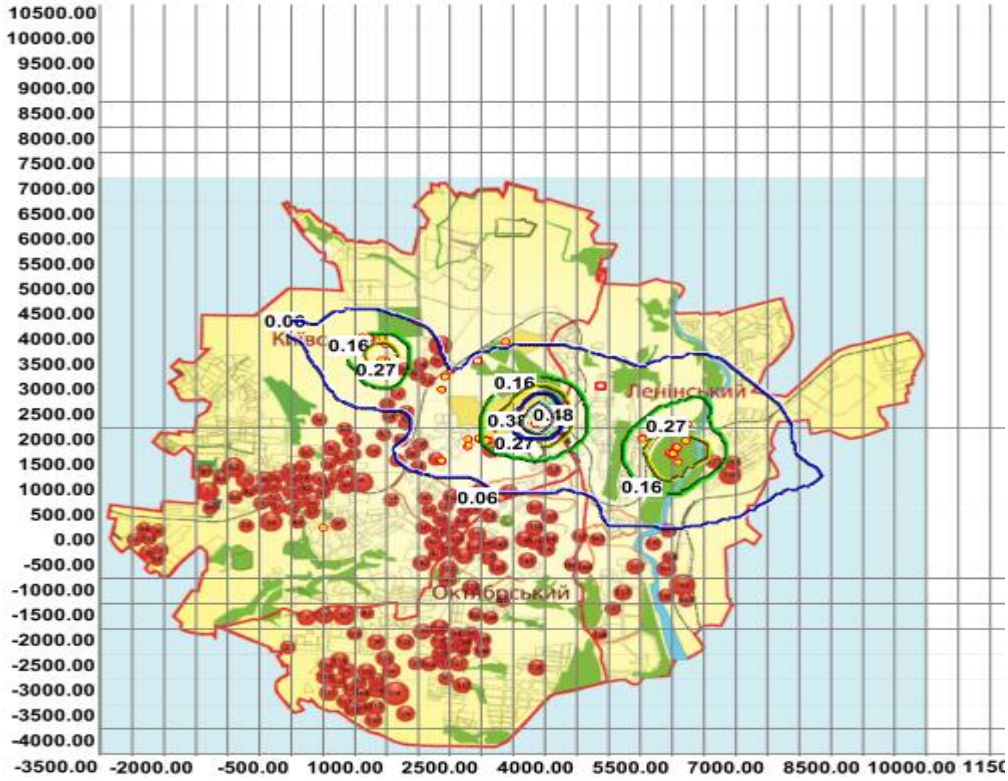
1317 Ацетальдегід



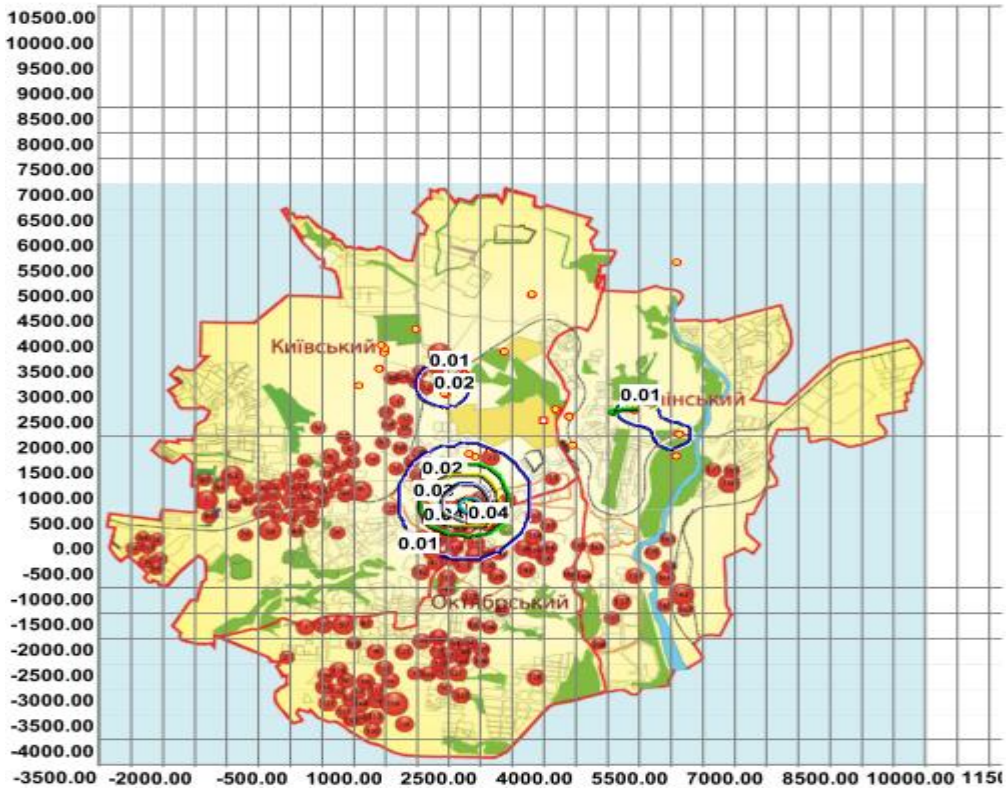
1325 Формальдегід



1401 Ацетон

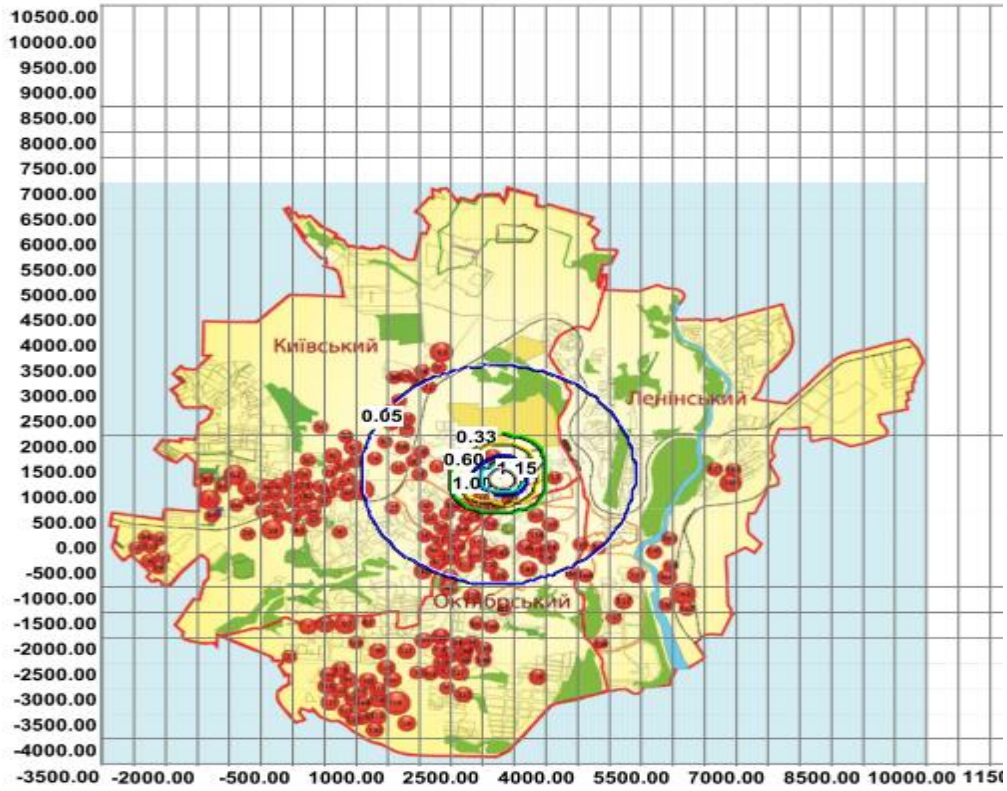


1555 Кислота уксусна

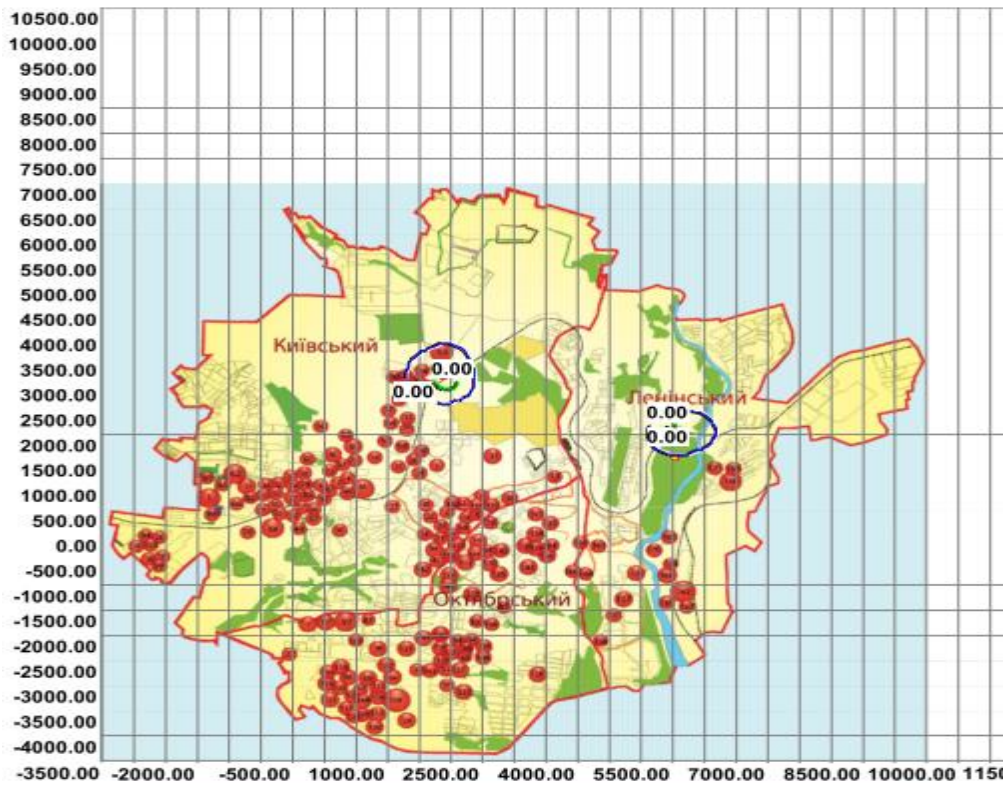




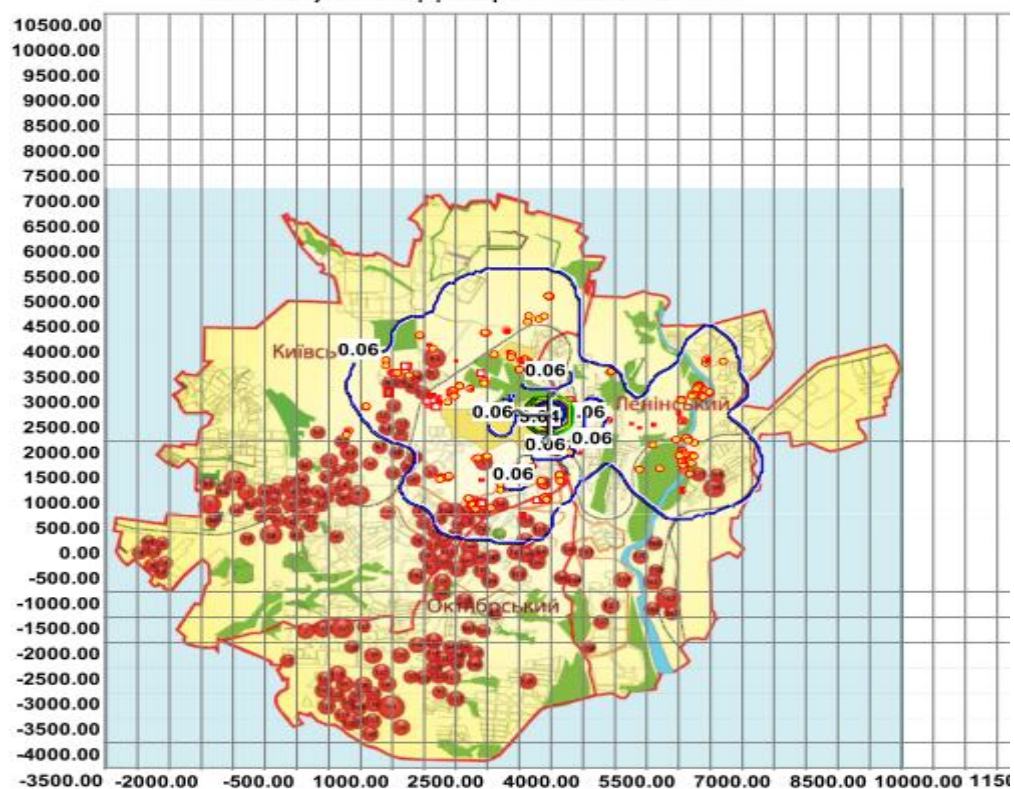
1716 Одорант спм (суміш природніх меркаптанів)



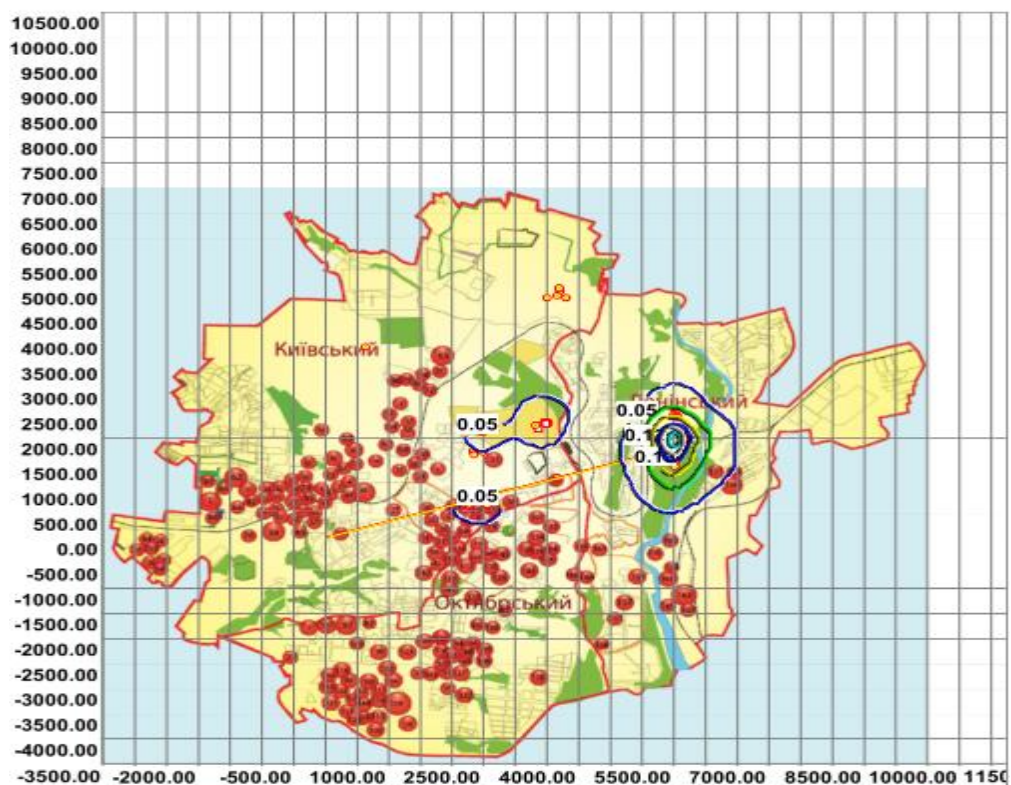
2425 Фурфурол



2704 Вуглеводні граничні c12-c19

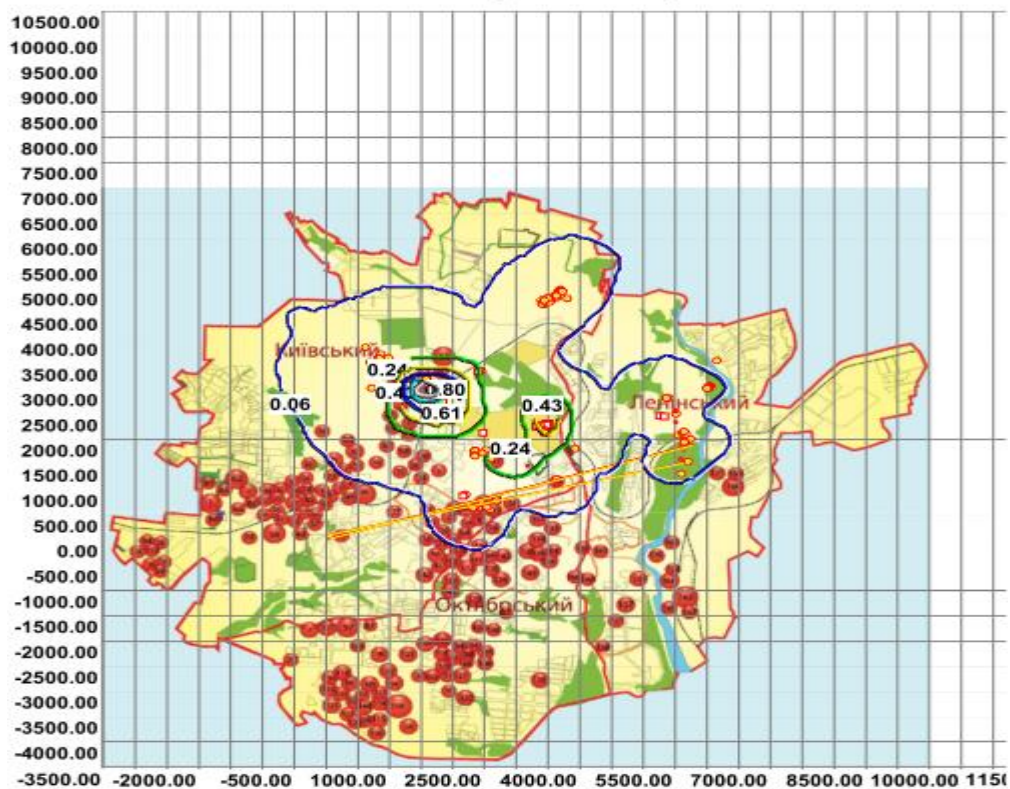


2732 Керосин

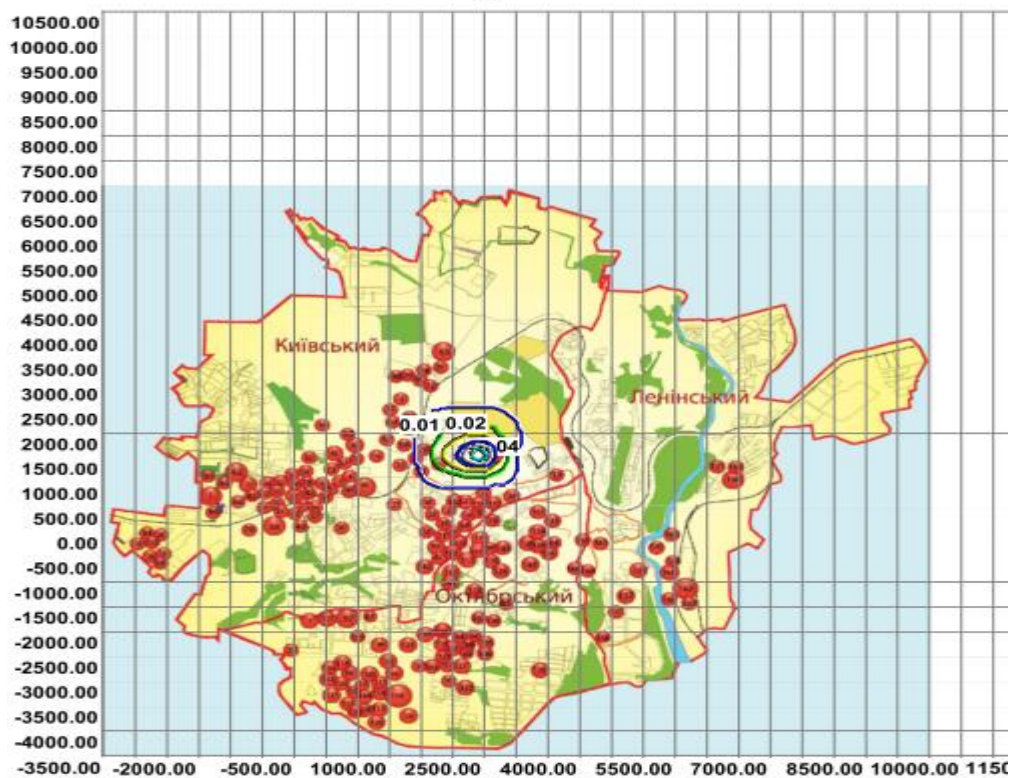




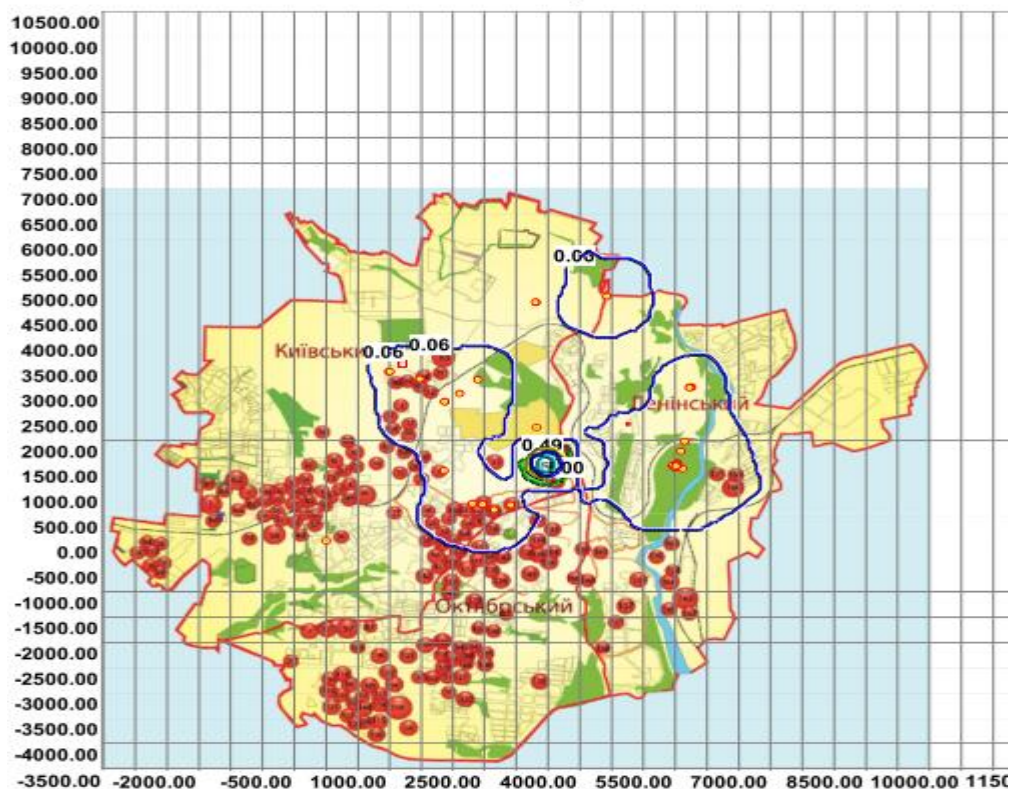
## 2735 Масло мінеральне нефтяне



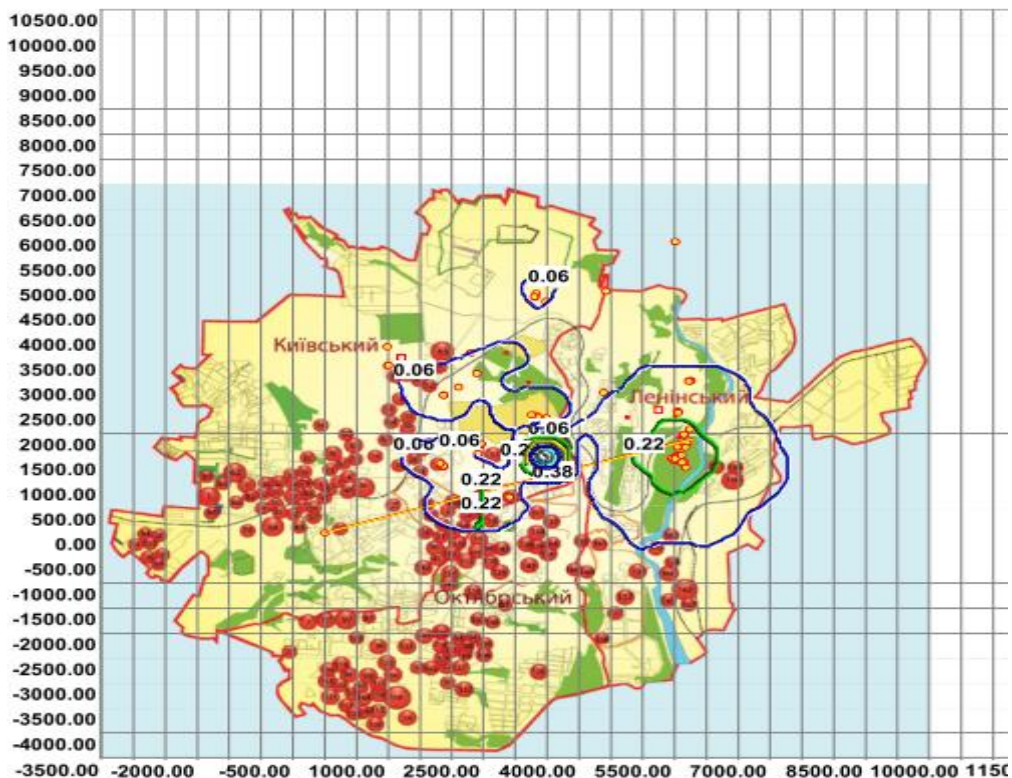
## 2747 Синтанол дс-10



## 2750 Сольвент нафта

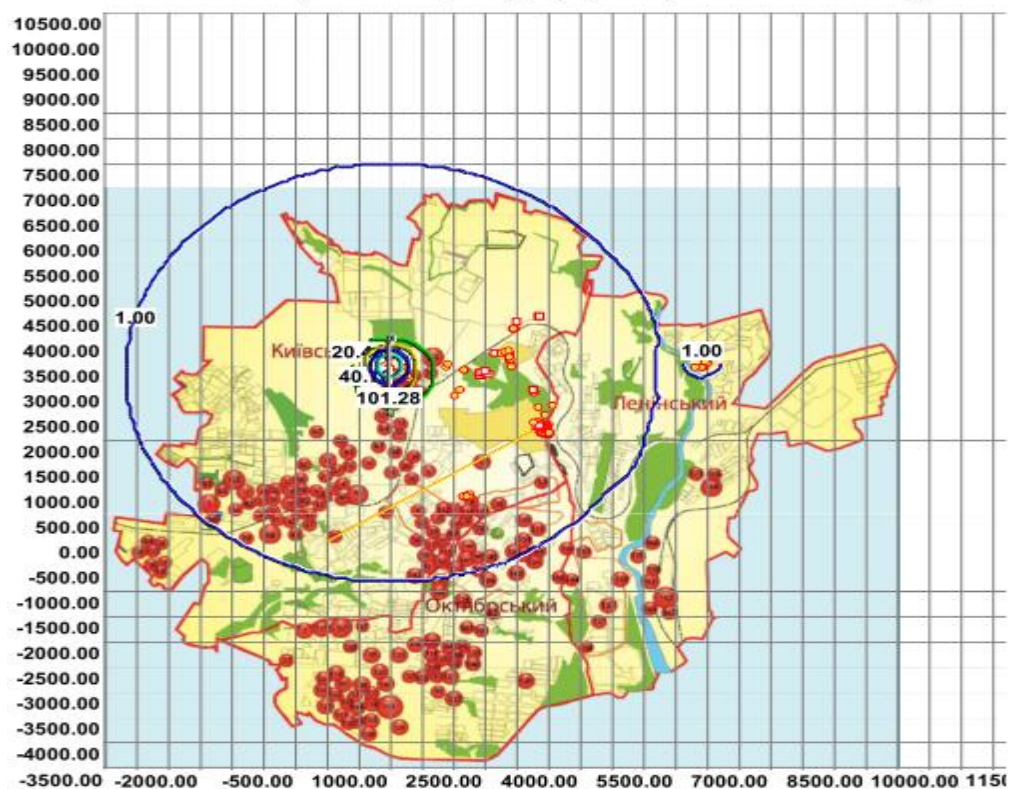


## 2752 Уайт-спірит

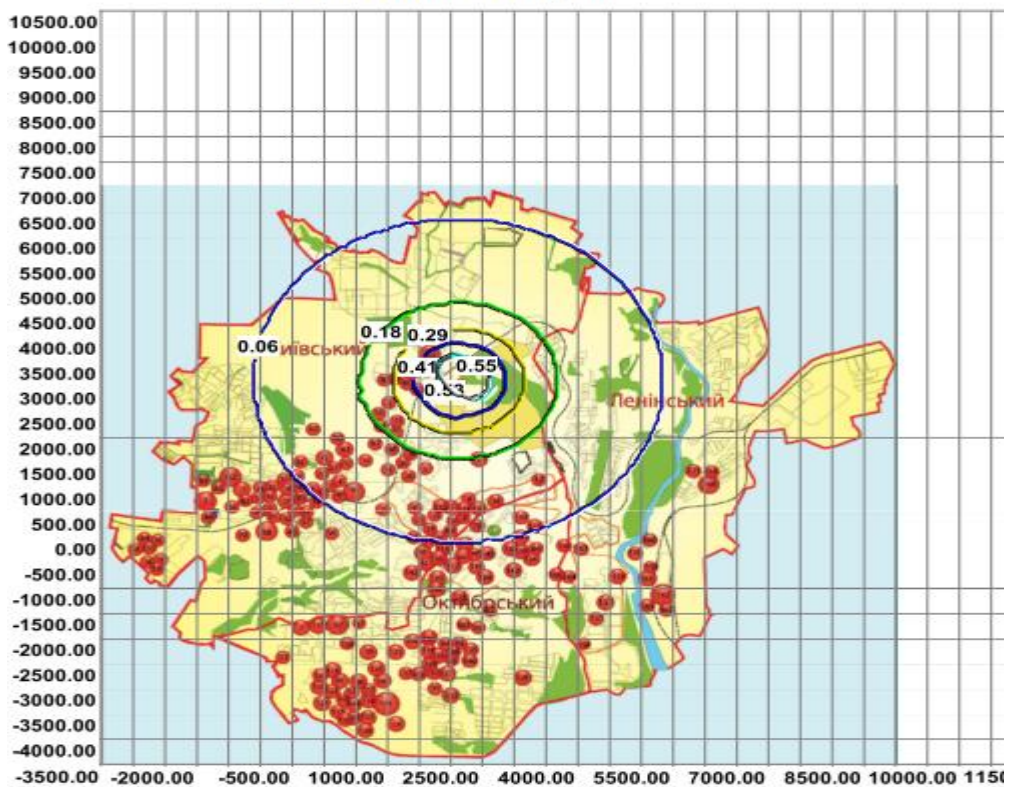




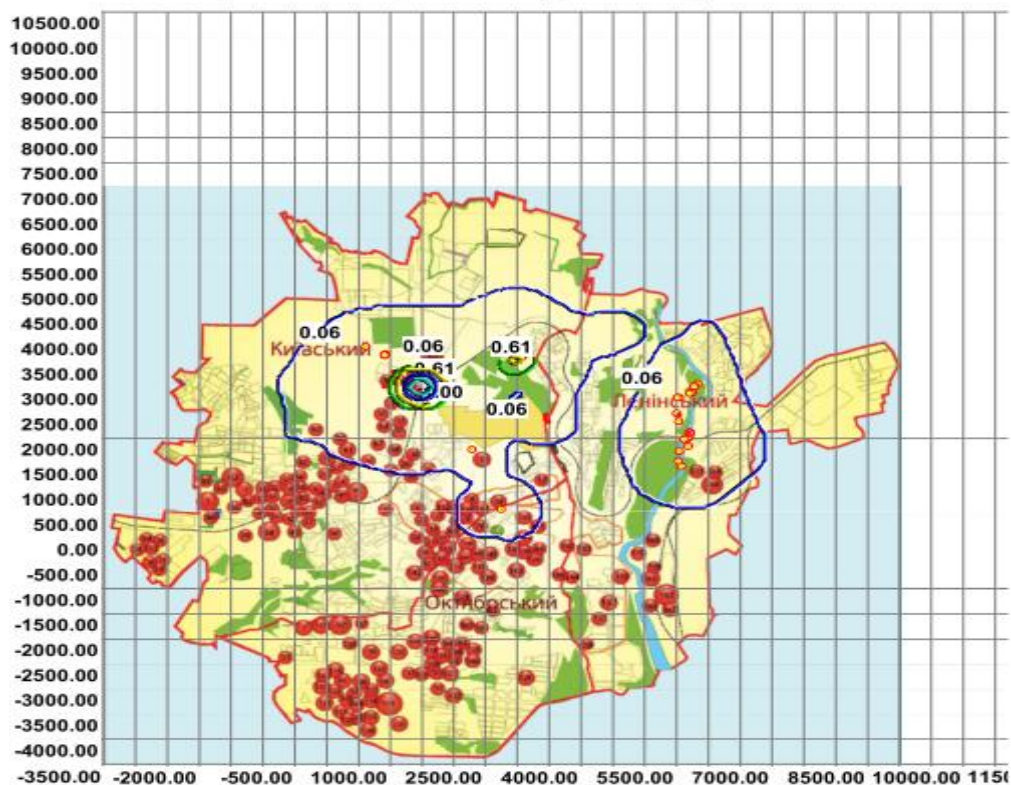
## 2902 Зважені речовини, недиференційовані за складом



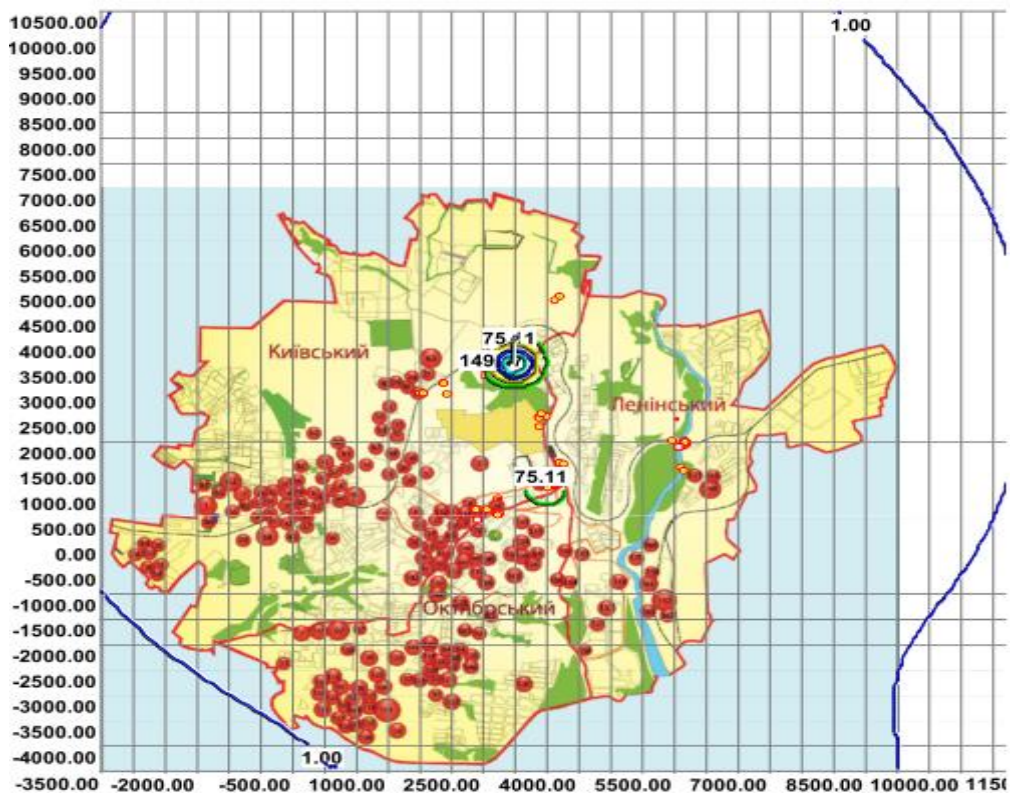
## 2903 Зола сланцева



2907 Пил неорганічний, що містить двоокис кремнію більше 70%

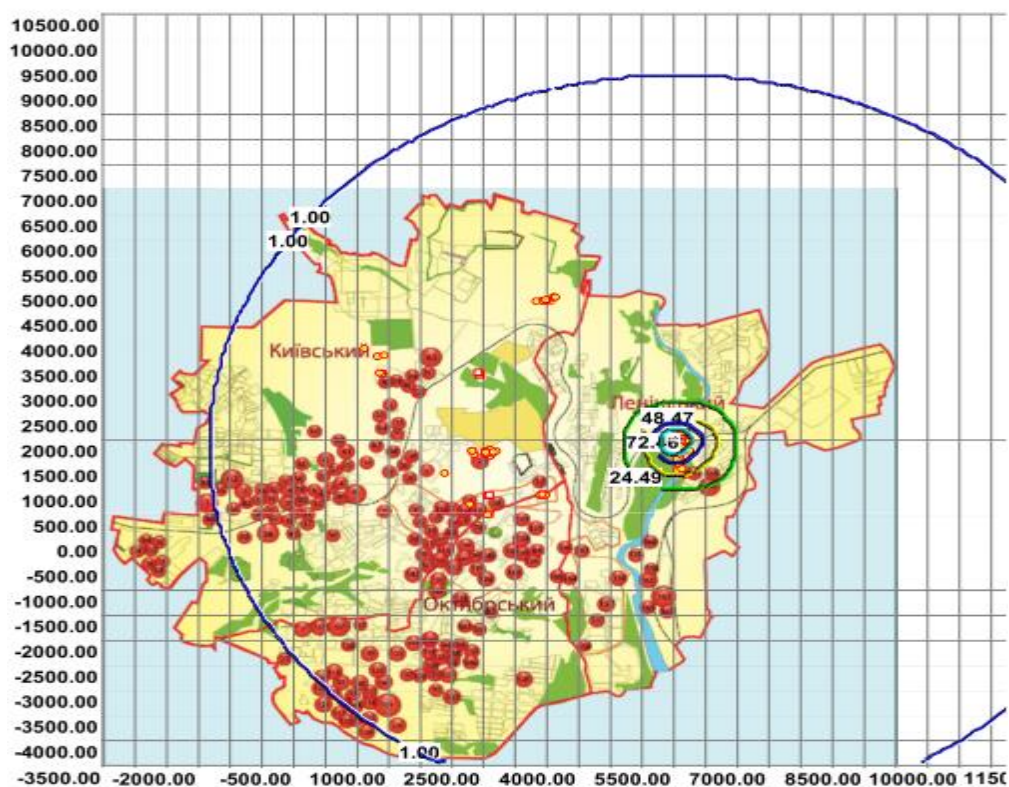


2908 Пил неорганічний, що містить двоокис кремнію 70-20%

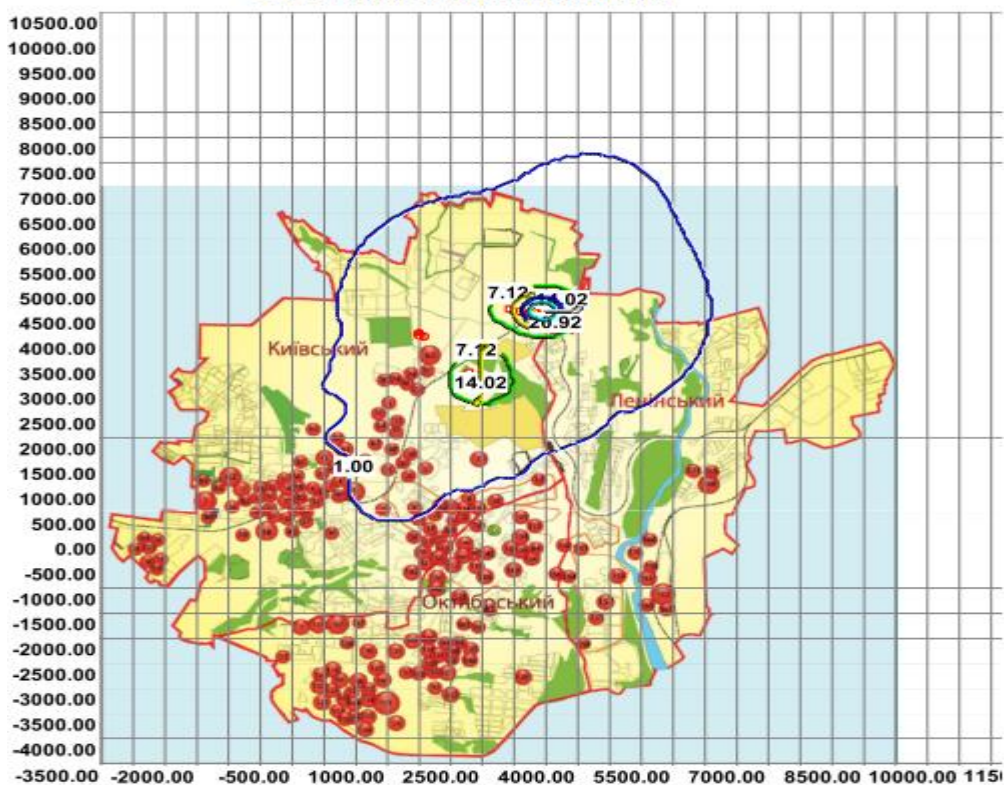




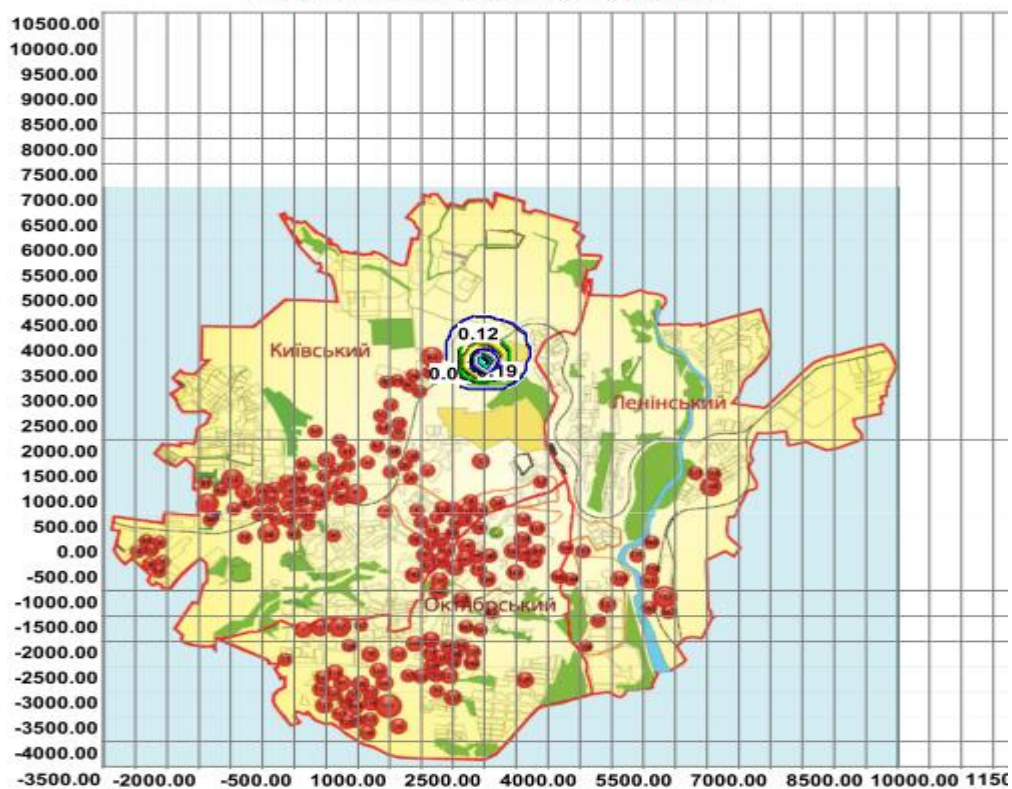
## 2909 Пил неорганічний, що містить двоокис кремнію нижче 20%



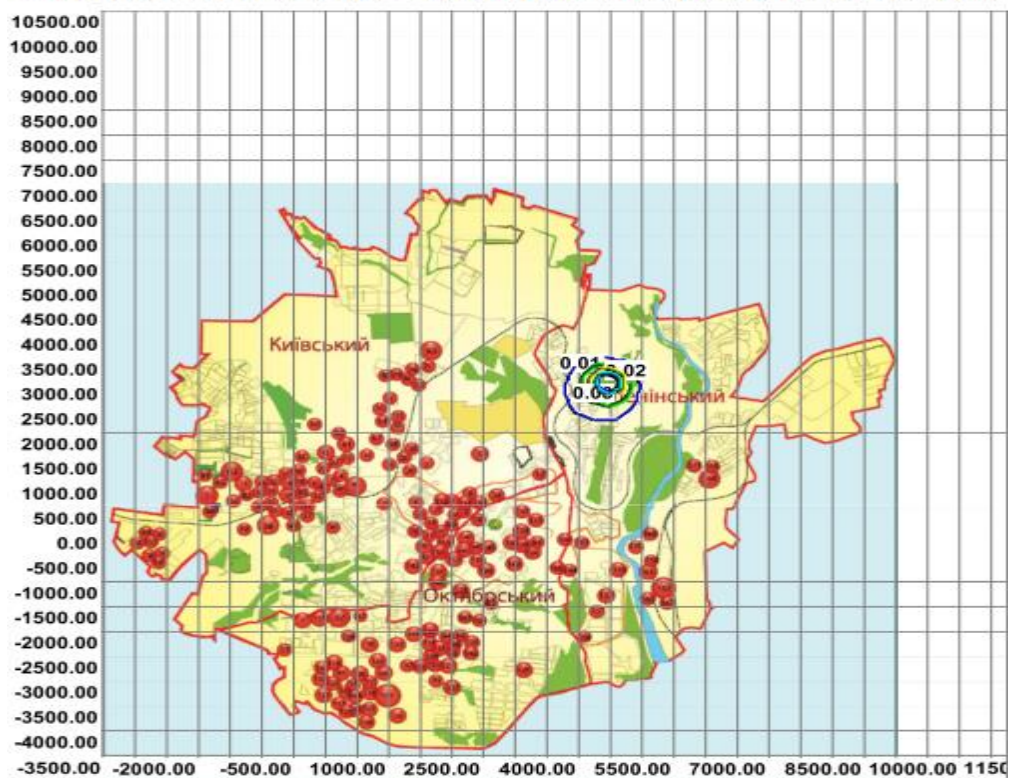
## 2911 Пил комбікормовий



## 2912 Пил кісткового борошна

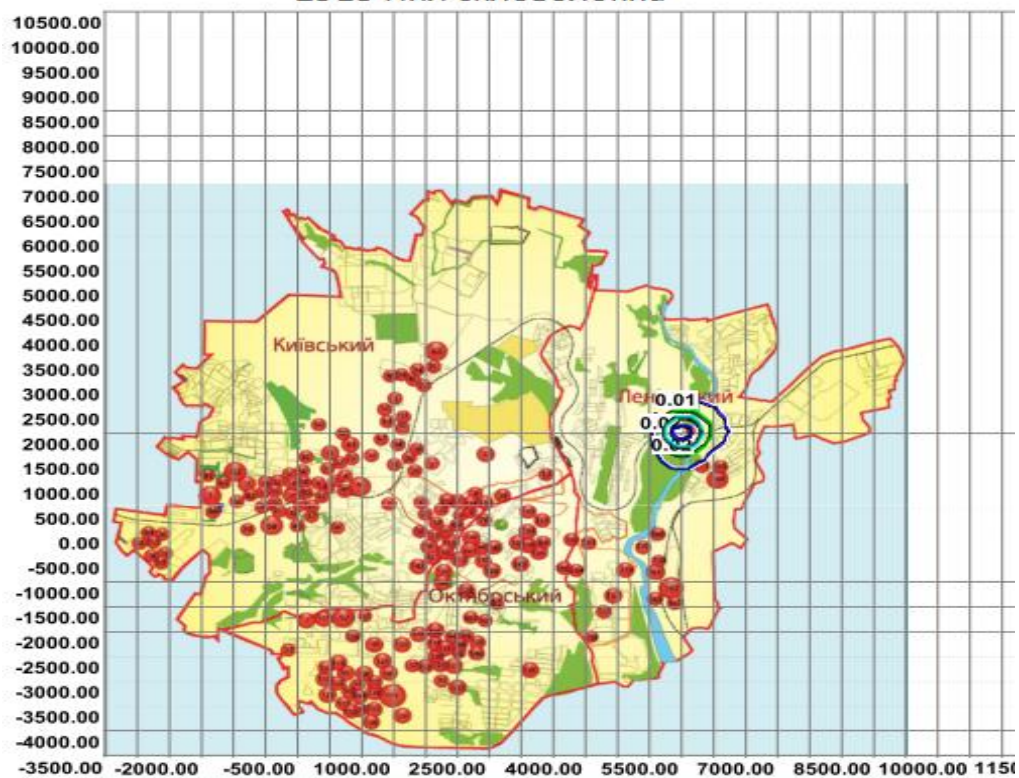


## 2914 Пил (неорганічний) гіпсового в'язучого з фосфогіпсу з цементом

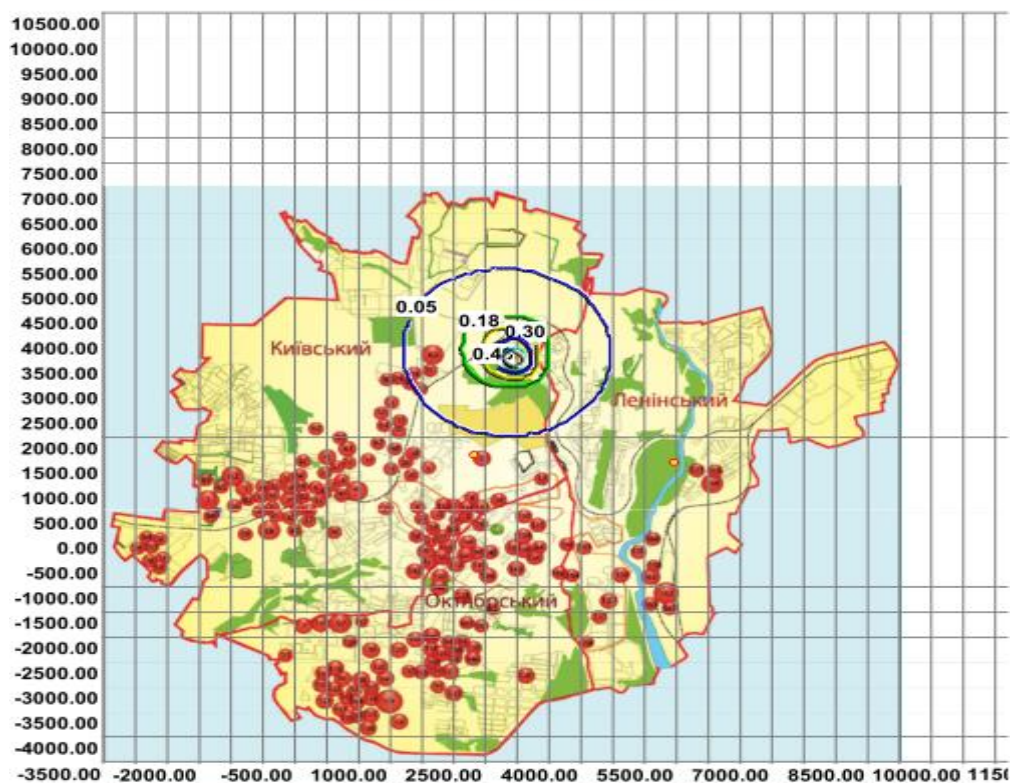




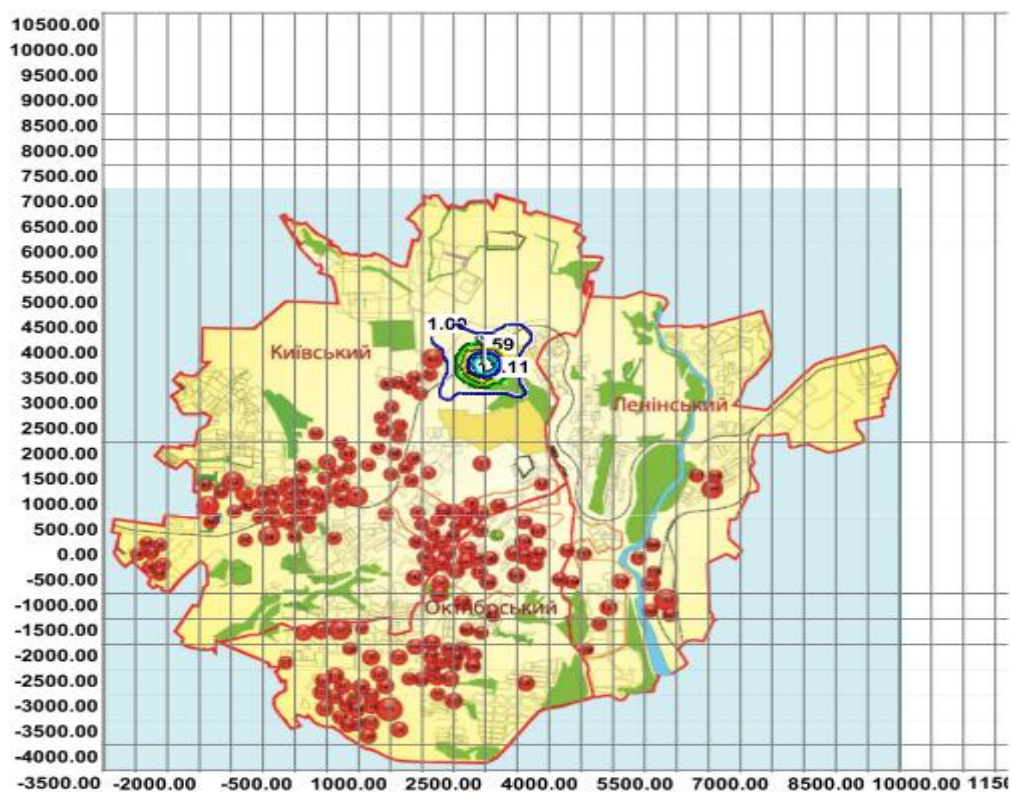
2915 Пил скловолокна



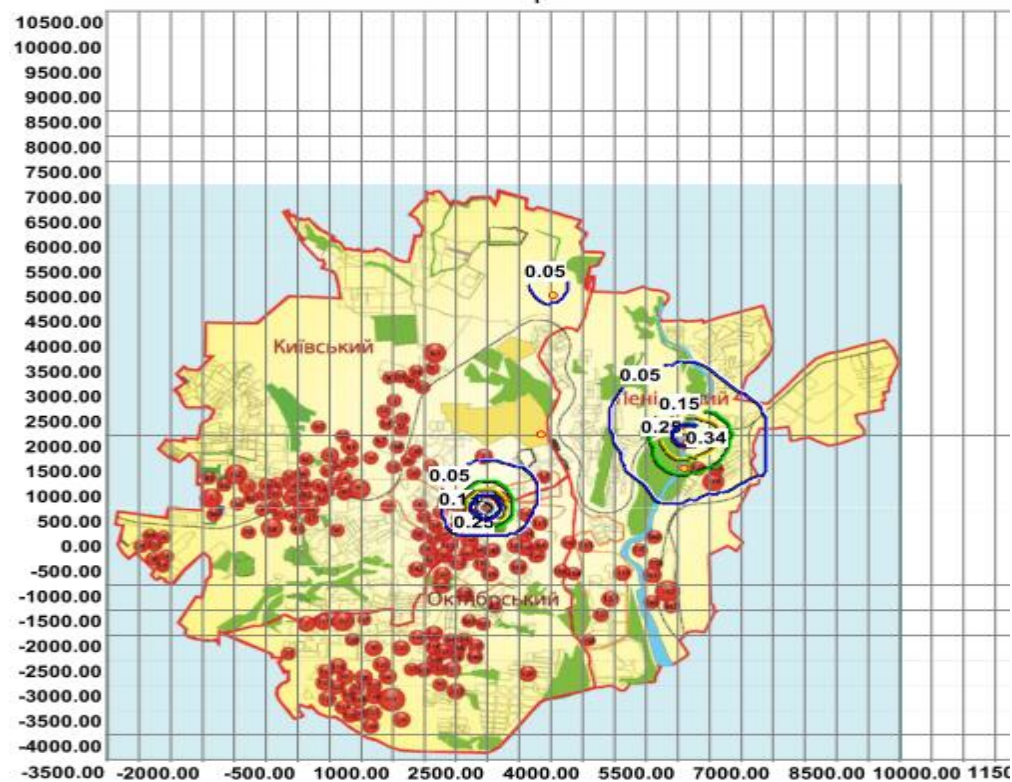
2917 Пил хлопковий



2918 Пил цементного виробництва

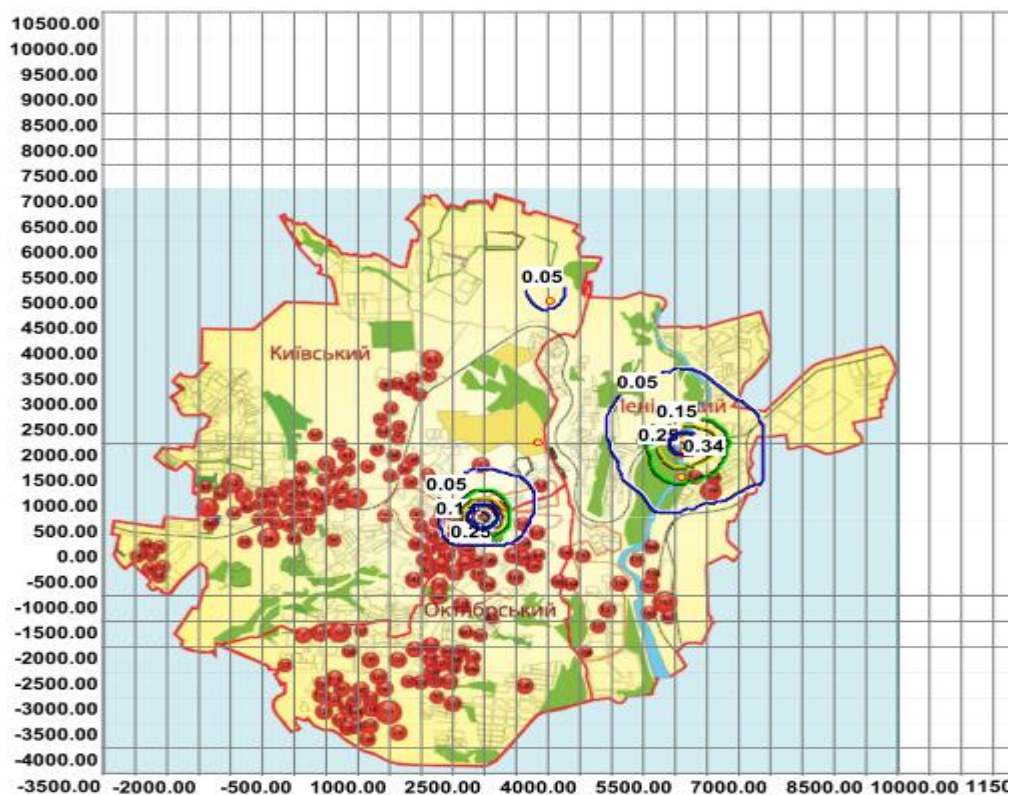


2920 Пил шерстяний

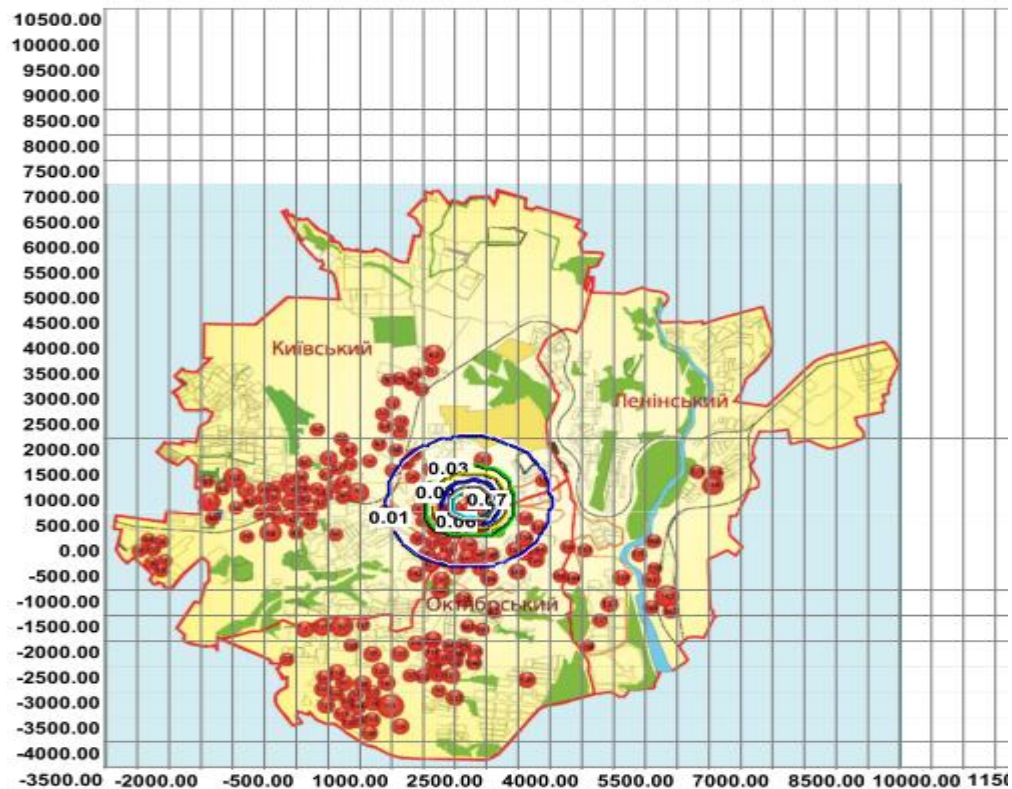




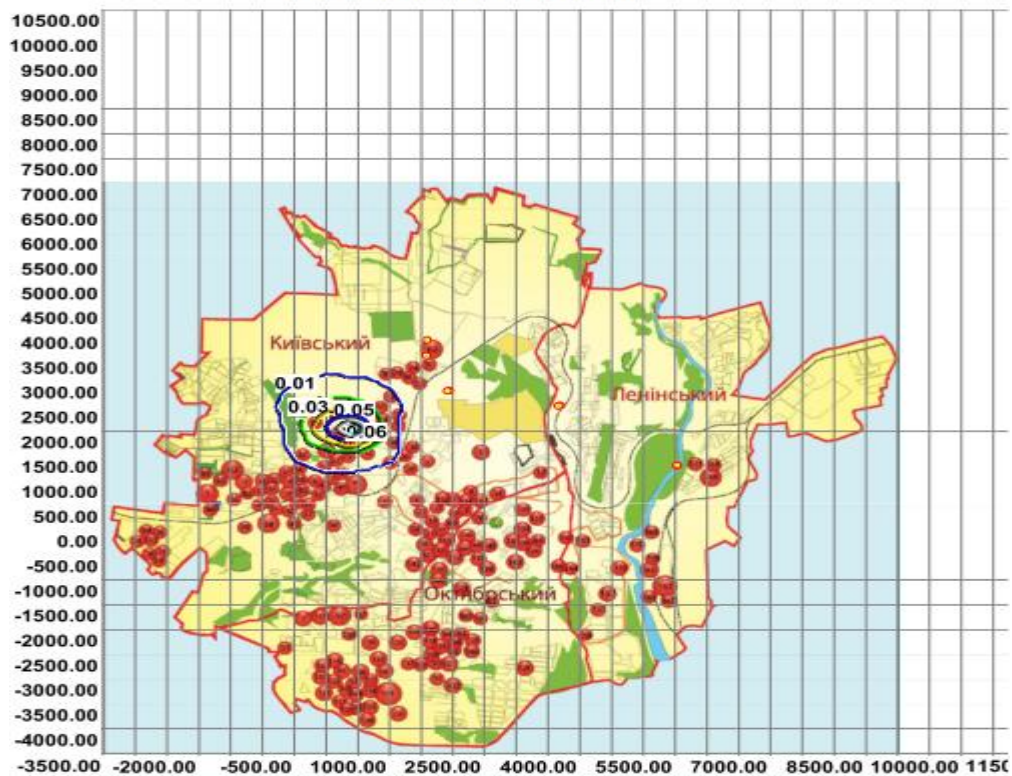
2921 Пил полівінлхлориду



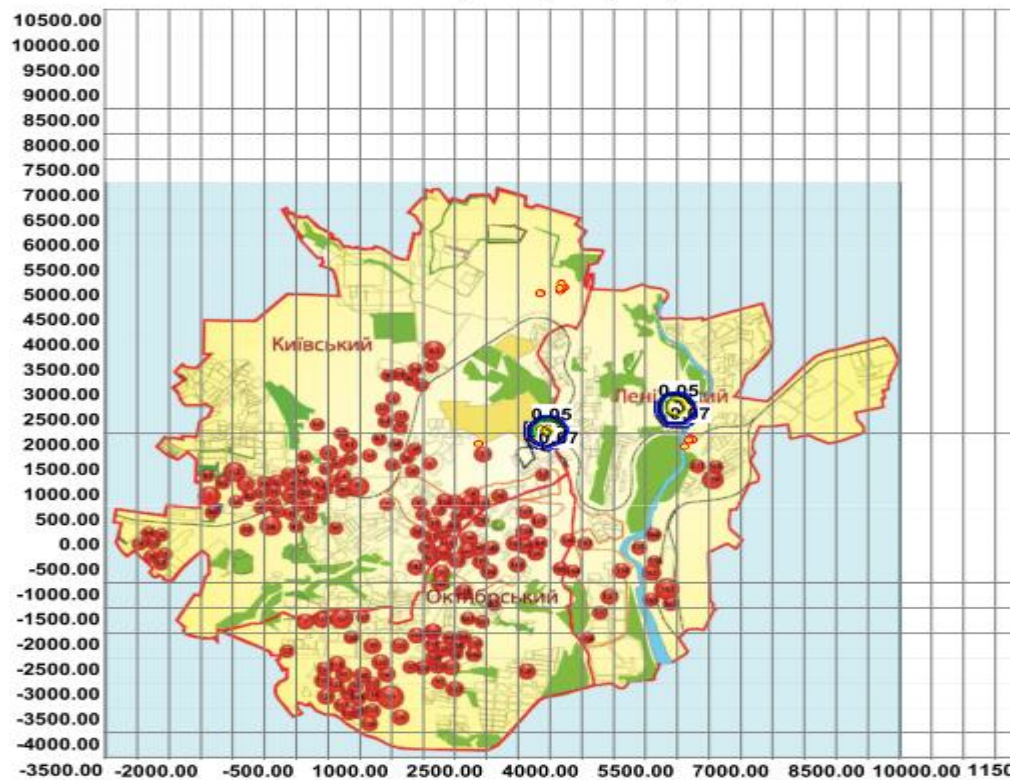
2922 Пил поліпропіленовий



10094 Кальцію хлорид

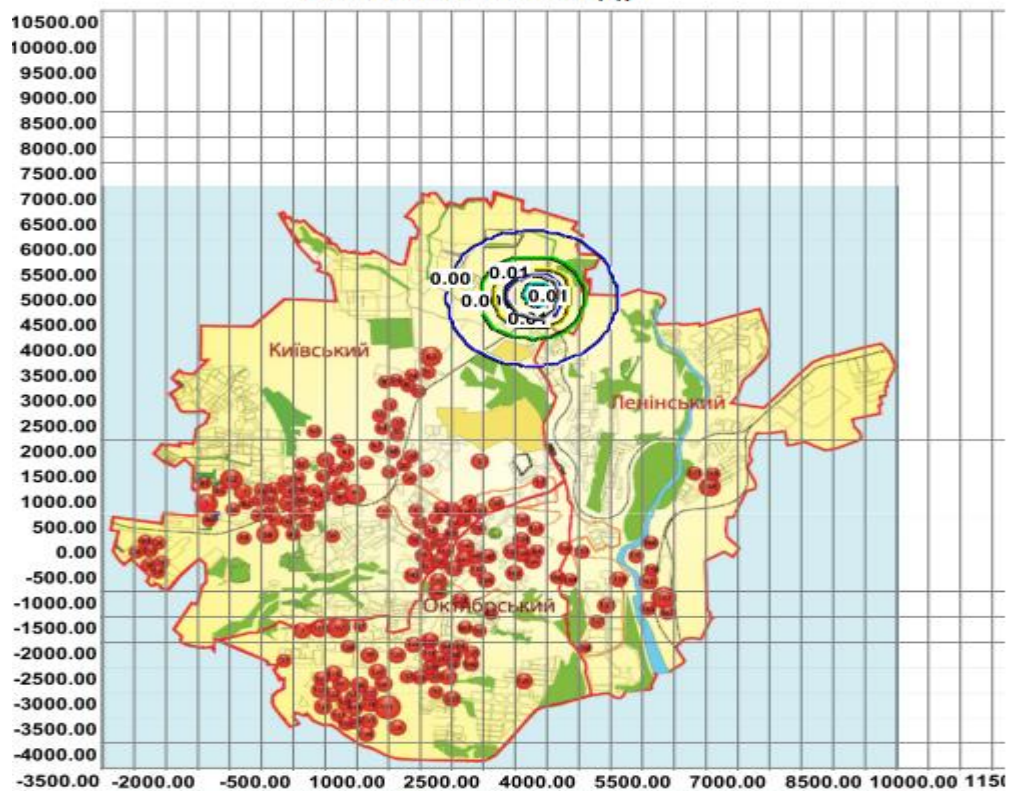


10152 Натрію ортофосфат

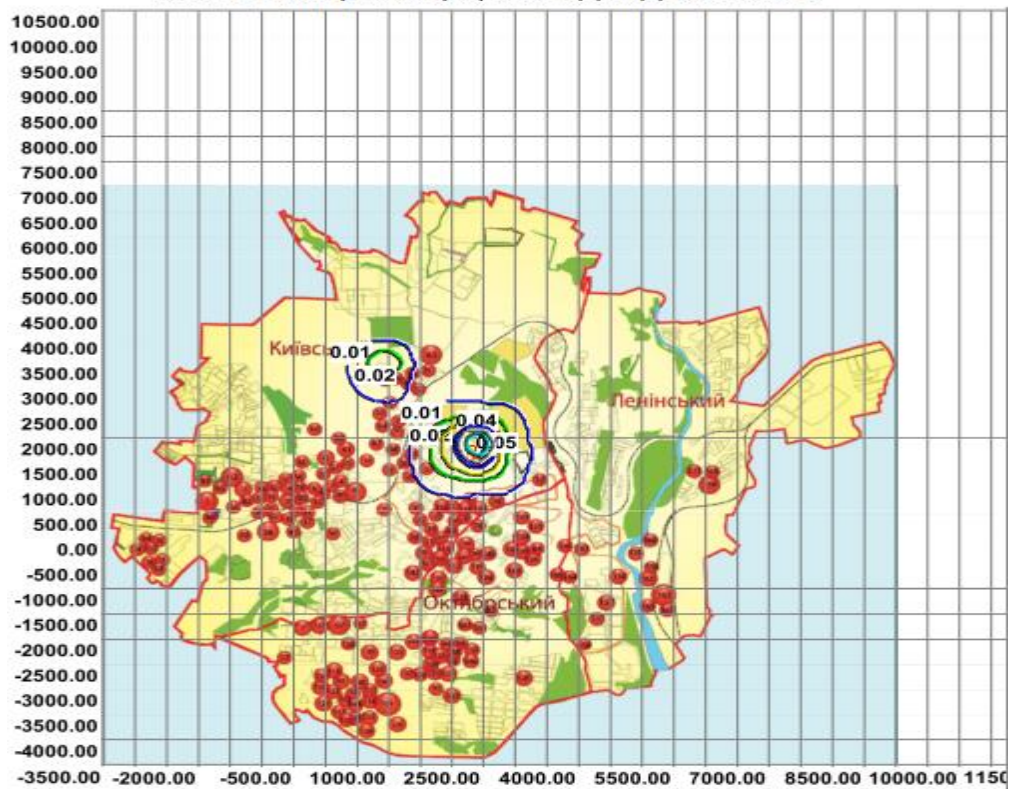




10172 Пил поліаміду

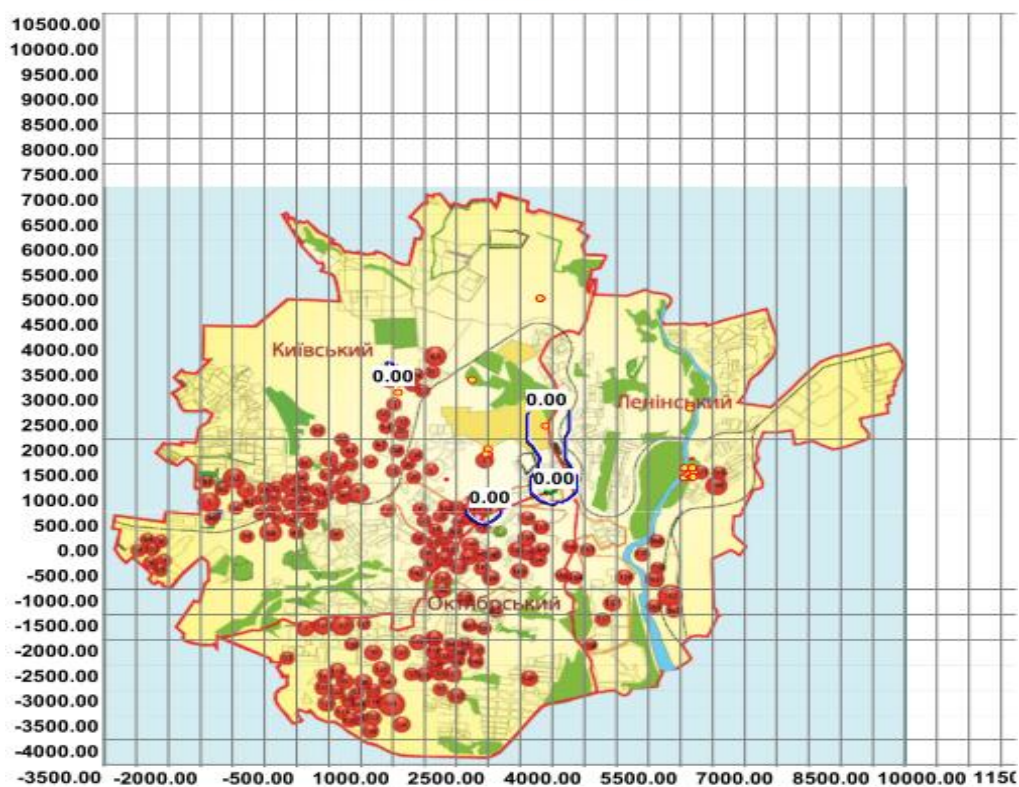


10178 Пил фенолформальдегідної смоли

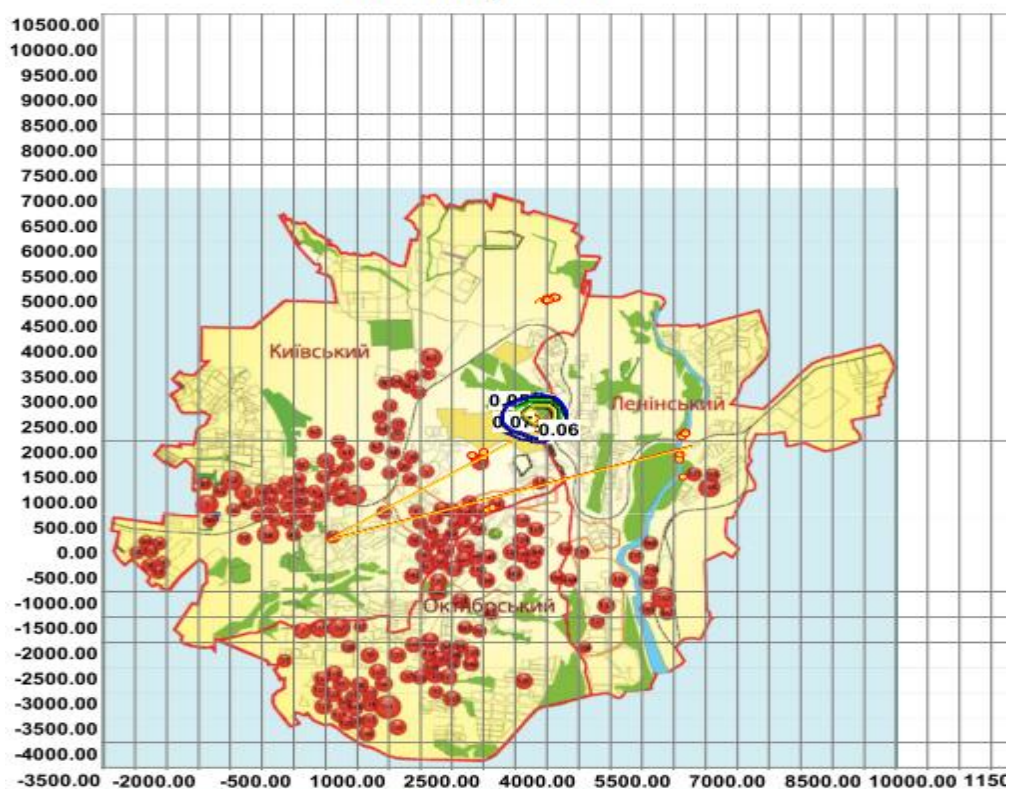




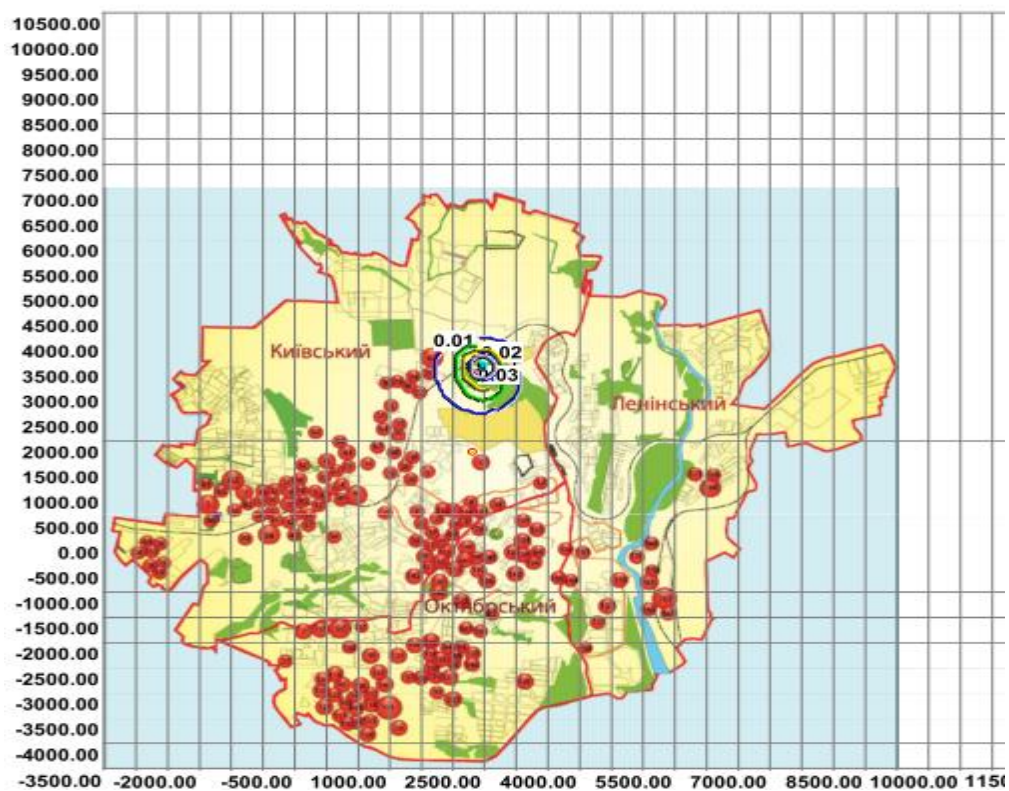
## 10226 Титану діоксид



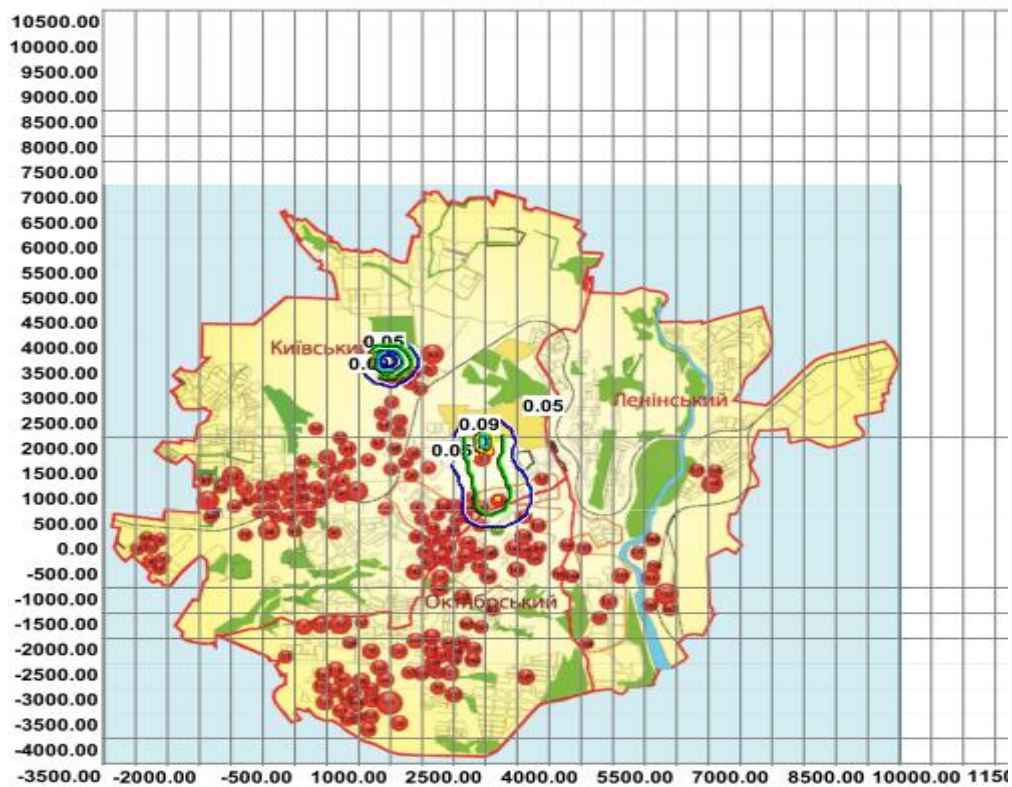
## 10265 Емульсон



## 10279 Полівінілбутираль

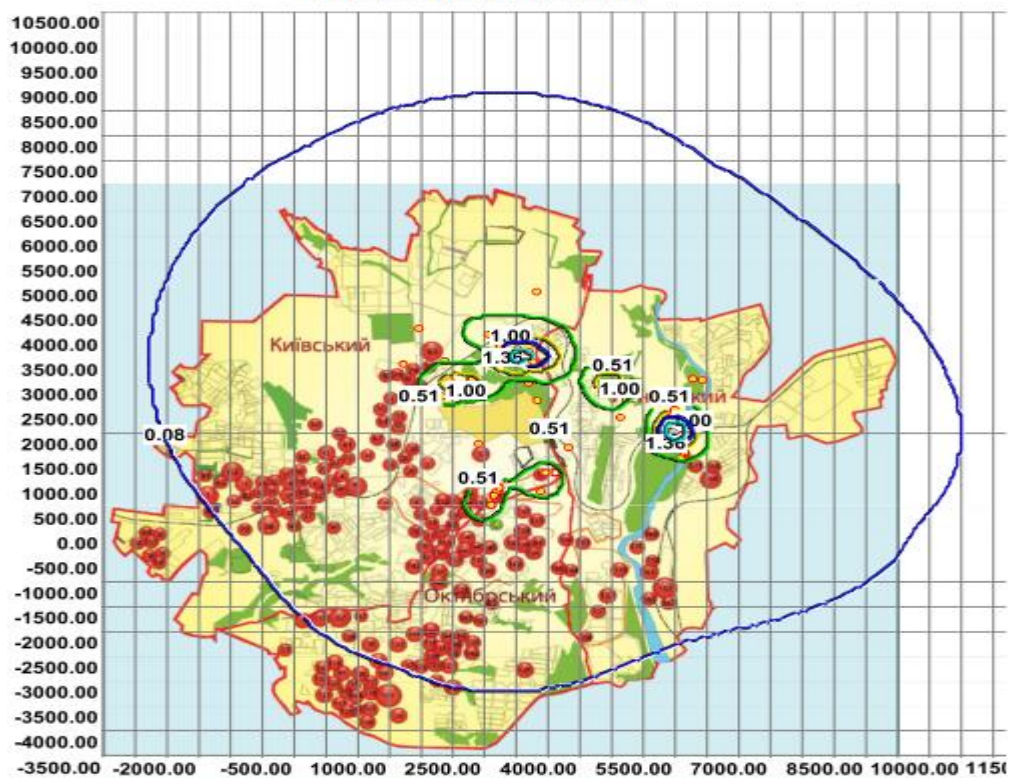


## 10292 Пил абразивний

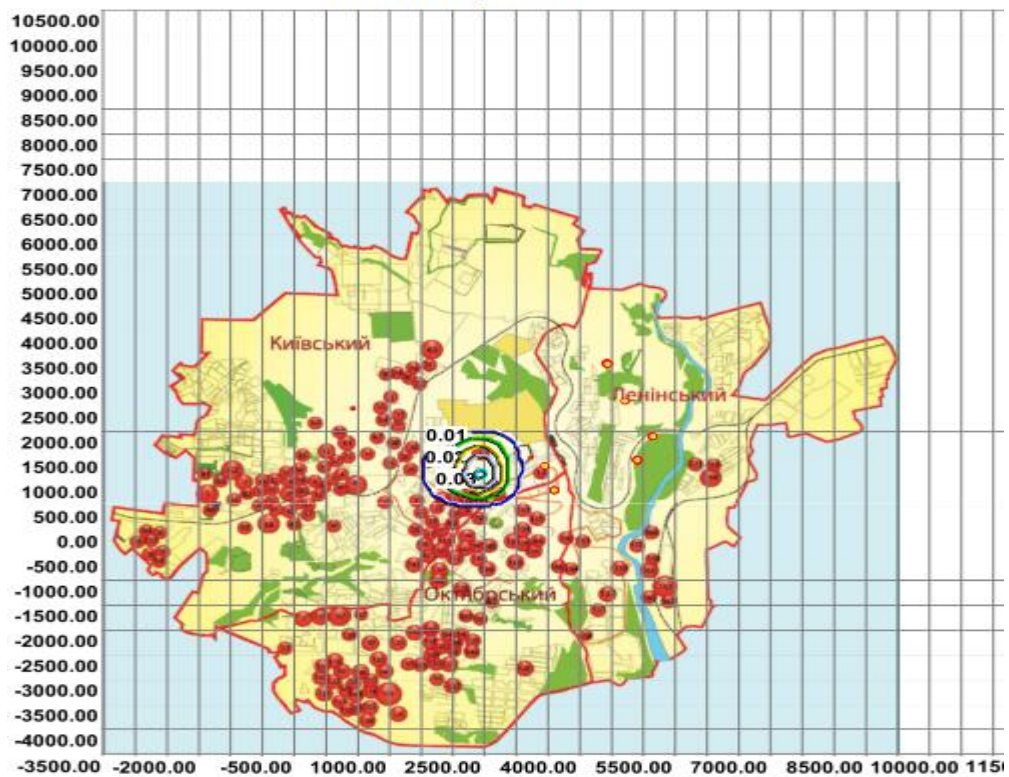




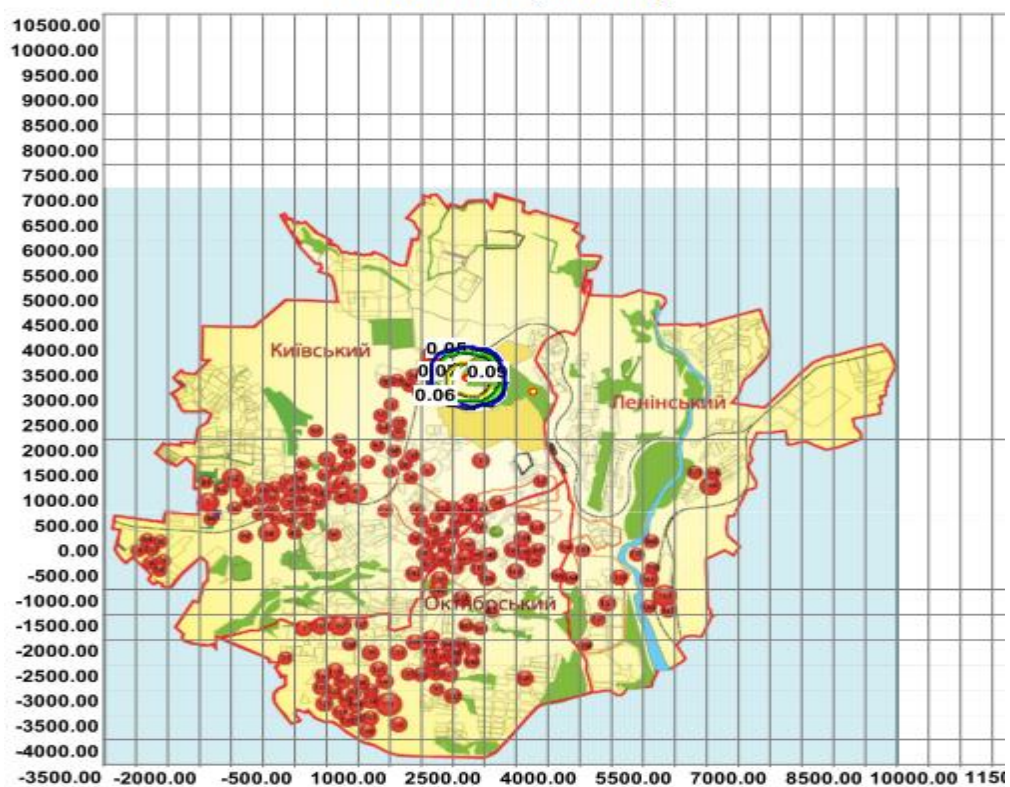
10293 Пил деревини



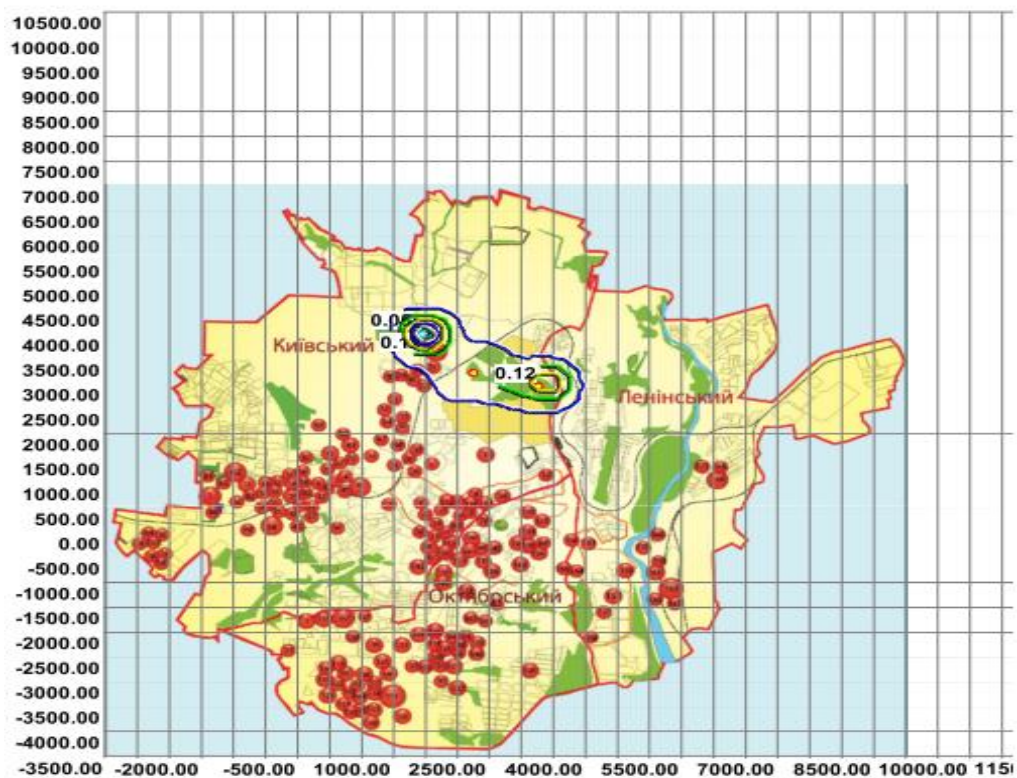
10304 Пропан



10335 Пил крохмалу

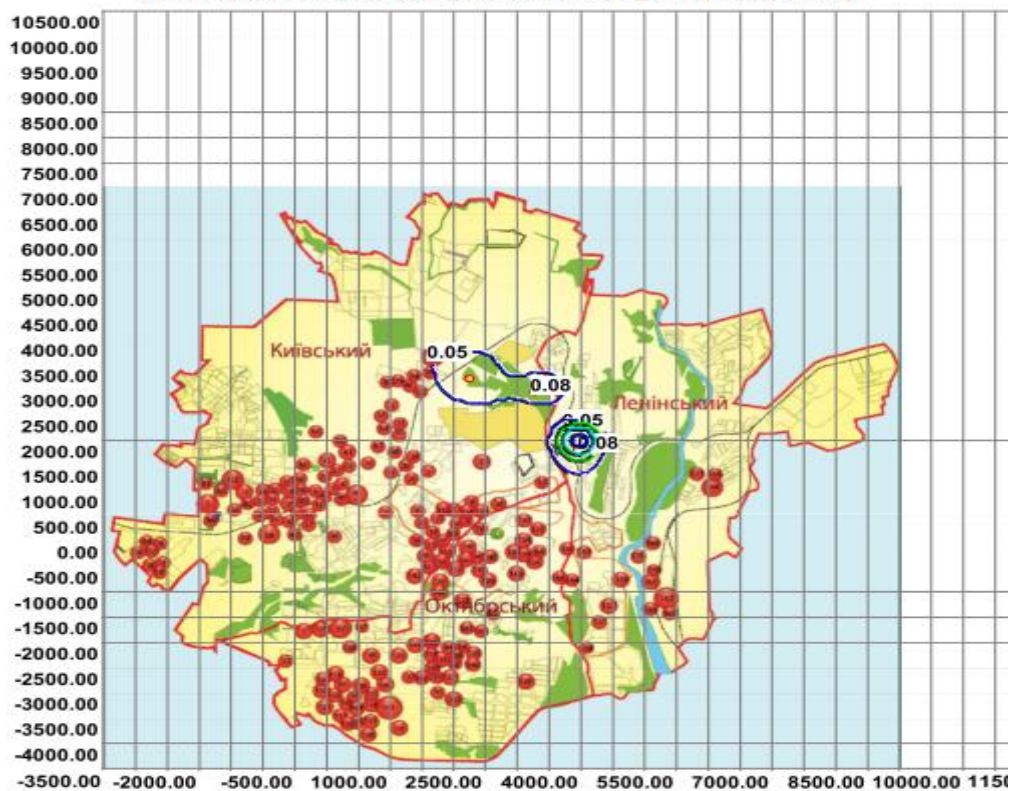


10361 Пил борошна

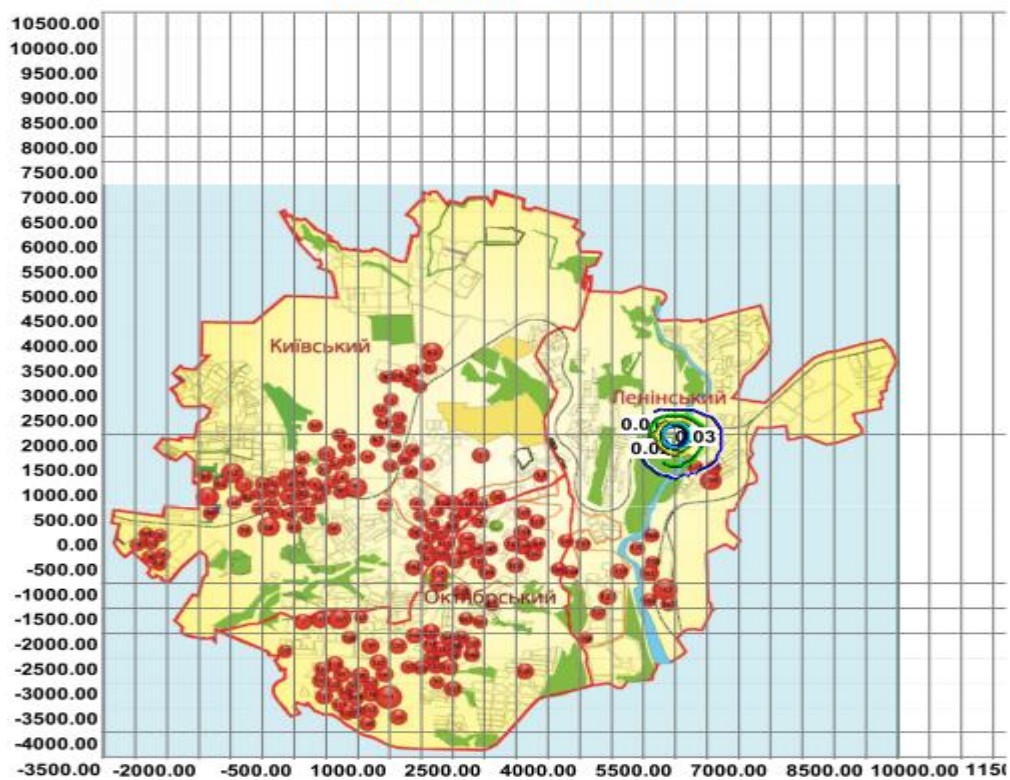




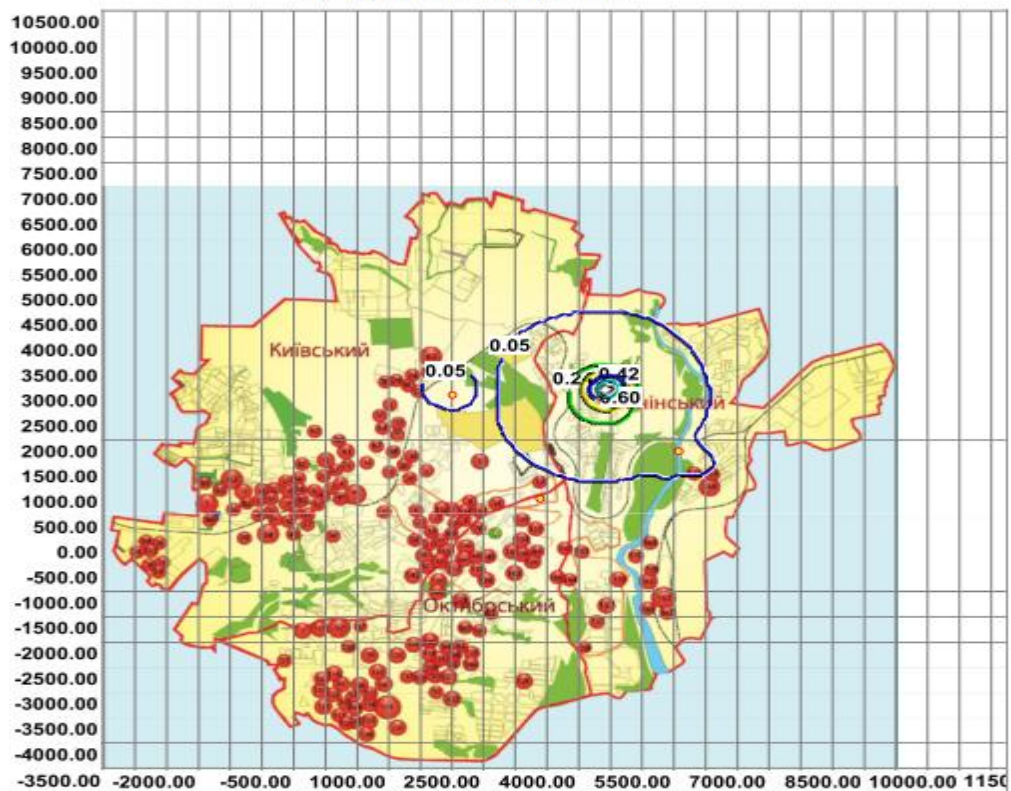
10363 Пил цукру, цукрової пудри (сахарози)



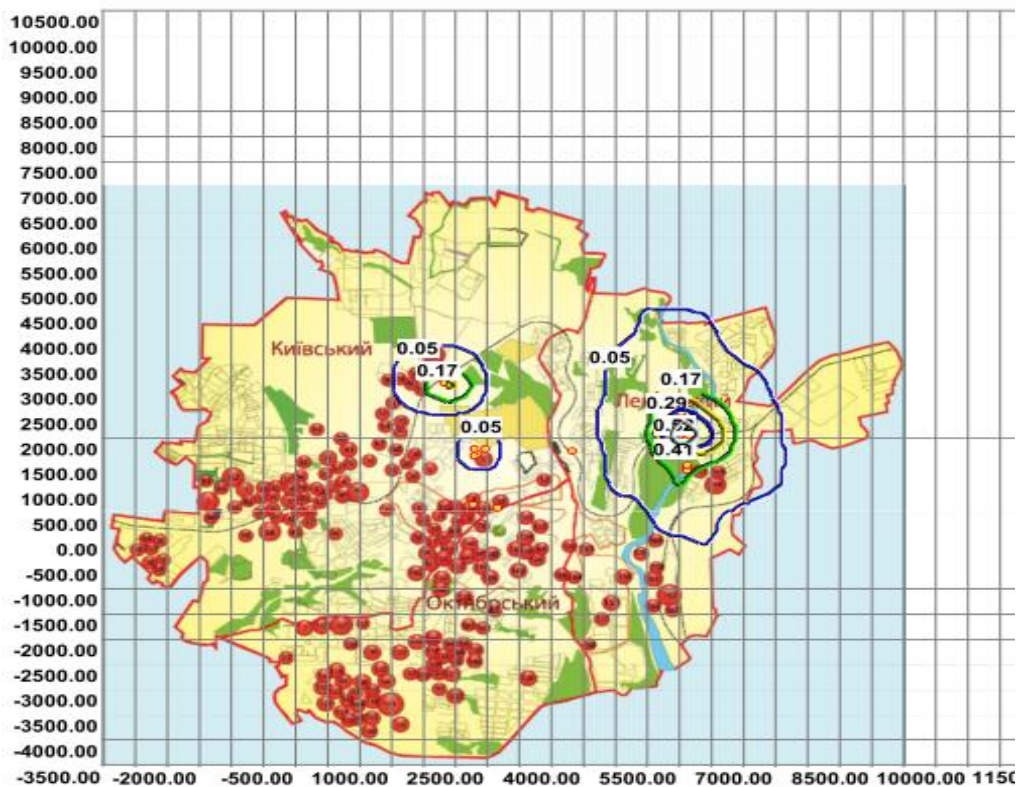
10368 Пил азбестовий



10400 Пил гумовий

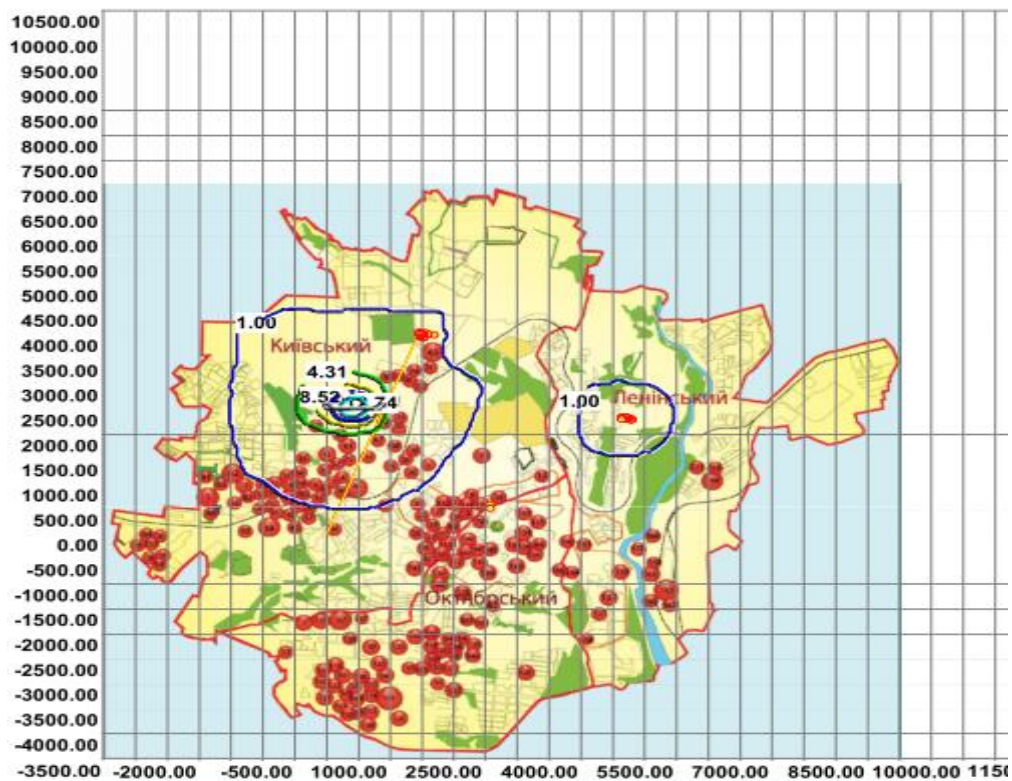


10414 Пил металевий

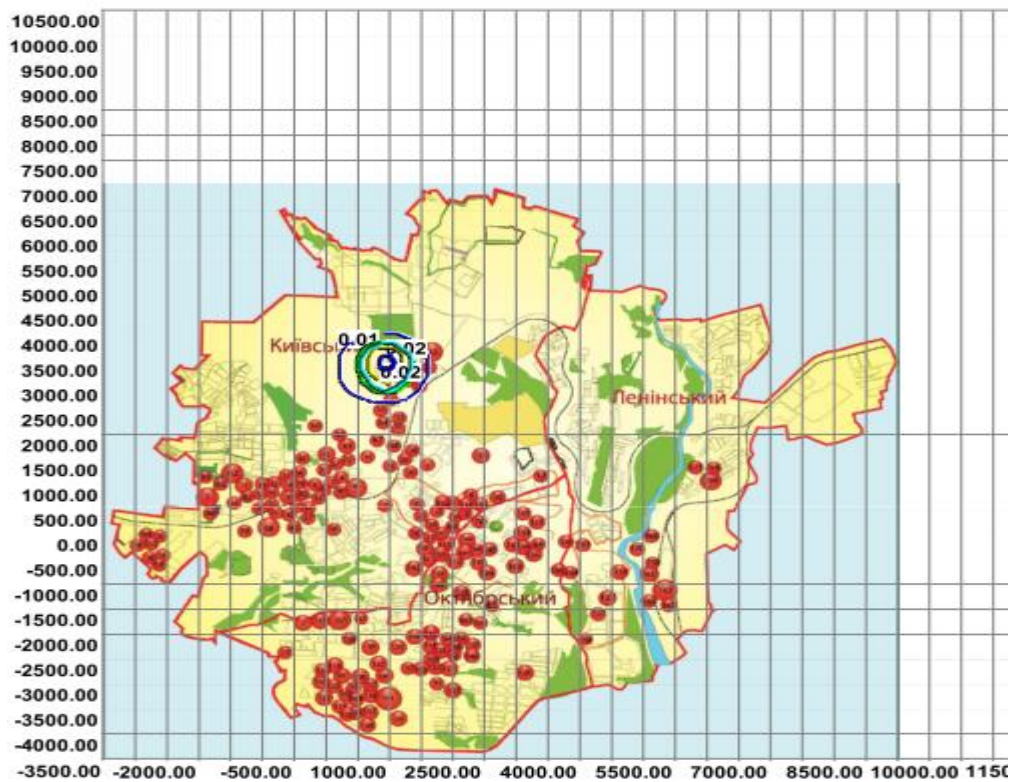




10417 Пил зерновий

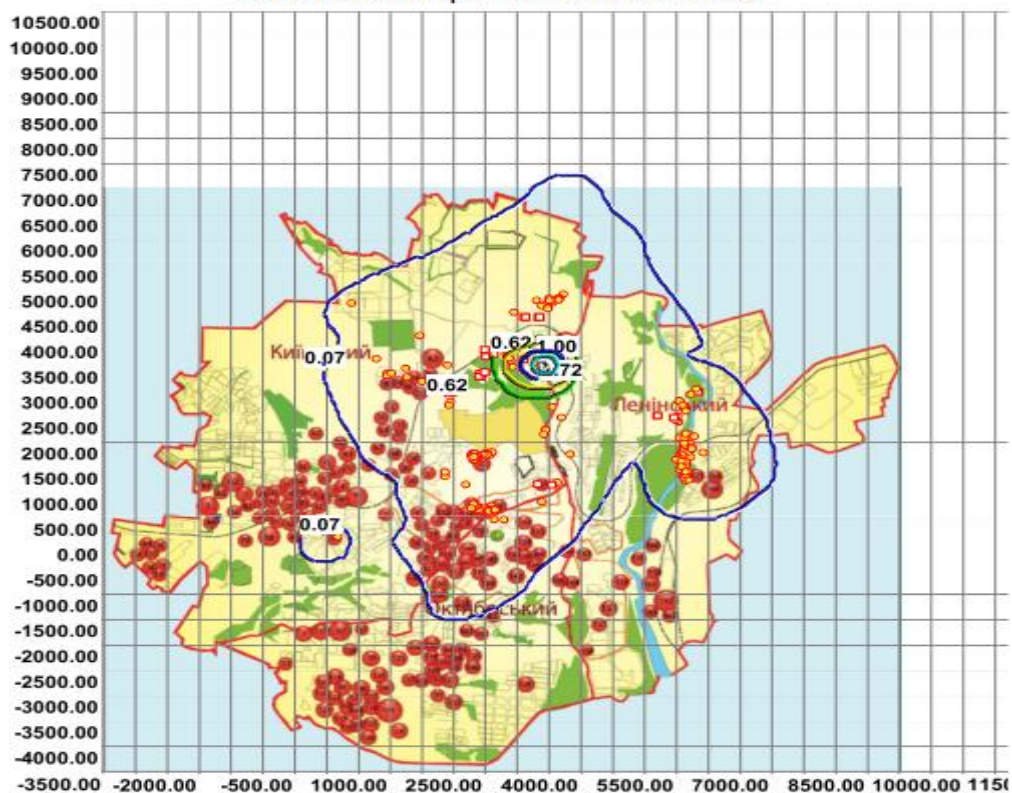


10428 Пил текстоліту

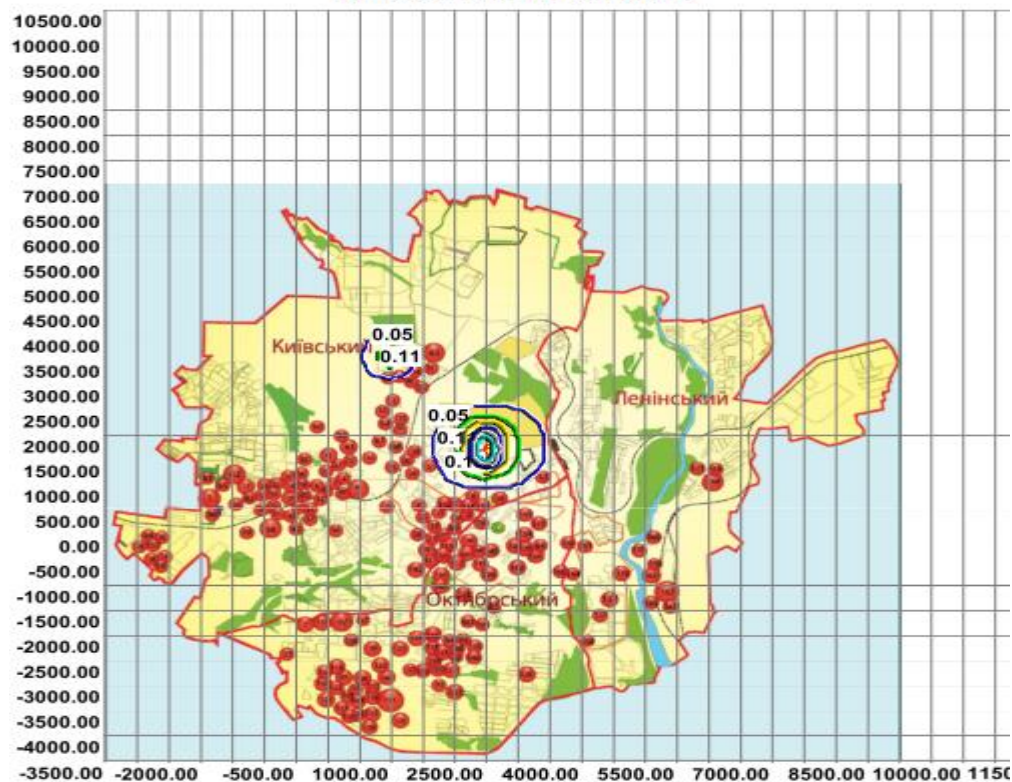




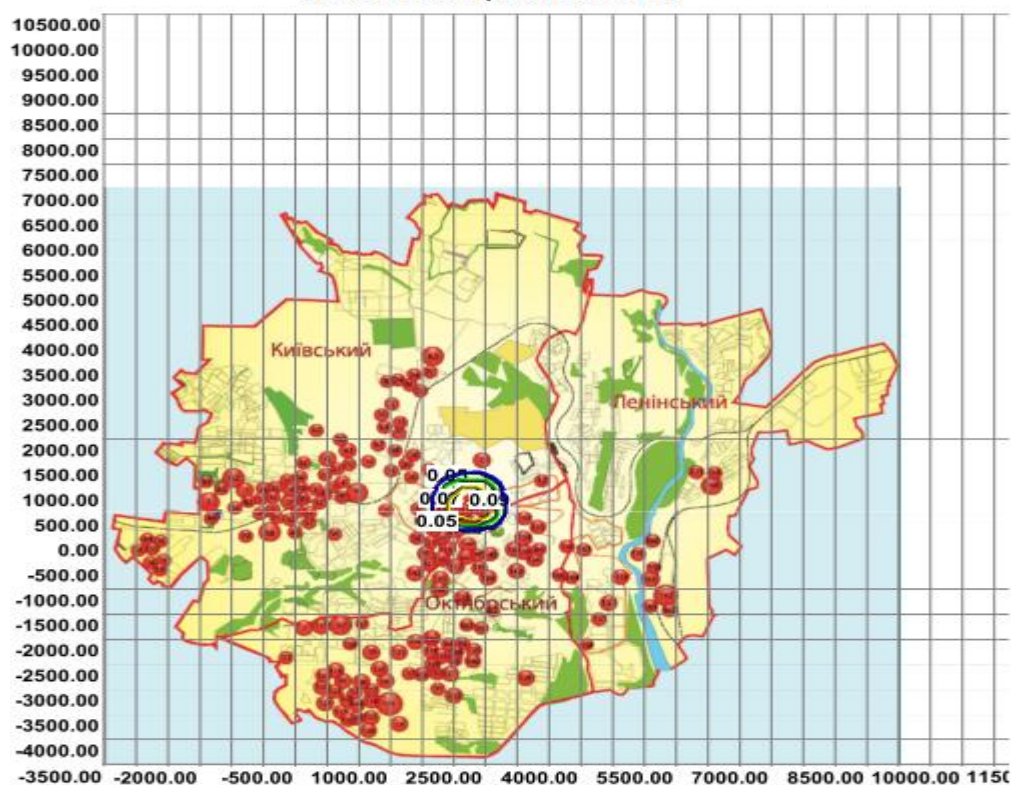
10431 Пил абразивно-металевий



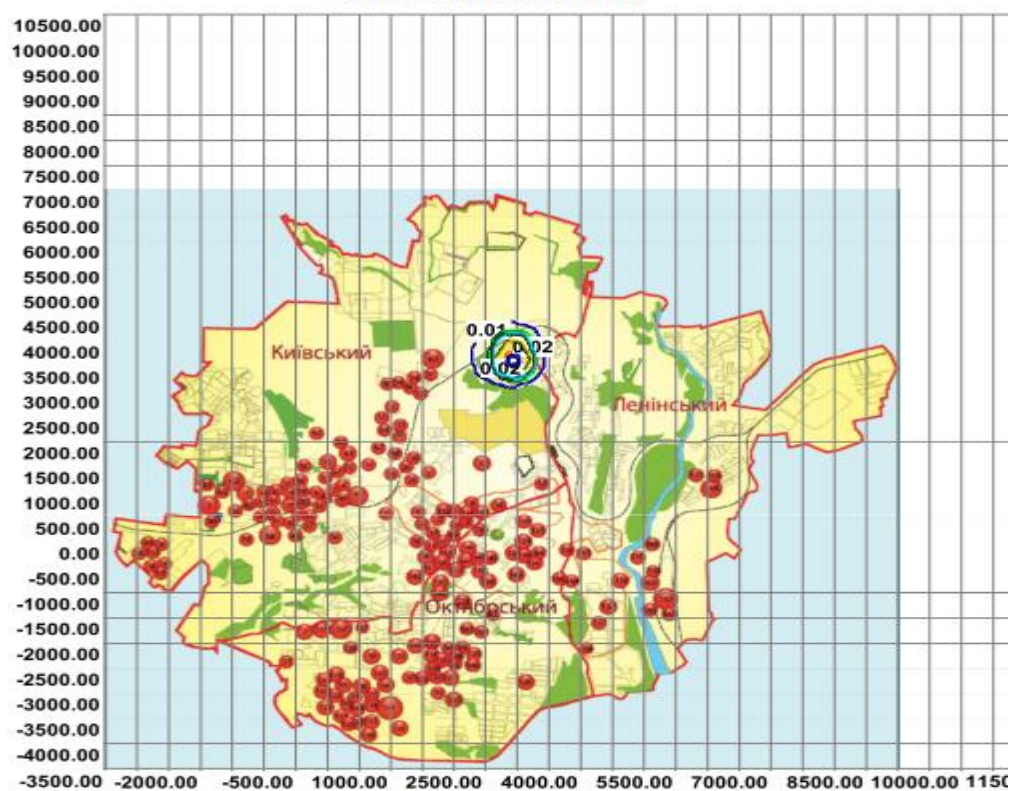
10433 Пил графітовий



10678 Пил фенопластів

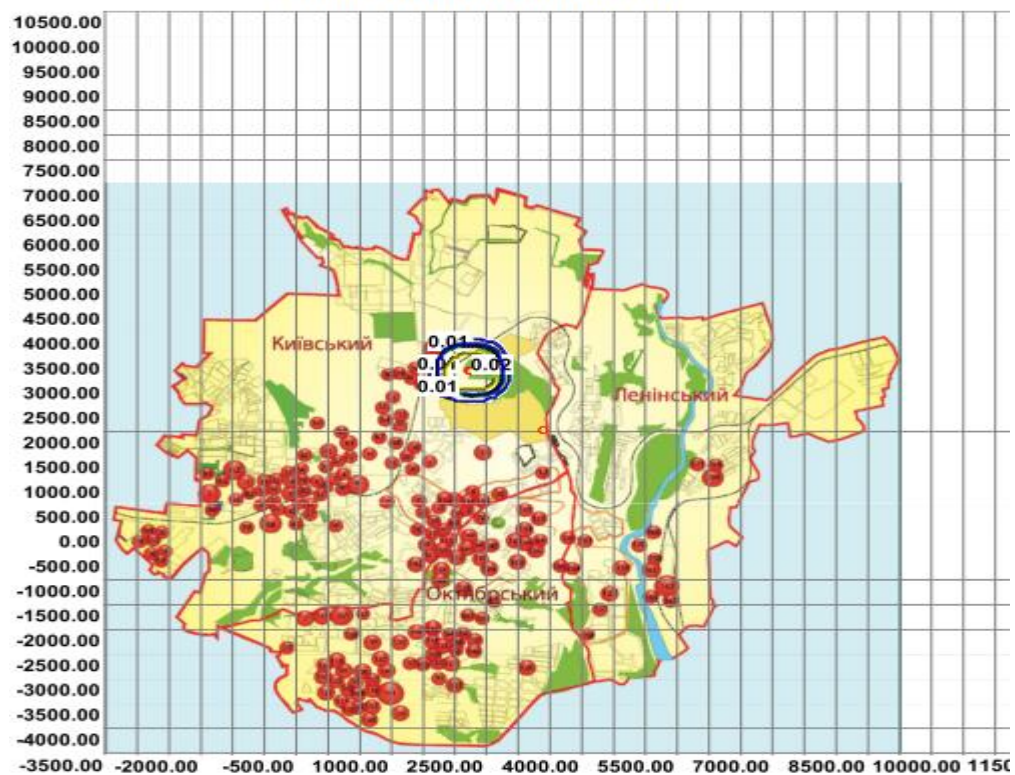


10937 Пил каучуку

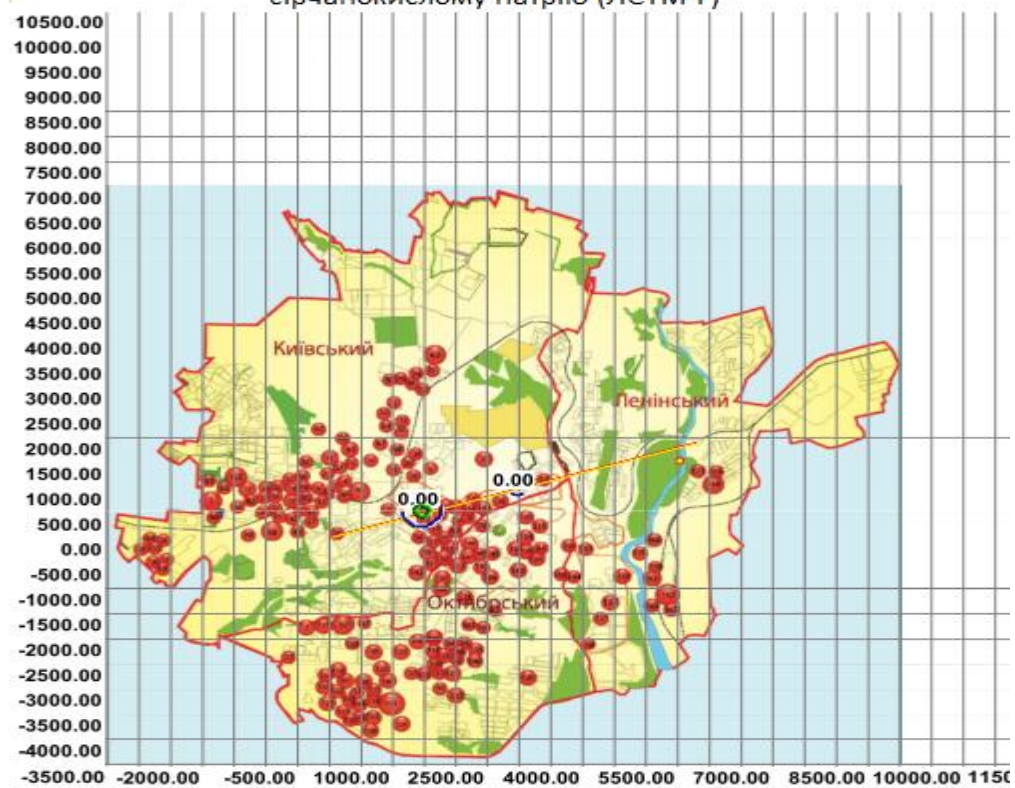




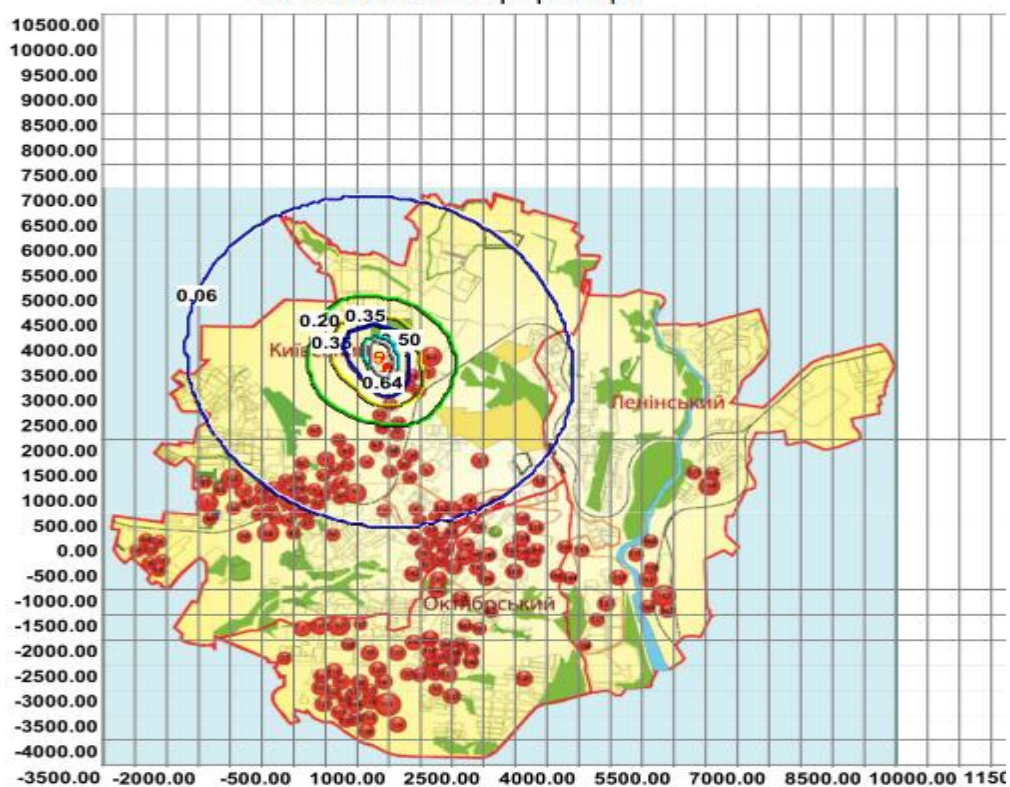
## 10943 Кислота лимонна



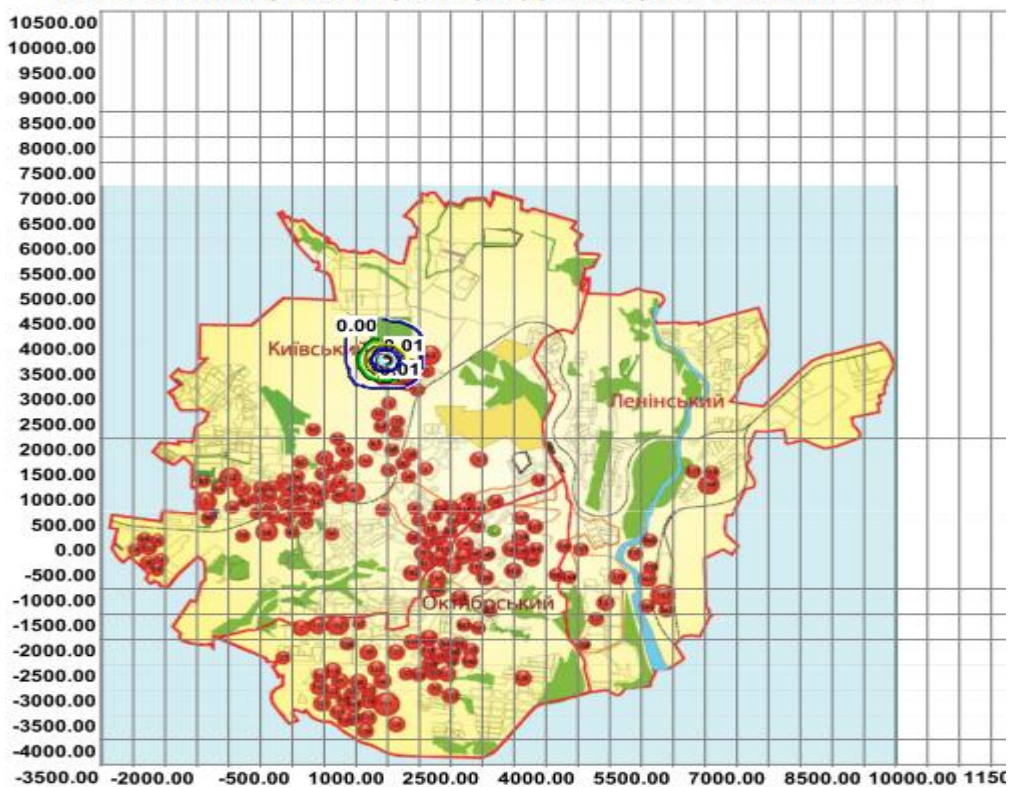
## 10949 Лігносульфанат технічний модифікований гранульований на сірчаноокислому натрію (ЛСТМ-Г)



10951 Люмінофор ктц-1

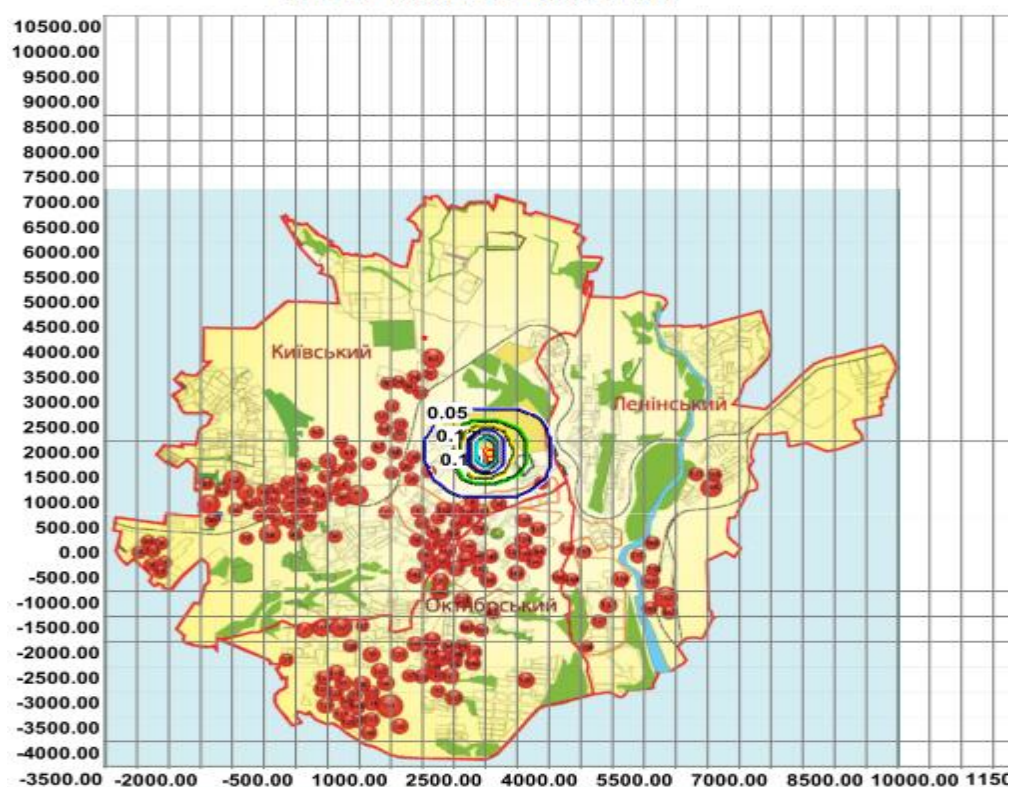


10982 Пил акрилонітрилбутадієнстирольних пластиків

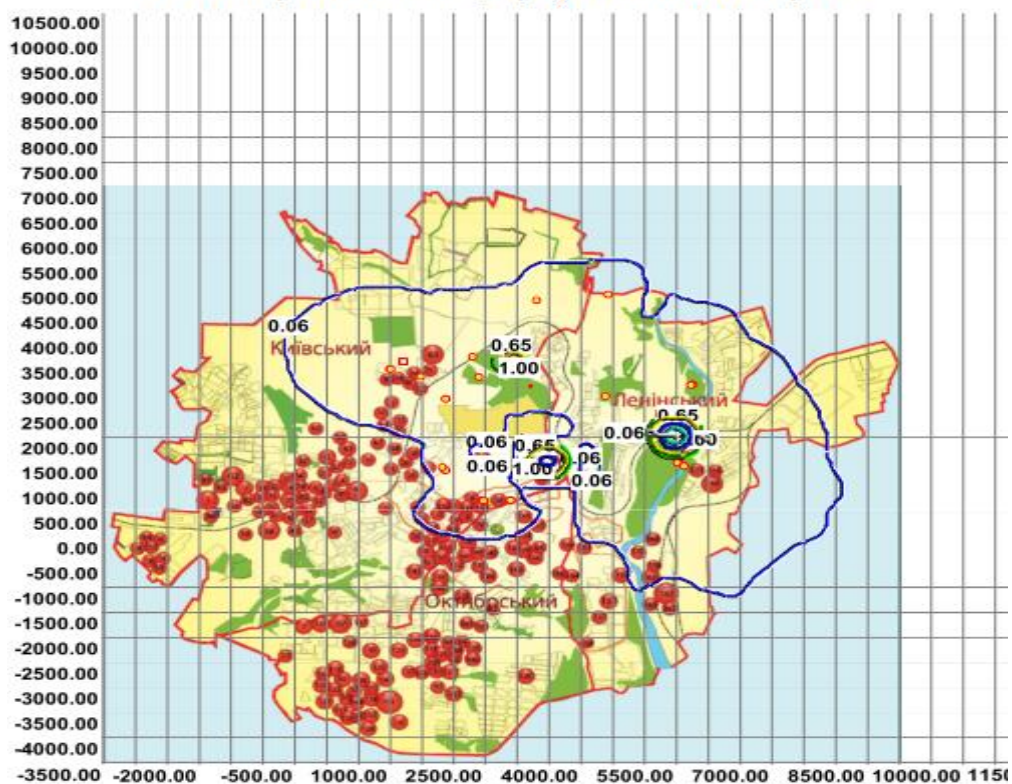




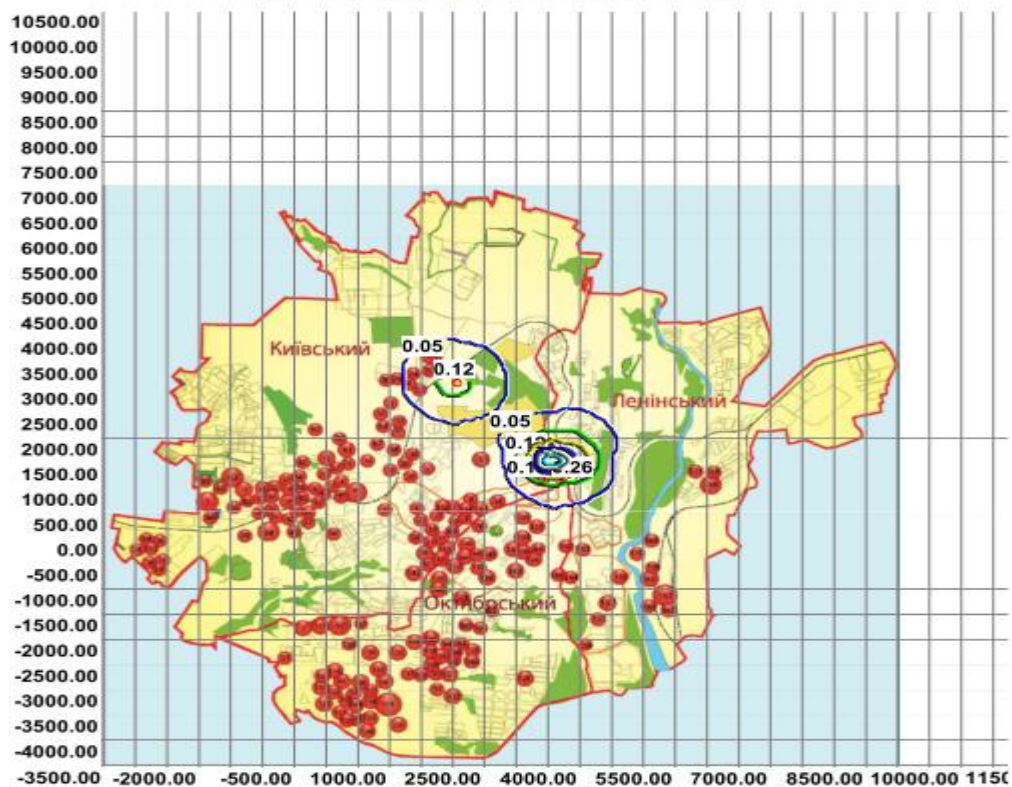
## 11277 Кальцію карбонат



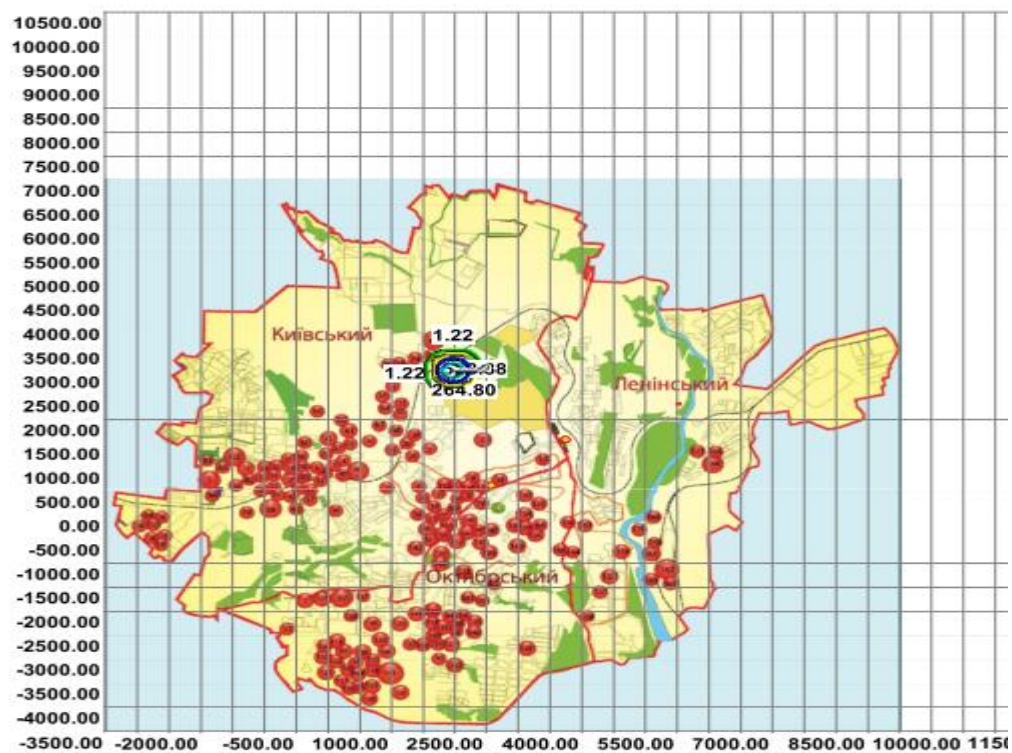
## 11510 Аерозоль лакофарбувальних матеріалів



11518 Пил лушпиння соняшника

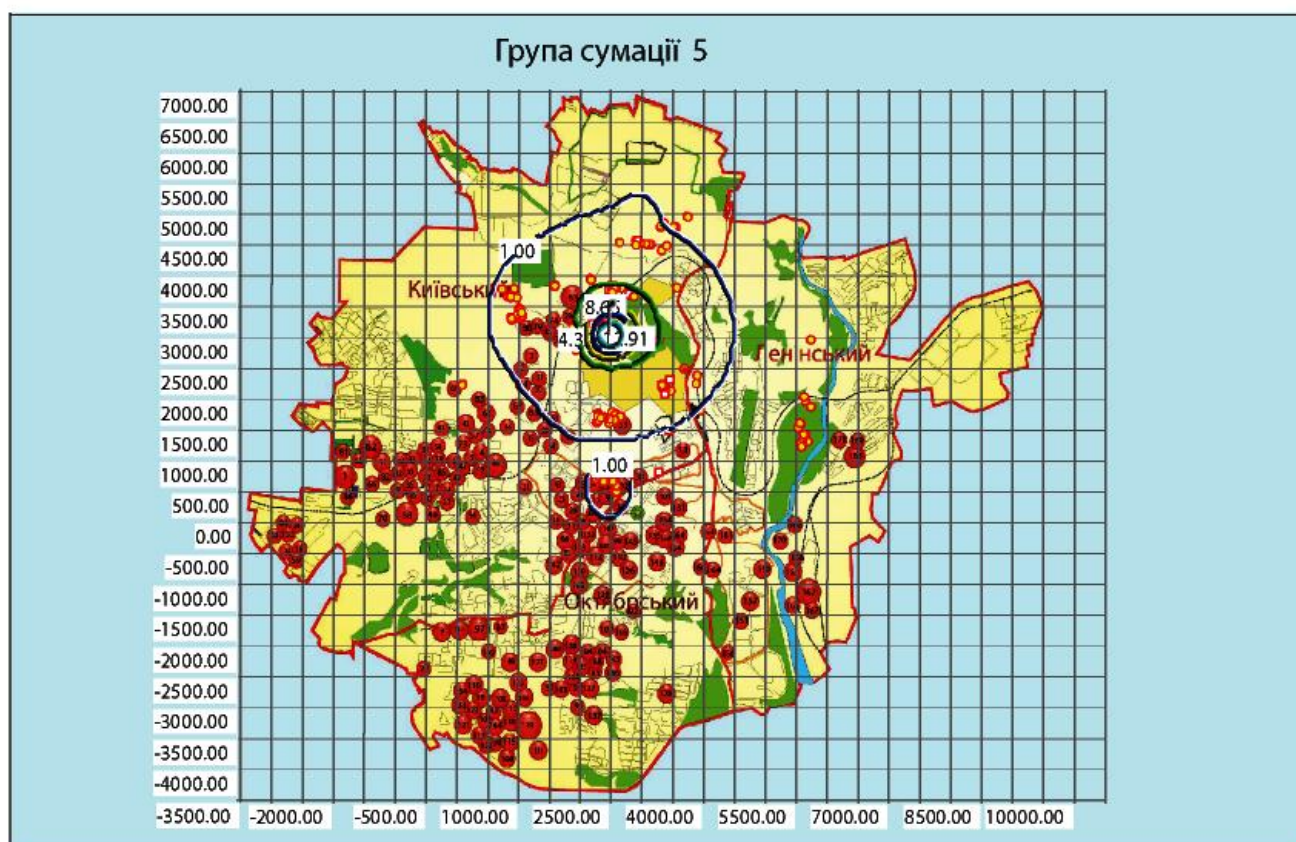


11523 Пил насіння соняшника

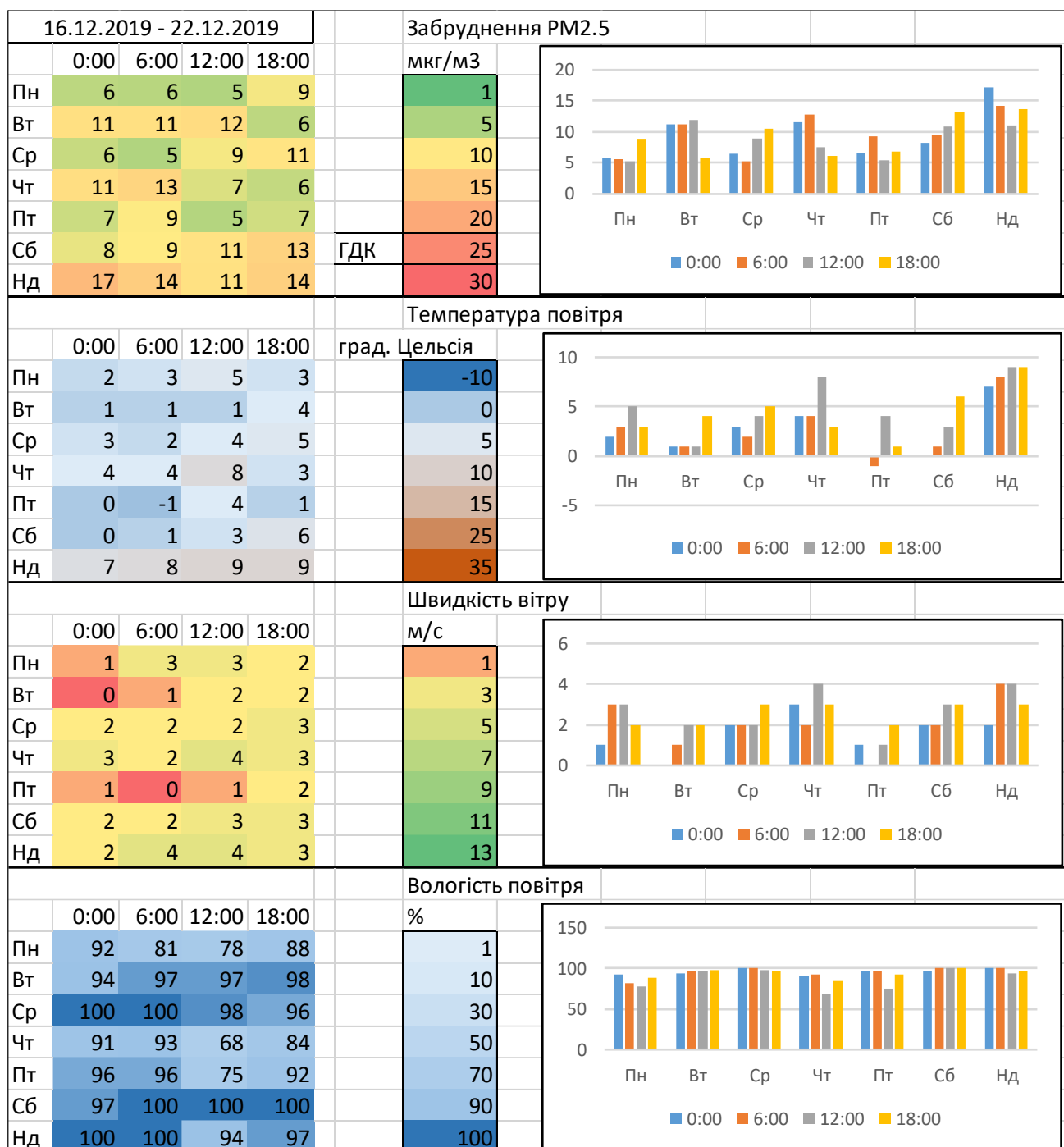


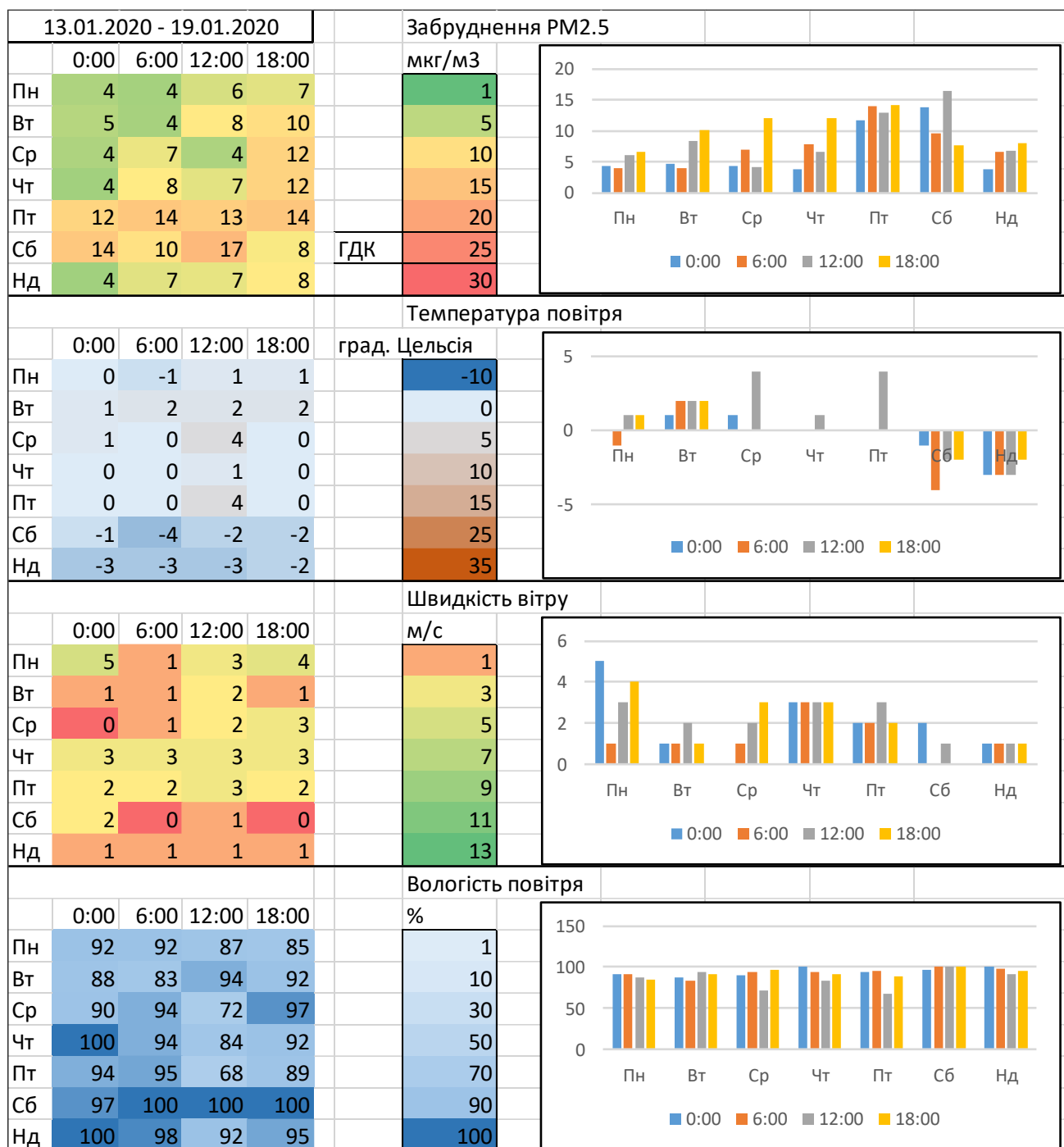


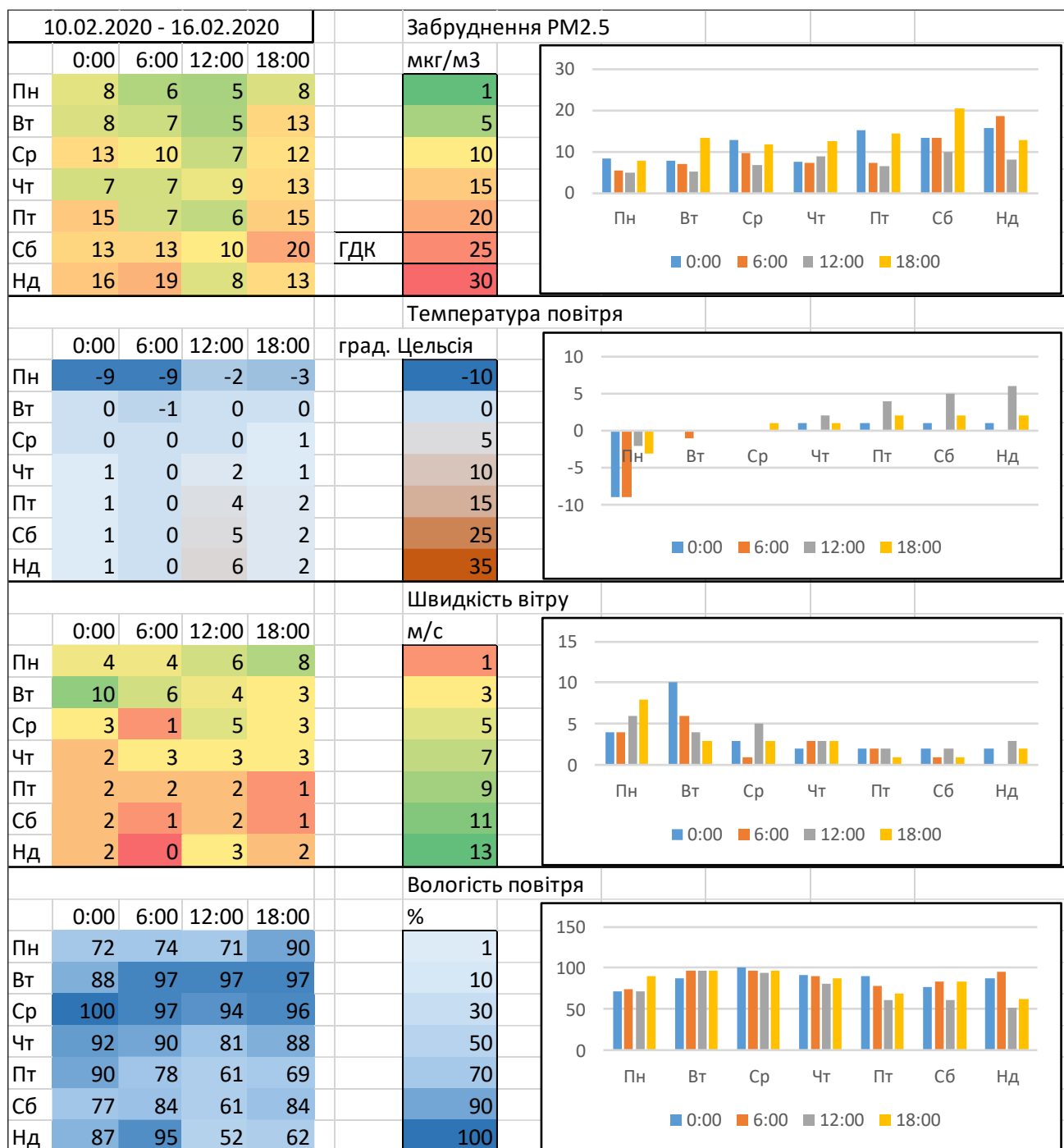


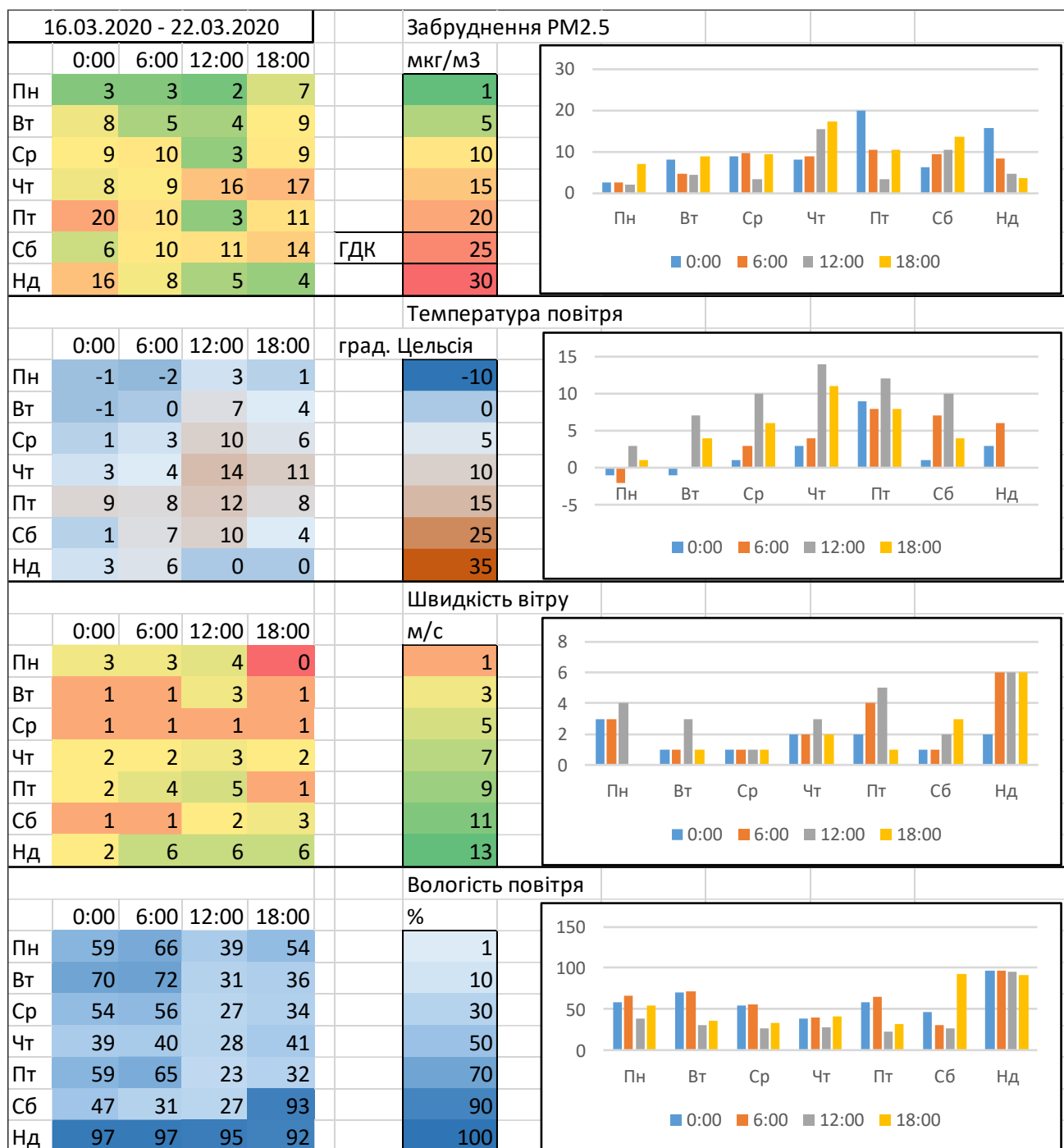


Додаток Б: Таблиці та графіки концентрацій PM2.5 та метеорологічних умов атмосферного повітря.

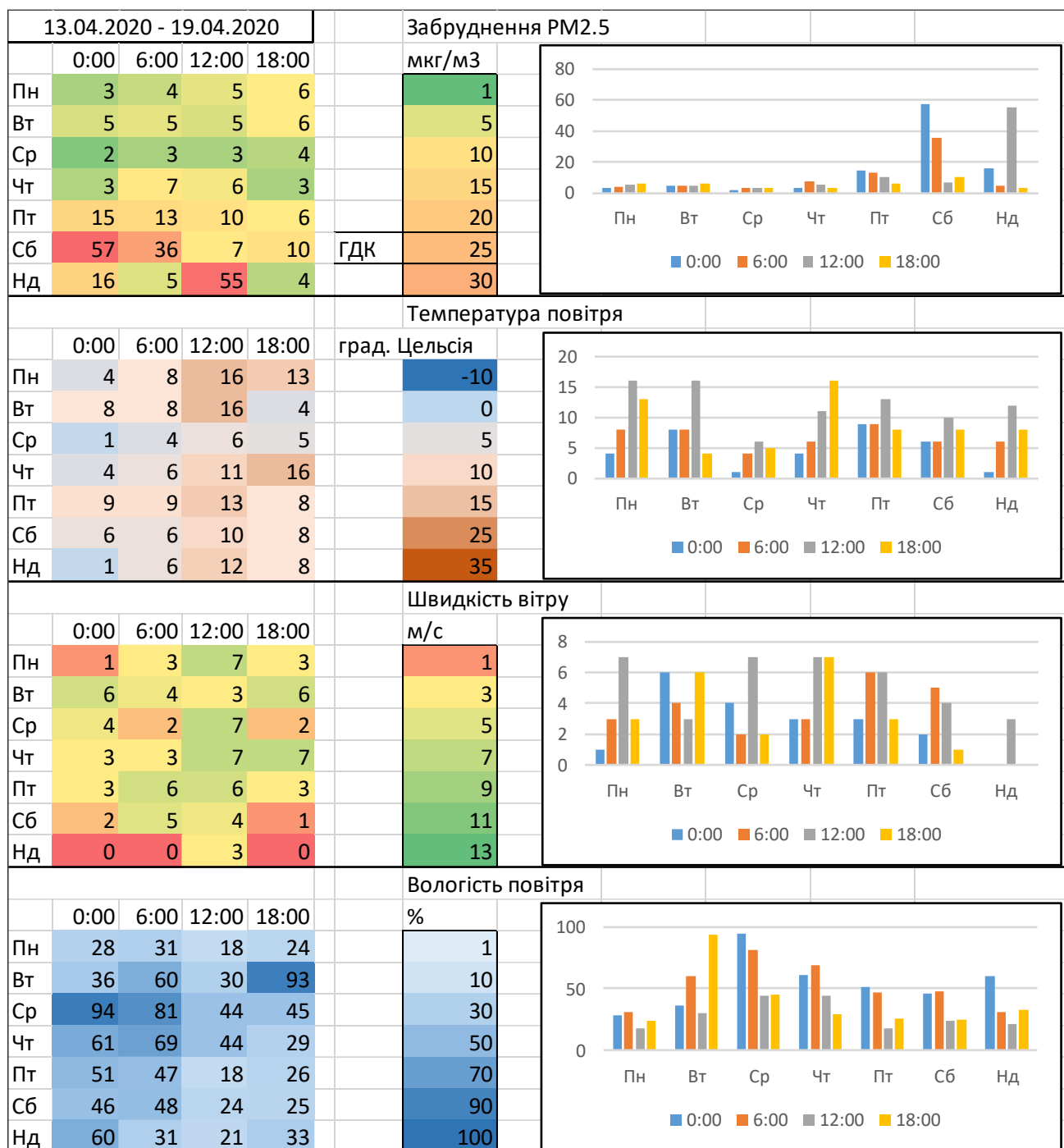


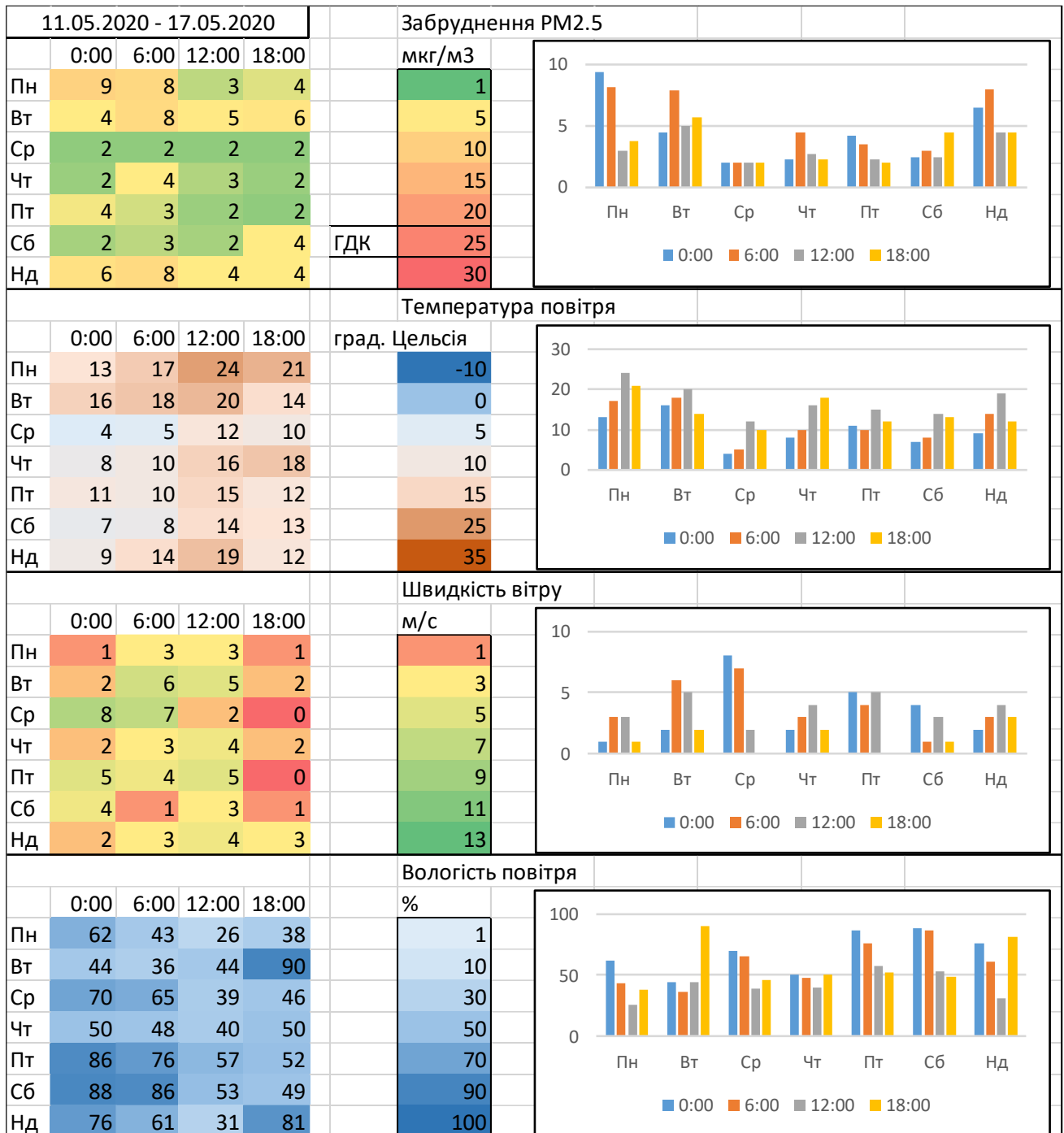


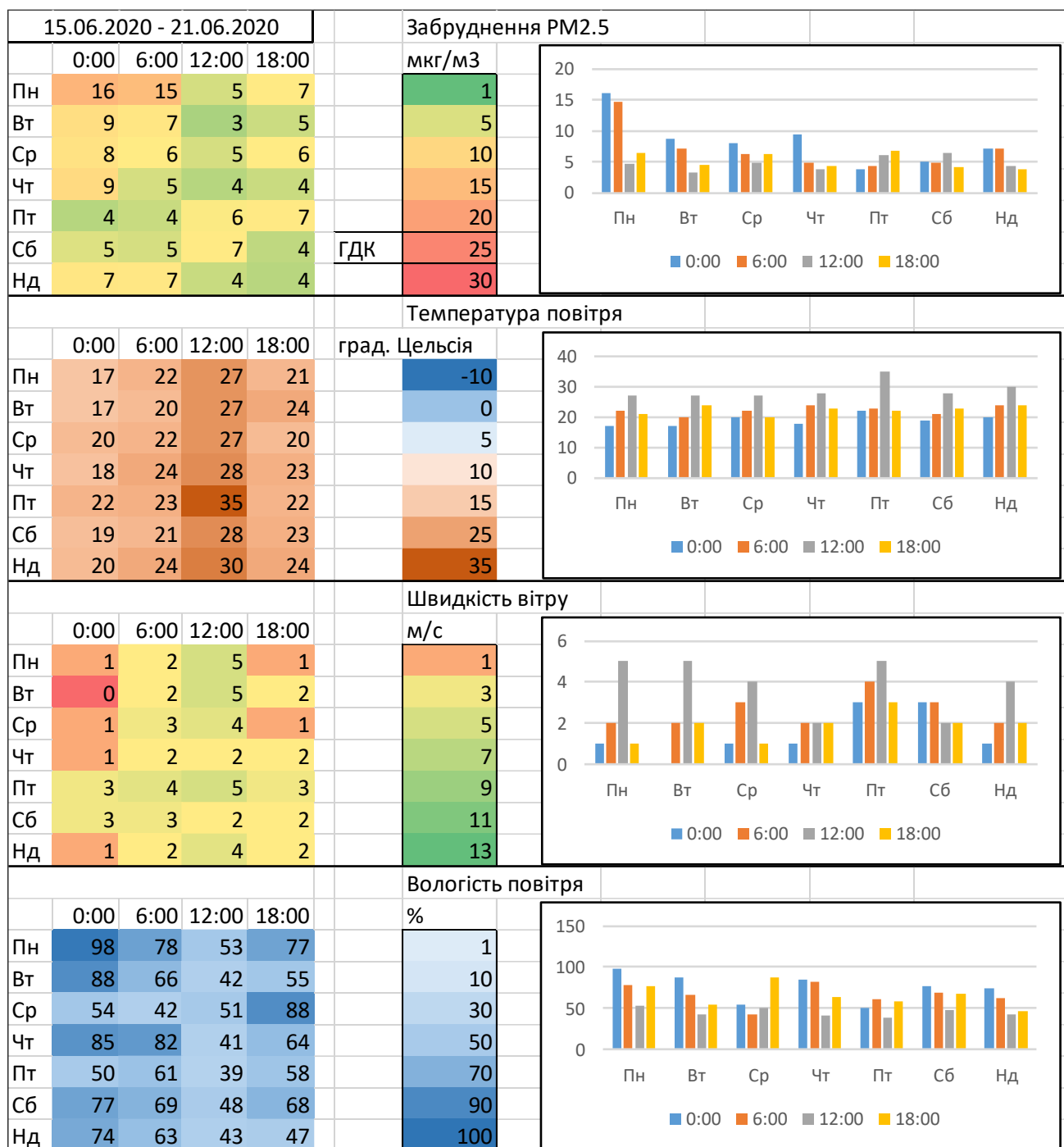


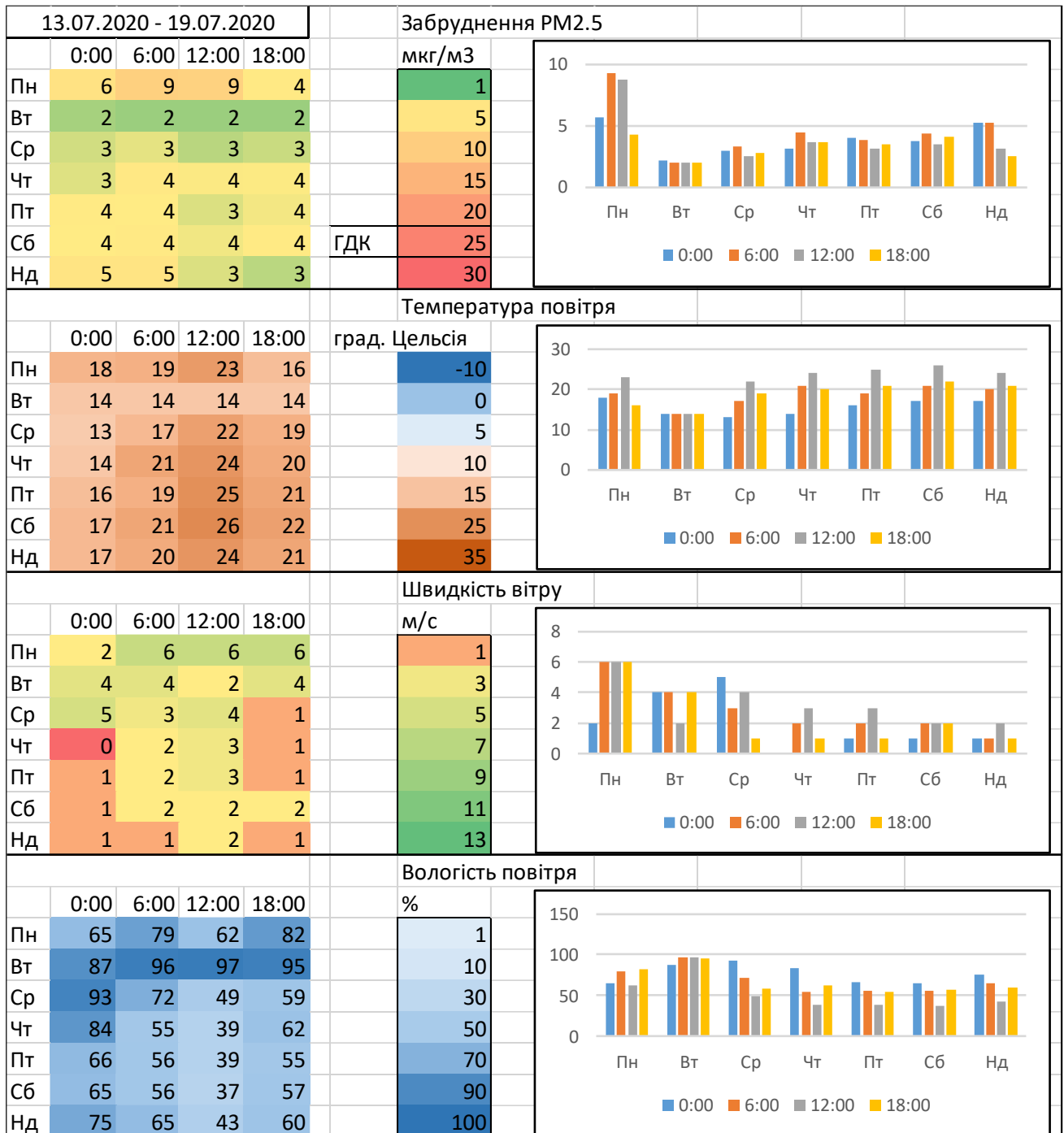












**Додаток В: Розв'язок неоднорідної системи лінійних рівнянь методом Жордана-Гауса.**

Перший цикл розв'язку:

1.00	0.44	15.60	0.36	9.36	243.36	0.20	0.12	3.12	0.04	0.20
0.00	2.56	71.40	8.64	251.64	7325.64	0.80	2.88	83.88	0.96	5.80
0.00	-13.76	-204.40	34.56	388.56	4067.56	-2.80	5.52	58.52	0.84	4.20
0.00	8.04	-23.40	12.76	71.76	-669.24	1.20	2.92	10.92	0.64	0.20
0.00	-0.64	-3705.60	-43.16	-2270.16	-61976.16	-35.20	-23.72	-780.72	-9.24	-46.20
0.00	-181.44	-8361.60	-198.36	-5313.36	-139499.36	-91.20	-66.12	-1771.12	-22.04	-112.20
0.00	-185.76	-9941.40	-237.44	-6558.44	-174600.44	-118.80	-82.48	-2221.48	-28.16	-140.80
0.00	-94.76	-6826.40	-154.44	-4579.44	-124893.44	-82.80	-57.48	-1588.48	-20.16	-96.80

Другий цикл розв'язку:

1.00	0.00	3.33	-1.13	-33.89	-1015.73	0.06	-0.38	-11.30	-0.13	-0.80
0.00	1.00	27.89	3.38	98.30	2861.58	0.31	1.13	32.77	0.38	2.27
0.00	0.00	179.38	81.00	1741.13	43442.88	1.50	21.00	509.38	6.00	35.38
0.00	0.00	-247.64	-14.38	-718.55	-23676.33	-1.31	-6.13	-252.52	-2.38	-18.02
0.00	0.00	-3687.75	-41.00	-2207.25	-60144.75	-35.00	-23.00	-759.75	-9.00	-44.75
0.00	0.00	-3301.13	414.00	12521.63	379705.38	-34.50	138.00	4173.88	46.00	298.88
0.00	0.00	-4760.44	389.50	11701.19	356966.31	-60.75	126.50	3865.06	41.50	280.06
0.00	0.00	-4183.48	165.38	4735.17	146269.70	-53.19	49.13	1516.39	15.38	117.89

Третій цикл розв'язку:

1.00	0.00	0.00	-2.63	-66.21	-1822.21	0.03	-0.76	-20.75	-0.24	-1.45
0.00	1.00	0.00	-9.22	-172.41	-3892.92	0.08	-2.14	-46.43	-0.56	-3.23
0.00	0.00	1.00	0.45	9.71	242.18	0.01	0.12	2.84	0.03	0.20
0.00	0.00	0.00	97.45	1685.13	36297.99	0.76	22.87	450.69	5.91	30.82
0.00	0.00	0.00	1624.22	33587.34	832967.43	-4.16	408.72	9712.14	114.35	682.50
0.00	0.00	0.00	1904.64	44563.45	1179182.15	-6.90	524.46	13547.87	156.42	949.88
0.00	0.00	0.00	2539.10	57907.68	1509866.30	-20.94	683.80	17383.01	200.73	1218.85
0.00	0.00	0.00	2054.45	45341.49	1159439.50	-18.20	538.88	13395.98	155.31	942.90

Четвертий цикл розв'язку:

1.00	0.00	0.00	0.00	-20.73	-842.59	0.06	-0.15	-8.59	-0.08	-0.62
0.00	1.00	0.00	0.00	-12.98	-458.67	0.15	0.02	-3.79	0.00	-0.32
0.00	0.00	1.00	0.00	1.92	74.57	0.00	0.01	0.76	0.01	0.05
0.00	0.00	0.00	1.00	17.29	372.48	0.01	0.23	4.62	0.06	0.32
0.00	0.00	0.00	0.00	5500.86	227981.03	-16.80	27.61	2200.34	15.88	168.80
0.00	0.00	0.00	0.00	11627.86	469745.43	-21.72	77.55	4739.17	40.94	347.49
0.00	0.00	0.00	0.00	14000.83	564107.12	-40.70	88.02	5640.01	46.79	415.81
0.00	0.00	0.00	0.00	9815.35	394201.84	-34.19	56.82	3894.42	30.75	293.14

## П'ятий цикл розв'язку:

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.56	-0.01	-0.04	-0.30	-0.02	0.01
0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	79.28	0.11	0.09	1.40	0.04	0.08
0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-5.01	0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	-344.10	0.06	0.15	-2.29	0.01	-0.21
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	41.44	0.00	0.01	0.40	0.00	0.03
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12166.75	13.80	19.19	88.04	7.38	-9.33
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-16151.89	2.06	17.75	39.69	6.38	-13.83
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12591.56	-4.21	7.55	-31.71	2.42	-8.07

## Шостий цикл розв'язку:

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.02	-0.18	-0.01	0.00
0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.21	1.97	0.09	0.02
0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	-0.05	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-0.33	-0.39	-4.78	-0.20	0.05
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.04	0.07	0.70	0.03	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-16.26	-7.73	-77.18	-3.42	-1.45
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-18.49	-12.30	-122.82	-5.22	1.59

## Сьомий цикл розв'язку:

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.23	-0.01	0.00
0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	1.03	0.04	0.00
0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.09	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-0.24	-3.21	-0.13	0.08
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.05	0.51	0.02	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.48	4.75	0.21	0.09
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-3.52	-35.06	-1.33	3.24

## Восьмий цикл розв'язку:

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	-0.02
0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.11
0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	-0.01
0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.82	-0.04	-0.14
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	-0.03	0.03	0.53
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	9.96	0.38	-0.92




## Додаток Г: Акти впровадження.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової та міжнародної  
роботи Національного університету  
«Полтавська політехніка імені Юрія  
Кондратюка»

Світлана СІВІЦЬКА  
\_\_\_\_\_ 2020 р.



**АКТ**

**впровадження в освітній процес підготовки бакалаврів і магістрів  
результатів науково-практичного дослідження  
аспіранта Національного університету «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка» Максюті Наталії Сергіївни**

Ми, що нижче підписалися, в.о. директора навчально-наукового інституту нафти і газу Шумська Л.П., завідувач кафедри прикладної екології та природокористування, к.т.н., доцент Ілляш О.Е., завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики, к.т.н., доцент Голік Ю.С. склали цей акт про те, що у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» проведено впровадження науково-практичних результатів розробки технології моніторингу атмосферного повітря міст. Отримані автором результати використовуються в освітньому процесі при підготовці студентів рівня вищої освіти «бакалавр» і «магістр» зі спеціальностей 101 «Екологія» і 183 «Технології захисту навколишнього середовища», а саме:

- при викладанні навчальних дисциплін «Моніторинг довкілля», «Технології захисту атмосферного повітря» при підготовці бакалаврів зі спеціальностей 101 «Екологія» і 183 «Технології захисту навколишнього середовища»;
- при викладанні навчальних дисциплін «Системний аналіз якості навколишнього середовища», «Технології захисту довкілля» при підготовці магістрів зі спеціальностей 101 «Екологія» і 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

У програмі навчальних дисциплін використані наступні основні елементи науково-дослідної роботи: аналіз методів моніторингу за станом забруднення атмосферного повітря в місті; методика встановлення громадського контролю; можливості інформування населення щодо рівня

забруднення повітряного басейну територій міста; інтеграція порядку здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря.

Матеріали дослідження Максюти Наталії Сергіївни визнано такими, що відповідають компетенціям і результатам навчання, що регулюються стандартами вищої освіти і відповідно можуть бути використані у процесі підготовки здобувачів вищої освіти екологічних спеціальностей.

В.о. директора навчально-наукового  
інституту нафти і газу

Любов ШУМСЬКА

Завідувач кафедри прикладної  
екології та природокористування,  
к.т.н., доцент

Оксана ІЛЛЯШ

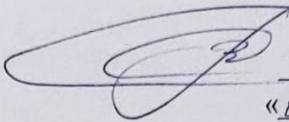
Завідувач кафедри теплогазопостачання,  
вентиляції та теплоенергетики,  
к.т.н., доцент

Юрій ГОЛІК



«Затверджую»

Т.в.о. директора управління  
дозвільної діяльності та  
організаційної роботи  
департаменту екології та  
природних ресурсів  
Полтавської ОДА

  
«04» січня 2021р.



## А К Т

використання результатів дисертаційного дослідження  
Максюти Наталії Сергіївни  
“Удосконалення моніторингу атмосферного повітря агломерацій  
(на прикладі м. Полтава)”

Комісія у складі: заступника голови екологічної ради Полтавщини к.т.н., доц. Ілляш О.Е., начальника відділу організаційної роботи, моніторингу та зв'язків з громадськістю управління дозвільної діяльності та організаційної роботи Департаменту екології та природних ресурсів Полтавської ОДА Вдовенко А.М., першого проректора, д.с.-г.н., професора Полтавського державного аграрного університету Писаренко П. В. за результатами експертизи матеріалів дисертаційної роботи Максюти Н. С. “Удосконалення моніторингу атмосферного повітря агломерацій (на прикладі м. Полтава)”, цим актом констатує, що авторкою ретельно та всебічно досліджено стан забруднення атмосферного повітря міста Полтава. Розглянуто та проаналізовано методи моніторингу атмосферного повітря як в місті, так і за його межами. Заслуговує на увагу те, що авторкою виявлені специфічні для міста Полтава недоліки існуючої системи моніторингу стану атмосферного повітря, а саме: відсутність проведення моніторингу завислих речовин, в тому числі PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub>; проведення моніторингу забруднення атмосферного повітря на стаціонарних постах спостереження здійснюється максимум 4 рази на добу; відсутність системи інформування населення щодо стану повітря в

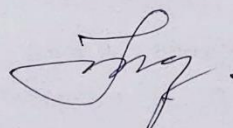
місті, в особливості забруднення PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub>; відсутність автоматизованих систем аналізу якості повітря, моніторинг проводиться методом відбору проб.

У практичній діяльності управління дозвільної діяльності та організаційної роботи Департаменту екології та природних ресурсів Полтавської ОДА використовуються наступні результати дисертаційного дослідження Максюті Н. С.:

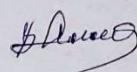
- результати комплексного аналізу стану забруднення атмосферного повітря м. Полтава використано в Регіональній програмі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на 2017–2021 роки («Довкілля – 2021»);

- враховано при розробці науково-дослідницькі заходи щодо просторового розподілу концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі Полтавської зони, а також проектування мережі спостережень за станом атмосферного повітря Полтавської зони.

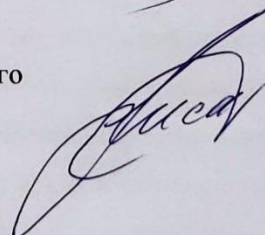
Заступник голови Екологічної  
ради Полтавщини, к.т.н., доц.

 О.Е.Ілляш

Начальник відділу організаційної  
роботи, моніторингу та зв'язків з  
громадськістю управління дозвільної  
діяльності та організаційної роботи  
Департаменту екології та природних  
ресурсів Полтавської ОДА

 А.М.Вдовенко

Перший проректор, д.с.-г.н.,  
професор Полтавського державного  
аграрного університету

 П.В.Писаренко

«22 » січня 2021 р.