МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В.Н. КАРАЗІНА
ФІЗИКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр

# «Радіаційний моніторинг території у режимі реального часу на прикладі Шевченківського району м. Харкова»

Виконав : студент 2 курсу, групи НФ-61
Беш К.Є.
спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма: Прикладна фізика енергетичних систем.

Керівник: д-р ф.-м. наук, професор Пеліхатий М. М.

Рецензент:

Харків-2018

***Додаток 18***

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Факультет фізико-енергетичний
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність 105–Прикладна фізика та наноматеріали

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

**_____ В.І Ткаченко**
підпис ініціали, прізвище

"___" _____20__року

# З А В Д А Н Н Я
## НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

_____Беш Катерина Євгенівна_____
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Радіаційний моніторинг території у режимі реального часу на прикладі Шевченківського району м. Харкова____
керівник роботи Пеліхатий М.М., проф., д.ф.-м.н._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від "___"_____20__року №___

2. Строк подання студентом роботи_____
3. Перелік питань, які потрібно розробити)
1). Огляд літературних джерел відповідно до тематики досліджень
2). Вибір території що досліджується та її опис
3). Обґрунтування вибору конфігурації точок спостереження
4). Проведення вимірів радіаційного фону
5). Дослідження зміни радіаційного фону в залежності від температури та вологості
6). Висновки

4. План роботи

| № з/п | Назви етапів роботи |
|---|---|
| 1. | Огляд літературних джерел відповідно до тематики досліджень |
| 2. | Вибір території що досліджується та її опис |
| 3. | Обґрунтування вибору конфігурації точок спостереження |
| 4. | Проведення вимірів радіаційного фону |
| 5. | Дослідження зміни радіаційного фону в залежності від температури та вологості |

5. Дата видачі завдання_____

**Студент** _____ _____**Беш К.Є.**
підпис
ініціали,прізвище

**Керівник роботи** _____ _____**Пеліхатий М.М.**
підпис
ініціали,прізвище

**Реферат**

**Беш Катерина Євгенівна** «Радіаційний моніторинг території у режимі реального часу на прикладі Шевченківського району м. Харкова» (випускна робота магістра). – Харків : ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2018. -51с.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів і висновків; містить 20 малюнків, 2 таблиці, 19 літературних джерела, 1 додаток.

В роботі проведено літературний огляд, проведені виміри радіаційного фону за допомогою методу регресивних моделей. Побудовано графіки залежності від погодних умов. Пораховані похибки вимірювань. Зроблено висновки про виконану роботу та надані рекомендації щодо вдосконалення методу побудови регресивних моделей на основі результатів проведених досліджень.

**Мета роботи:** визначення рівня радіаційного фону і екологічної безпеки на території Шевченківського району м. Харкова.

**Об'єкт дослідження:** радіаційний фон Шевченківського району м. Харкова.

**Предмет дослідження:** вплив погодних умов і антропогенних факторів на радіаційний фон Шевченківського району м. Харкова.

**Методи дослідження:** польовий - вимірювання фонового рівня радіації, статистичний - обробка даних, картографічний - використання карт місцевості для побудови моделей, лабораторний - побудова регресійних моделей, комп’ютерна обробка статистичної інформації за допомогою програм «Microsoft Exel-2010» та «Maple-12».

РАДІАЦІЙНИЙ ФОН, РЕГРЕСИВНІ МОДЕЛІ, РАДІАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ, КАРТИ, ГРАФІК ЗАЛЕЖНОСТІ

**Abstract**

**Besh Kateryna Evgenivna** "Radiation monitoring of territories in real time for example of the Shevchenko district of Kharkov" (master graduation work). – Karazin Kharkiv National Univercity 2018 – 51c.

The work contains 4 sections, 4 subsections, 20 figures, 2 tables, 19 literary sources, 1 appendix.

In this work, a literature review was conducted, measurements of the background radiation were carried out using the method of regressive models. Built graphics depending on weather conditions. Calculated measurement errors. Conclusions about the work done and recommendations for improving the method of constructing regressive models based on the results of the research conducted are presented.

**Objective:** to determine the level of radiation background and environmental safety in the territory of the Shevchenko district of Kharkov.

**Object of study:** radiation background of the Shevchenko district of Kharkov.

**Subject of research:** the influence of weather conditions and anthropogenic factors on the radiation background of the Shevchenko district of Kharkov.

**Research methods:** field - measurement of radiation background, statistical - data processing, cartographic - using terrain maps for building models, laboratory - building regression models, computer processing of statistical information using Microsoft Exel-2010 and Maple-12.

RADIATION BACKGROUND, REGRESSION MODELS, RADIATION MONITORING, MAPS, DEPENDENCE SCHEDULE

ЗМІСТ

ВСТУП…… 7

РОЗДІЛ 1 СТАН ВИВЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ ..... 8

РОЗДІЛ 2 МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ НА ТЕРИТОРІЇ ШЕВЧЕНКІВСЬКОГО РАЙОНУ М. ХАРКОВА…… 15

РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ТА АНАЛІЗ ВИМІРЮВАННЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ .....…… 21

РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПОБУДОВИ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ…… 35

ВИСНОВКИ…….. 38

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..... 40

ДОДАТКИ……. 43

# ВСТУП

Людина давно використовує атомну енергію: веде регулярно видобуток підземних копалин, використовує рентгенівське, електромагнітне та гамма-випромінювання в медицині, промисловості та інших галузях. Але мало, хто замислюється яка може бути шкода від радіоактивного опромінювання.

На сьогоднішній день негативний вплив радіації на організм людини може відчути кожен з нас. Також рівень радіації впливає на екологічний стан повітря,води ,продуктів харчування.

Небезпека радіації в тому, що вона зберігає свою дію довгий час та може поширюватися з великою швидкістю, також в звичайному житті людина може піддатися опроміненню. Багато людей знають на скільки небезпечна радіація, але не дивлячись на це, темі радіації приділяється мало уваги.

У своїй дипломній роботі я приділила достатньо уваги питанню радіаційного випромінювання та провела наступні виміри та дослідження. Вимірювання радіації проводились у Шевченківському районі міста Харкова. Шевченківський район має площу 62 км$^2$ та являє собою другий за величиною населення район міста Харків – 15% від загальної кількості людей; 227930 чоловік. Цей район було обрано тому, що це – центральний район міста-міліонера з густиною населення 3676 чол/км$^2$, його відвідують місцеві, туристи, студенти двох ВУЗів на обраній території (Харківський Національний університет імені Н.В. Каразіна, Харківський національний медичний університет). Він був заснований у 1932 році, тому на його території багато довоєнних та ранніх післявоєнних будов. Тут наявні старі дві широкі вулиці: Сумська, проспект Науки, дві станції метро – «Держпром», «Університет», що є джерелами радіоактивного випромінювання. Активний обіг людей та автомобілів змішує та пересуває радіоактивний пил поблизу землі [15, 16].

РОЗДІЛ 1

# СТАН ВИВЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ

Відкриття Вільгельмом Конрадом Рентгеном в 1895 році Х-променів, названих згодом рентгенівськими і допис 24 лютого 1896 року в засіданні Французької академії наук професора Анрі Беккереля про те, що сполуки урану випускають промені, які володіють властивістю іонізувати повітря. Згодом ця властивість була названа природною радіоактивністю [1].

Джерела радіоактивного забруднення, що порушує сформований за мільйони років радіаційний фон на нашій планеті, слід віднести видобуток і переробку уранових і торієвих руд, виробництво ядерної зброї, експлуатацію ядерних реакторів на кораблях, дослідні роботи в галузі ядерної фізики, а також використання радіоізотопів в науці, промисловості, сільському господарстві та медицині. Аварії на ядерних установках і витоку радіонуклідів в біосферу на даному етапі розвитку цивілізації - ці явища далеко не рідкісні. Тому кожна свідома людина на планеті повинна знати радіаційну обстановку на території, де вона проживає, мати уявлення про основні природні і штучні радіонукліди, що вражають дією радіоактивних речовин, їх фізичні і хімічні властивості, закономірності концентрації їх в різних сферах навколишнього середовища, вплив на живі організми. А також способах захисту від зовнішнього і внутрішнього радіоактивного опромінення [1].

В історії радіоекології можна виділити чотири етапи [2].

## 1.1 Відкриття радіаційного фону (1895-1940 роки)

Перший етап – довоєнний. Етап, коли вчені звертали основну увагу на розподіл в біосфері важких природних радіонуклідів і на якісні оцінки природного радіаційного фону. Визначення частки природної радіоактивності в загальній опромінення живих організмів, дослідження

міграції та концентрування природних радіонуклідів в біосфері і встановлення ролі і значення природної радіоактивності в життєвих процесах, загальної еволюції живого в даний час складає першу проблему радіоекології [2].

У 1898 році французькі вчені Марія Склодовська-Кюрі і П'єр Кюрі виділили з уранового мінералу дві нових речовини, радіоактивних в набагато більшому ступені, ніж уран і торій. Це були два невідомих раніше радіоактивних елементи - полоній і радій, які вони відкрили. Марія, крім того виявляє (незалежно від німецького фізика Г.Шмідта) явище радіоактивності у торію. Ернест Резерфорд показав, що радіація складається з трьох типів випромінювання: α-, β-, γ-промені, а також розкрив ядерної природу радіації [3].

Також можна виділити наших вітчизняних вчених, Курчатова Ігоря Васильовича, який досліджував штучну радіоактивність, відкрив явище ізомерії [3]. Вернадський Володимир Іванович описав закономірність накопичення радію живими організмами. На початку сорокових років наукову роботу В.Ф. Наталі було опубліковано, тема роботи була - вплив іонізуючого випромінювання на статеву систему риб [1].

Відкриття радіоактивності справила величезний вплив на розвиток науки і техніки. Позитивними факторами стали використання властивостей радіоактивності в інтересах людства. Також можна навести приклади і негативного їх втручання в наше життя. До числа таких відноситься ядерну зброю у всіх його формах, затонулі кораблі і підводні човни з атомними двигунами і атомною зброєю, поховання радіоактивних відходах в море і на землі, аварії на атомних електростанціях. А безпосередньо для України використання радіоактивності в атомній енергетиці привело до Чорнобильської трагедії [3].

## 1. 2 Випробування атомних бомб (50-60-ті роки XX сторіччя)

Період 50-60-х років - час інтенсивних ядерних випробувань, коли були виконані великомасштабні дослідження міграції основних радіологічно значимих штучних радіонуклідів і оцінені кількісно променеві ефекти на біогенетичному рівні [2].

Інтенсивне випробування наддержавами ядерної і термоядерної зброї в 50-х - 60-х та швидкий розвиток атомної енергетики привело до викидів в біосферу величезних мас радіоактивних речовин. Також до цього можна додати забруднення навколишнього середовища радіонуклідами, внаслідок проведених вибухів атомних зарядів в мирних цілях [1].

Починаючи з середини 40-х років XX століття, з часу першого випробування атомної бомби в Аламогордо, наддержавами світу було вироблено близько 1900 ядерних вибухів в атмосфері, гідросфері і літосфері, які призвели до значних спалахів глобального радіаційного фону. Десятки аварій на реакторах атомних електростанцій, бойових кораблів, сховищах радіоактивних відходів, на підприємствах, що виробляють збагачення ядерного матеріалу мали великий вплив на підвищення радіаційного фону [1].

Друга половина XX століття ознаменувалася бурхливим розвитком енергетики особливого типу, заснованої на радіоактивному розпаді. В даний час в світі налічується кілька сотень енергетичних установок, що працюють на ядерному паливі [1].

В 1954 г. вступила у дію перша у світі атомная електростанція в м. Обнінске Калузькій області [2]. 5 грудня 1995 Державною Думою Російської Федерації був прийнятий закон «Про радіаційної безпеки населення». Випробування атомної зброї з 1944 по 1963 роки викликали глобальне забруднення продуктами радіоактивного розпаду поверхні планети і її рухомих оболонок. У 1957 році відбулася нарада біологів СРСР, організоване Академією Наук СРСР, на якому було прийнято рішення про значне

посилення досліджень в області радіобіології [1]. Керували лабораторіями радіобіології такі вчені: В. М. Клечковській, А. М. Кузин, Н. П. Дубінін, П. П. Вавілов, А. А. Передельский та багато інших. У керуванні та підготовці спеціалістів приняв участь знаменитий біолог-генетик Н.В. Тимофєєв-Ресовський [1].

У результаті накопичення інформації в радіоекології поступово стали формуватися дві головні галузі : морська і континентальна, що займаються, відповідно, екосистемами океанів і континентів. З часом в континентальній радіоекології з'явилися два напрямки : радіоекологія суші і континентальних водойм. В працях А.І. Іллєнко, Д.А. Кріволуцкій і В.Є. Соколова розвивалась основна галузь радіоекології – радіоекологія тварин. Також багато наукових статей належить Г.Д. Лебедівой (1961, 1962, 1968) по накопичення стронцію прісноводними рибами [1].

Перші результати дослідження по забрудненню континентальних водойм радіоактивним стронцієм належить А.М. Марей (1955,1958,1961) [1].

## 1. 3 Екологічні проблеми ядерної енергетики (1960-1986 роки)

Третій етап припадає на кінець 60-х років [2]. У цей період основні проблеми радіоекології стали пов'язувати з екологічними аспектами безпечного використання ядерної енергетики, починається застосування радіаційних біотехнологій. Також були характерні такі питання: визначення розмірів і шляхів усунення шкідливого впливу на людину радіації, пов'язаної з радіоактивними відходами, викидами атомних електростанцій (АЕС), використанням закритих і відкритих джерел іонізуючого випромінювання в наукових дослідженнях, промисловості, медицині та сільському господарстві.

В фундаментальних працях уральських вчених Н.В. Куликова і І.В. Молчанової (1975, 1977, 1988) отримала розвиток континентальна радіоекологія [1]. Ще в 50-60-ті роки ці вчені отримали дані про швидкість та

міцність фіксації радіонуклідів різними ґрунтами, ступеня рухливості радіоактивних елементів в системах «ґрунт - розчин», «ґрунт - рослина» і «вода - гідробіонти». Також були проведені експерименти з вивчення радіочутливості сотень видів культурних рослин, на підставі цього - визначені значення коефіцієнтів накопичення радіонуклідів в представниках прісноводної фауни і флори [1].

В працях Г. Г. Полікарпова і його учнів (1964, 1986), а потім в роботі А. Є. Каткова (1985) дали розвиток морській радіоекології [1].

Уваги дослідників в сторону екологічних проблем сприяв стрімкий розвиток атомної енергетики в 70-ті - 80-ті роки, безпосередньо пов'язаних з експлуатацією енергоустановок на ядерному паливі. Були створені лабораторії, що займаються радіоекологічними проблемами, що стосуються наземних і прісноводних екосистем при великих атомних електростанціях. При проведення дослідження на біофізичної станції Інституту екології рослин і тварин УО РАН при Белоярській АЕС було виявлено, що обережна і грамотна експлуатація об'єктів атомної енергетики ніяким чином не впливає для навколишнього середовища [1].

## 1. 4 Вивчення ступеня ризику використання АЕС (1986 рік – наш час)

Після аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 почався четвертий етап. Для цього етапу характерне вивчення ступеня ризику використання АЕС, розробкою технологій безпечного використання ядерної енергетики та утилізації радіоактивних відходів [2].

Велика аварія, яка трапилась на Чорнобильській АЕС підвищила глобальний радіаційний фон. Це змусило багатьох спеціалістів та вчених радіоекології зі всього світу почати співпрацю ,оскільки з розвитком атомної енергетики і збільшенням кількості розроблюваних ядерних технологій неминуче зросла радіаційна небезпека. В наш час вже достатньо добре вивчено розподіл радіонуклідів в організмах наземних тварин і в

гідробіонтах, а також рух природних і штучних радіоактивних елементів по харчових ланцюгах. Після наслідків цієї аварії радіаційний моніторинг забруднення став важливою проблемою для необхідності стежити за поширенням радіаційного фону та вивчення накопичення нуклідів [1].

Харківська область не стала винятком, хоча і не була в списку постраждалих від аварії на ЧАЕС. Отримані результати представлені в працях Г. Д. Коваленко «Радіоекологія Харківського регіону» (1991 р) [1].

Методи зниження кількості радіоактивних речовин, що потрапляють в навколишнє середовище та зменшення їх активності та біологічної доступності, ці питання, дуже актуальні для вчених на даний час [4].

Вчені Є.П. Ісаченко, І.П. Стаматова, А.Л. Зельдіна видали роботу «Викид природних радіонуклідів у навколишнє середовище у результаті діяльності підприємств неядерної галузі», у якій представлені всі види підприємств різних неядерних галузей, в наслідок функціонування яких у навколишнє середовище надходять природні радіонукліді [5].

Також існує схожа робота у Харківській області, автори цієї роботи: А. В. Гриценко та Г. Д. Коваленко, має назву таку - «Радіоекологія регіонів України: Харківська область». В цій роботі описані механізми надходження радіонуклідів у навколишнє середовище та вказано перелік об'єктів ядерної неядерної галузей промисловості, які здатні впливати на радіаційній фон області.

В наш час наука має повне уявлення про механізми походження радіаційного забруднення: природного та антропогенного. Також проводиться активна робота щодо контролю та зменшення радіаційного фону [6].

Вчені, які займаються радіоекологією у межах Харківської області А. В. Гриценко, Г. Д. Коваленко. Через підвищення радіоактивного фону та використання радіації у різних сферах повсякденного життя людини, такі як промисловість, медицина та енергетика вивчення радіоактивності як ніколи актуально.

## 1.5 Радіаційний моніторинг

Радіаційний моніторинг - це тривалі повторювані спостереження, які здійснюються для оцінки стану радіаційної обстановки. Використовуючи дані радіаційного моніторингу можна оцінювати рівень безпеки радіаційної обстановки і складати прогноз зміни радіаційного фону в майбутньому. Складовою частиною моніторингу навколишнього середовища є радіаційний моніторинг. Види радіаційного моніторингу:

1) повсякденний (для підтвердження, що рівень контролю відповідає нормативним вимогам);

2) проблемно-орієнтований (для підвищення рівня радіаційної безпеки);

3) спеціальний (робиться при нещасному випадку або при введенні в дію нових потужностей) [19].

Радіаційний моніторинг визначає вплив поля проникаючого радіаційного випромінювання на стан здоров'я людини, на живі організми, на результати господарської діяльності. Тому він так важливий для навколишнього середовища в часі і просторі [14].

РОЗДІЛ 2

# МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ НА ТЕРИТОРІЇ ШЕВЧЕНКІВСЬКОГО РАЙОНУ М. ХАРКОВА

Шевченківський район має площу 62 км$^2$ та являє собою другий за величиною населення район міста Харків – 15% від загальної кількості людей. Це центральний район міста-мілiонера з великою густиною населення та автотранспорту. Заснований у 1932 році, тому на його території багато довоєнних та ранніх післявоєнних будов, які є причиною підвищення радіаційного фону [15, 16].

Зона проведення експерименту – площа Свободи, сад імені Тараса Шевченко, Харківський зоологічний парк, ботанічний сад ХНУ. У межах моєї експериментальної зони дві станції метро - «Університет» та «Держпром» та дві широкі вулиці с великим обсягом автотранспорту – проспект Науки та вулиця Сумська.

Методика експерименту була вибрана на основі роботи проф. М. М. Пеліхатий з співавторами у роботі «Методи та алгоритми визначення радіаційного стану навколишнього середовища» [7].

За допомогою методики ми проводили експеримент. Спосіб методики слідуючий: треба обрати місця для виміру, конфігурації точок між собою, їх кількість – а також, як обробляти отримані результати. Дана методика дозволяє зобразити результати графічно, що є більш наглядно, також дозволяє визначити ступінь забруднення та його зміни на протязі місяця, міграцію радіонуклідів.

У результаті було визначено 19 точки спостереження за периметром площі Свободи та саду імені Тараса Шевченко і одна точка в центрі біля станції метро «Держпром». Протягом місяця проводились спостереження за показниками радіаційного фону у цих точках. Також велось спостереження і

за метеорологічними явищами для комплексного висновку з приводу залежності поширення радіаційного забруднення від погодних умов.

Вимірювання проводились за допомогою дозиметра, який вимірює потужність дози гама і рентгенівського випромінювання. Дозиметр використовується для радіометричного і дозиметричного контролю на підприємствах. Також для вимірювання радіаційної чистоти житлових приміщень та споруд, територій, що прилягають, поверхні ґрунту та транспортних засобів.

Вимірювання проводилися з 3-го вересня по 2 жовтня 2018 року включно щодня з 15-ї до 16-ї години дня в 19-ти точках на території Шевченківського району м. Харкова, які наведені на карті рисунку 2.1. За початок відліку координат прийнято точку 0(0,0) , це є геометричний центр.

В таблиці 2.1 наведені результати вимірювань амбієнтного еквіваленту потужності дози гама і рентгенівського випромінювань в одиницях мкЗв/год. В цій таблиці координати кожної точки вимірювань вказані в метрах відносно центру зони (точки 0).

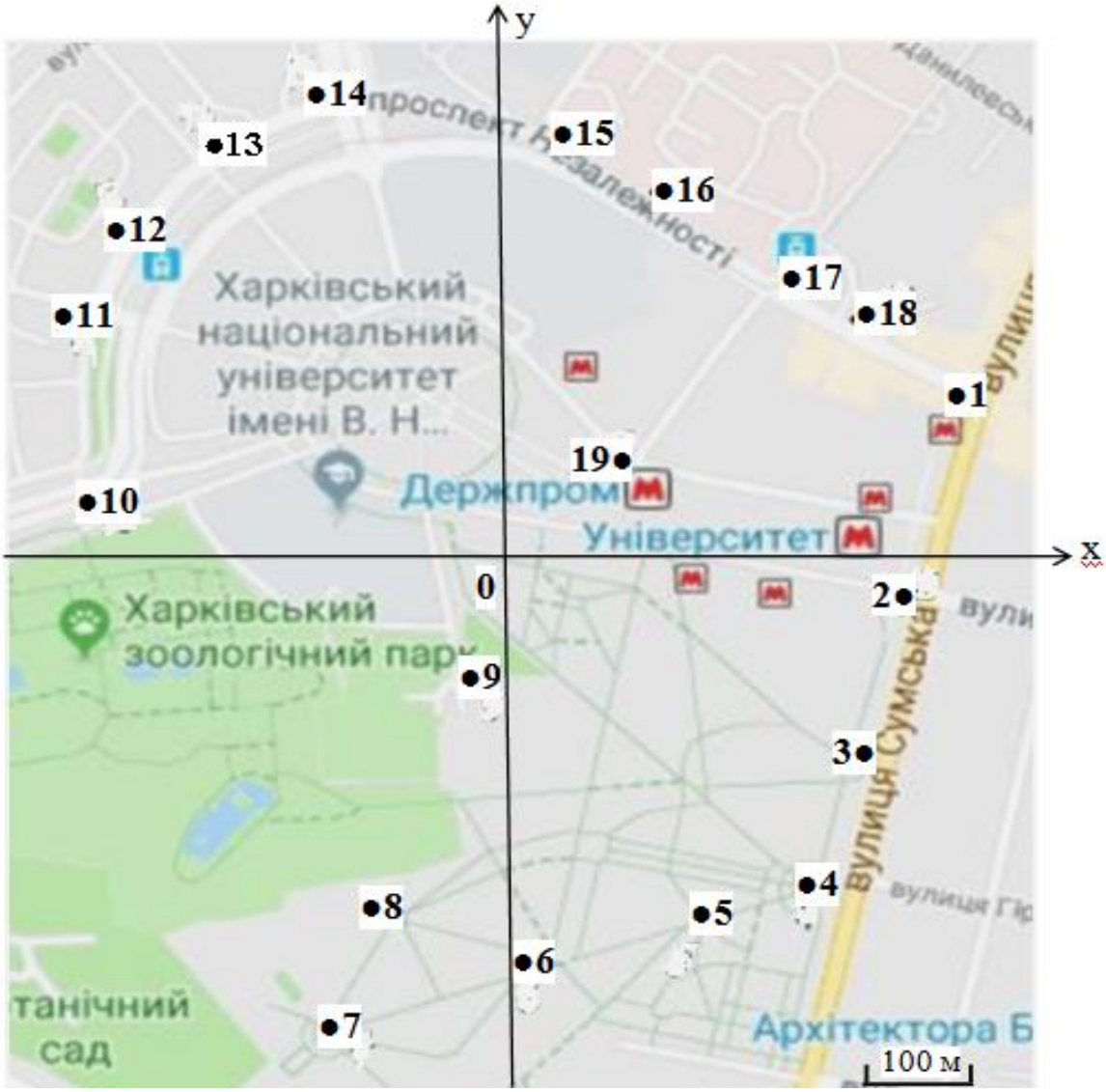



Рисунок 2.1 Розташування точок вимірювання на території Шевченківського району м. Харкова

В таблиці 2.1 наведені погодні умови під час вимірювань [17, 18] : температура повітря, середню швидкість вітру та його напрям, вологість повітря. Напрямок вітру зображено у градусах. За нульовий відлік прийнято північний, а надалі відлік напрямку вітру здійснювався проти годинникової стрілки, а саме: північно-західний – $45^0$, західний – $90^0$, південно-західний – $135^0$, південний – $180^0$, південно-східний – $225^0$, східний – $270^0$, північно-східний – $315^0$ .

Таблиця 2.1

Показники вимірів радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова за період спостережень (03.09.18-02.10.18)

| № точки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | Температура (°С) | Швидкість вітру (м/с) | Напрямок вітру | Вологість (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X, м | 391 | 348 | 322 | 261 | 165 | 17 | -174 | -130 | -43 | -400 | -426 | -383 | -304 | -191 | 26 | 113 | 243 | 304 | 87 | | | | |
| Y, м | 157 | -61 | -209 | -348 | -383 | -435 | -504 | -383 | -139 | 35 | 226 | 322 | 409 | 470 | 435 | 365 | 278 | 243 | 87 | | | | |
| 03.09 | 0,20 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,18 | 0,15 | 0,15 | 0,12 | 0,18 | 0,18 | 0,12 | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,19 | 0,20 | +23 | 2,2 | 90 | 50 |
| 04.09 | 0,22 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,19 | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,14 | 0,13 | 0,16 | 0,20 | 0,19 | 0,17 | 0,16 | 0,24 | +23 | 4,2 | 90 | 49 |
| 05.09 | 0,21 | 0,19 | 0,17 | 0,15 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,17 | 0,15 | 0,14 | 0,17 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,15 | 0,23 | +23 | 5,3 | 90 | 47 |
| 06.09 | 0,19 | 0,17 | 0,18 | 0,14 | 0,18 | 0,19 | 0,15 | 0,15 | 0,18 | 0,16 | 0,16 | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,20 | 0,19 | 0,17 | 0,16 | 0,22 | +22 | 5,7 | 90 | 50 |
| 07.09 | 0,20 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,19 | 0,16 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,16 | 0,19 | 0,18 | 0,16 | 0,18 | 0,22 | +22 | 4,8 | 90 | 48 |
| 08.09 | 0,20 | 0,19 | 0,17 | 0,15 | 0,17 | 0,20 | 0,18 | 0,16 | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,15 | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 0,19 | 0,17 | 0,17 | 0,23 | +23 | 5,5 | 90 | 47 |
| 09.09 | 0,19 | 0,17 | 0,17 | 0,12 | 0,16 | 0,19 | 0,15 | 0,14 | 0,10 | 0,14 | 0,18 | 0,14 | 0,10 | 0,14 | 0,19 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | 0,25 | +19 | 4,7 | 90 | 78 |
| 10.09 | 0,20 | 0,17 | 0,18 | 0,16 | 0,16 | 0,19 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | 0,23 | +18 | 3,8 | 135 | 57 |
| 11.09 | 0,25 | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,21 | 0,15 | 0,14 | 0,19 | 0,15 | 0,16 | 0,11 | 0,15 | 0,20 | 0,15 | 0,20 | 0,17 | 0,14 | 0,22 | +19 | 2,3 | 90 | 39 |
| 12.09 | 0,23 | 0,18 | 0,17 | 0,19 | 0,16 | 0,20 | 0,17 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,18 | 0,14 | 0,15 | 0,18 | 0,18 | 0,19 | 0,17 | 0,18 | 0,20 | +20 | 1,9 | 180 | 55 |
| 13.09 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,16 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,16 | 0,14 | 0,19 | 0,15 | 0,18 | 0,16 | 0,18 | 0,21 | +21 | 1,9 | 180 | 68 |
| 14.09 | 0,23 | 0,21 | 0,18 | 0,20 | 0,14 | 0,20 | 0,16 | 0,16 | 0,14 | 0,17 | 0,20 | 0,20 | 0,14 | 0,17 | 0,15 | 0,18 | 0,15 | 0,22 | 0,20 | +23 | 3,7 | 45 | 43 |
| 15.09 | 0,20 | 0,20 | 0,18 | 0,15 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,18 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,16 | 0,20 | 0,19 | +20 | 3,8 | 315 | 57 |
| 16.09 | 0,21 | 0,19 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,18 | 0,16 | 0,14 | 0,15 | 0,18 | 0,19 | 0,17 | 0,18 | 0,22 | +18 | 5,4 | 315 | 75 |
| 17.09 | 0,19 | 0,19 | 0,16 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,14 | 0,18 | 0,19 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,19 | 0,19 | +13 | 2,1 | 315 | 60 |
| 18.09 | 0,20 | 0,23 | 0,14 | 0,10 | 0,25 | 0,13 | 0,18 | 0,15 | 0,12 | 0,20 | 0,19 | 0,14 | 0,15 | 0,14 | 0,22 | 0,24 | 0,18 | 0,22 | 0,20 | +16 | 3,9 | 270 | 63 |
| 19.09 | 0,22 | 0,12 | 0,20 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,18 | 0,24 | 0,18 | 0,14 | 0,18 | 0,18 | 0,24 | 0,18 | 0,24 | 0,18 | 0,11 | 0,18 | 0,22 | +19 | 2,2 | 270 | 60 |
| 20.09 | 0,23 | 0,16 | 0,19 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,15 | 0,18 | 0,20 | +20 | 2,2 | 270 | 70 |
| 21.09 | 0,18 | 0,16 | 0,18 | 0,18 | 0,16 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,18 | 0,16 | 0,18 | 0,19 | +25 | 2,1 | 45 | 62 |
| 22.09 | 0,20 | 0,19 | 0,19 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,16 | 0,16 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | +23 | 3,3 | 135 | 48 |
| 23.09 | 0,21 | 0,20 | 0,18 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,21 | +17 | 2,1 | 270 | 83 |
| 24.09 | 0,17 | 0,23 | 0,21 | 0,14 | 0,15 | 0,17 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 0,16 | 0,13 | 0,25 | 0,20 | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,23 | +14 | 5,9 | 180 | 76 |
| 25.09 | 0,19 | 0,20 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,22 | +13 | 4,0 | 315 | 88 |
| 26.09 | 0,23 | 0,20 | 0,19 | 0,18 | 0,16 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,21 | +12 | 3,4 | 315 | 60 |
| 27.09 | 0,21 | 0,18 | 0,18 | 0,15 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 0,18 | 0,20 | +12 | 5.5 | 270 | 61 |
| 28.09 | 0,25 | 0,20 | 0,20 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,16 | 0,19 | 0,16 | 0,17 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,23 | +15 | 3,2 | 225 | 68 |
| 29.09 | 0,24 | 0,23 | 0,18 | 0,18 | 0,16 | 0,16 | 0,17 | 0,19 | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,20 | +12 | 4,9 | 315 | 90 |
| 30.09 | 0,25 | 0,20 | 0,25 | 0,19 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0,11 | 0,15 | 0,13 | 0,16 | 0,14 | 0,16 | 0,14 | 0,13 | 0,15 | 0,16 | 0,19 | +12 | 2,0 | 45 | 59 |
| 01.10 | 0,19 | 0,13 | 0,15 | 0,11 | 0,15 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,19 | 0,14 | 0,13 | 0,15 | 0,25 | 0,16 | 0,22 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,19 | +12 | 3,8 | 90 | 71 |
| 02.10 | 0,21 | 0,13 | 0,14 | 0,24 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,18 | 0,18 | 0,12 | 0,15 | 0,10 | 0,21 | 0,16 | 0,18 | 0,16 | 0,16 | 0,18 | 0,21 | +13 | 3,0 | 270 | 86 |

Висновки по наведеній таблиці 2.1 можна зробити такі,що, результати у більшості залежать від місця розташування контрольної точки. Максимальне значення у контрольних точках № 1, 3, 5, 13, 14, 19 – 0,25 мкЗв/год, мінімальне у контрольних точках № 4, 9, 11, 12, 13, 17 – 0,11 мкЗв/год; середнє значення 0,14-0,2 мкЗв/год. Від погодних умов та дати вимірювання залежність мінімальна.

Перші розрахунки були проведені на основі даних таблиці 2.1 із застосуванням інструменту «Двофакторний дисперсійний аналіз без повторень» з пакету аналізу даних прикладних програм MS Excel-2010 (фірма Microsoft, 2010). Застосування двофакторного дисперсійного аналізу для визначення варіабельності отриманих даних при варіюванні двох визначаючих факторів: 1) місця розташування точок вимірювань , 2) дат проведення вимірювань застосовувалось для первинної обробки результатів вимірювань. Результати наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Результати застосування двофакторного дисперсійного аналізу для визначення залежності рівня радіації від різних факторів

| Дисперсійний аналіз | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Джерело варіації* | *SS* | *df* | *MS* | *F* | *P-Значення* | *F критичне* |
| Строки | 0,013486 | 29 | 0,000465 | 1,084046 | 0,351009 | 1,489311 |
| Стовпці | 0,145602 | 18 | 0,008089 | 18,85665 | 6,2E-46 | 1,623648 |
| Похибка | 0,223924 | 522 | 0,000429 | | | |
| Усього | 0,383012 | 569 | | | | |

Головний вплив на варіабельність отриманих даних – місце проведення вимірювань (положення контрольної точки - 38,0 %), це можна спостерігати за даними таблиці 2.2. Варіабельність результатів зі зміною дати незначна – 3,5 % та не є достовірна, бо значущість впливу за Фішером становила $p < 0,35$ при необхідній $p < 0,05$, оскільки $F_{факт} = 1,084 < F_{крит} = 1,489$. Але не

дивлячись на все загальний вплив інших випадкових факторів складав 58,5 %.

Одна з найважливіших завдань радіаційного моніторингу є побудова поля радіаційного фону на місцевості. Є алгоритм, основа якого - побудова регресійних моделей для поля радіації у вигляді поліномів різних ступенів за значеннями поточних координат довільної точки всередині зони спостережень [7, 8, 9, 10, 11]. Даний алгоритм має багато переваг, а саме:

1) достовірно оцінити значення коефіцієнтів регресії дозволяє застосування методу найменших квадратів;

2) регресивні моделі мають високі значення коефіцієнтів детермінації, тому вони є якісними;

3) також регресивні моделі змістовні за критерієм Фішера;

4) за допомогою моделі можна визначити мінімальну кількість датчиків (або точок спостереження), яка потрібна для забезпечення необхідної точності вимірювань;

5) статистична помилка регресії знаходиться в межах декількох відсотків.

Головний недолік даного класу моделей - суттєве завищення значень радіаційного фону далеко від центру контрольованої зони, так як регресія будується за координатами в різних ступенях та їх добутками. Чим більше значення координат, тим більша помилка моделі [7, 8, 9, 10, 11].

РОЗДІЛ 3

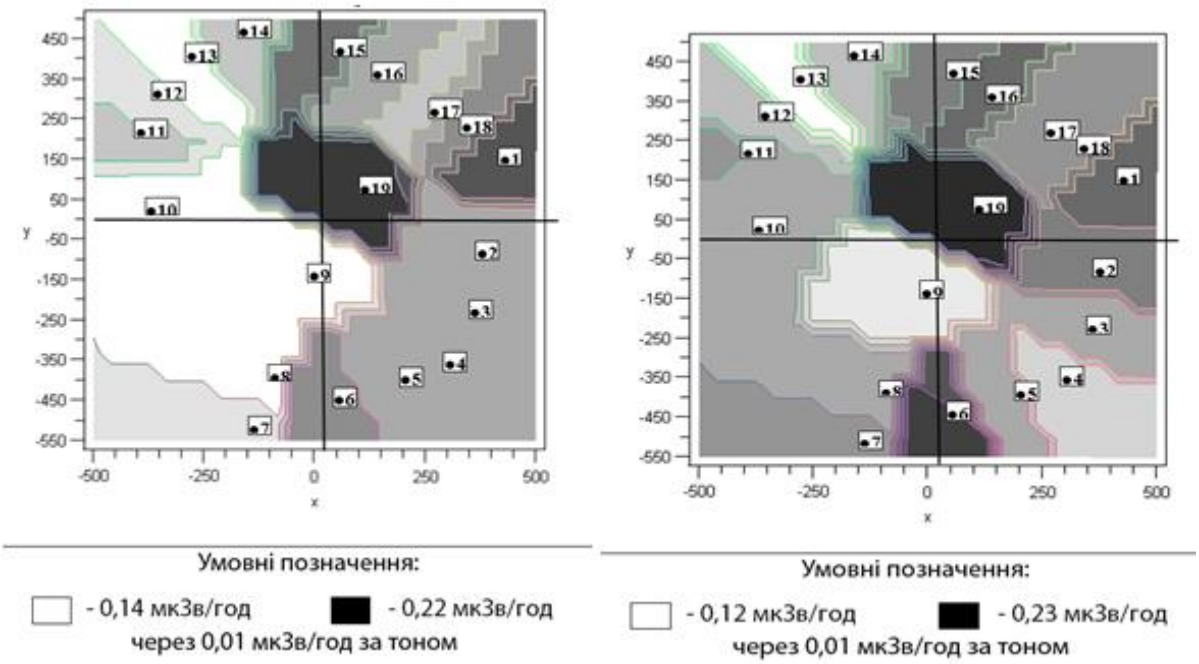
# ПОБУДОВА РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ТА АНАЛІЗ ВИМІРЮВАННЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ

Карти радіаційного забруднення контрольованої зони для усього періоду спостережень побудовані за допомогою алгоритму [11] та представлені на рисунках 3.1 - 3.15. На цих картах показані усі точки, які є реперними, рисунка 2.1 .

Існує алгоритм [12], в якому будується регресія не за двома координатами точки $M$ ($x$, $y$), а за відстанню від цієї точки до найближчої до неї $i$-ої. Ця відстань лежить на деякій ламаній лінії, яка послідовно з'єднує усі точки спостережень від центральної до останньої. Запропонований алгоритм виключає завищення рівня радіації біля границі і за межами зони спостережень, тому что він прив'язує значення потужності дози випромінювання в довільній точці зони до виміряного значення в найближчій точці спостереження.

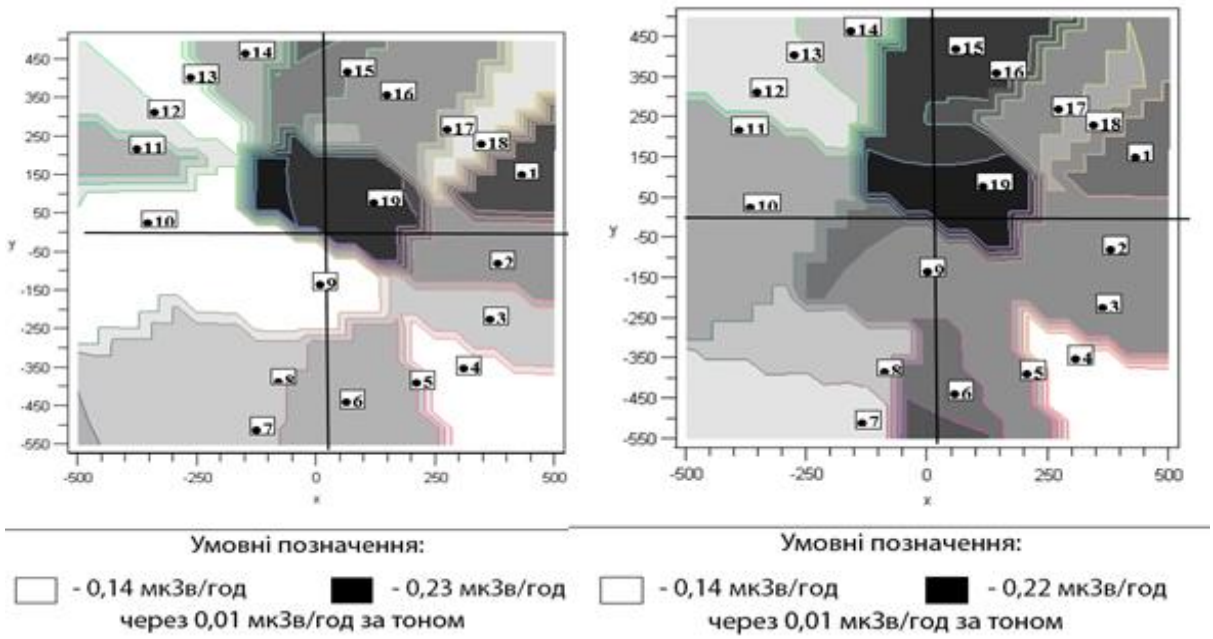
Результати дослідження радіаційного фону, залежність його від природних умов (температури, скорості та напрямку вітру, вологості повітря) та антропогенних чинників були представлені після кожної декади.

У роботі вийшло три декати : перша деката (рисунки 3.1-3.5), друга (рисунки 3.6 – 3.10), третя (рисунки 3.11 – 3.15). Згідно положення кожної точки до географічного центру карти (0,0) у метрах розраховувались координати по осям X та Y.



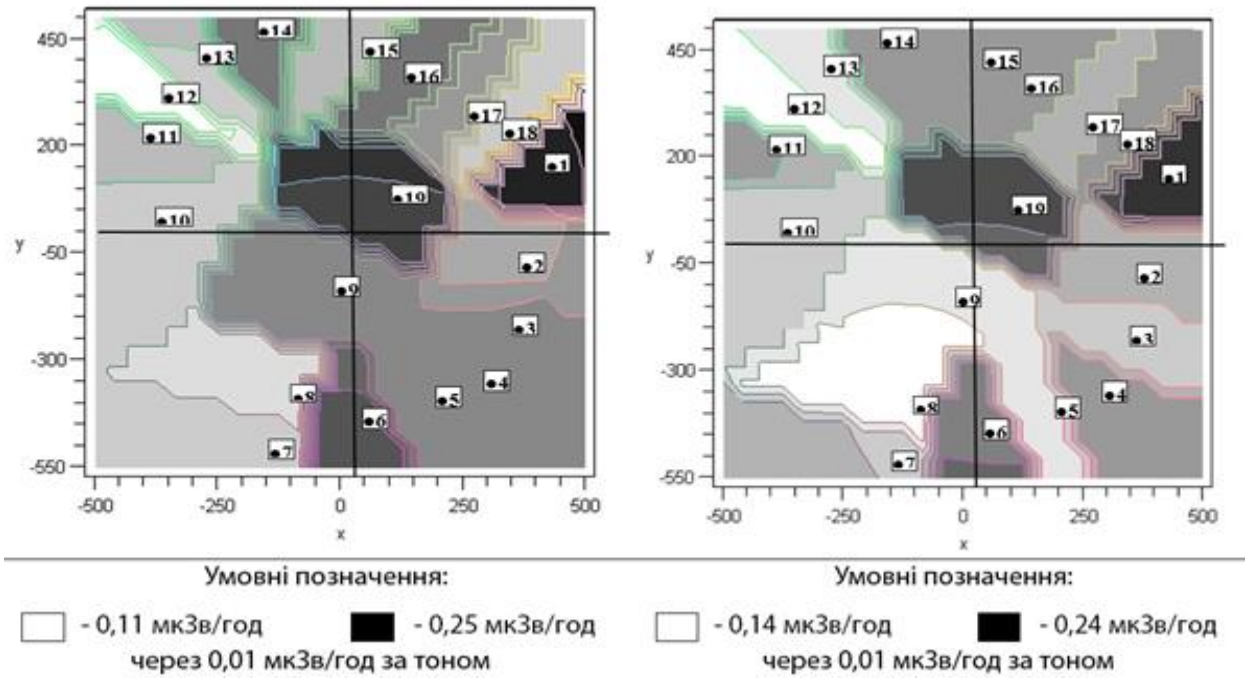

(а) (б)

Рисунок 3.1 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 03.09.2018 р. (а) та 04.09.2018 р.



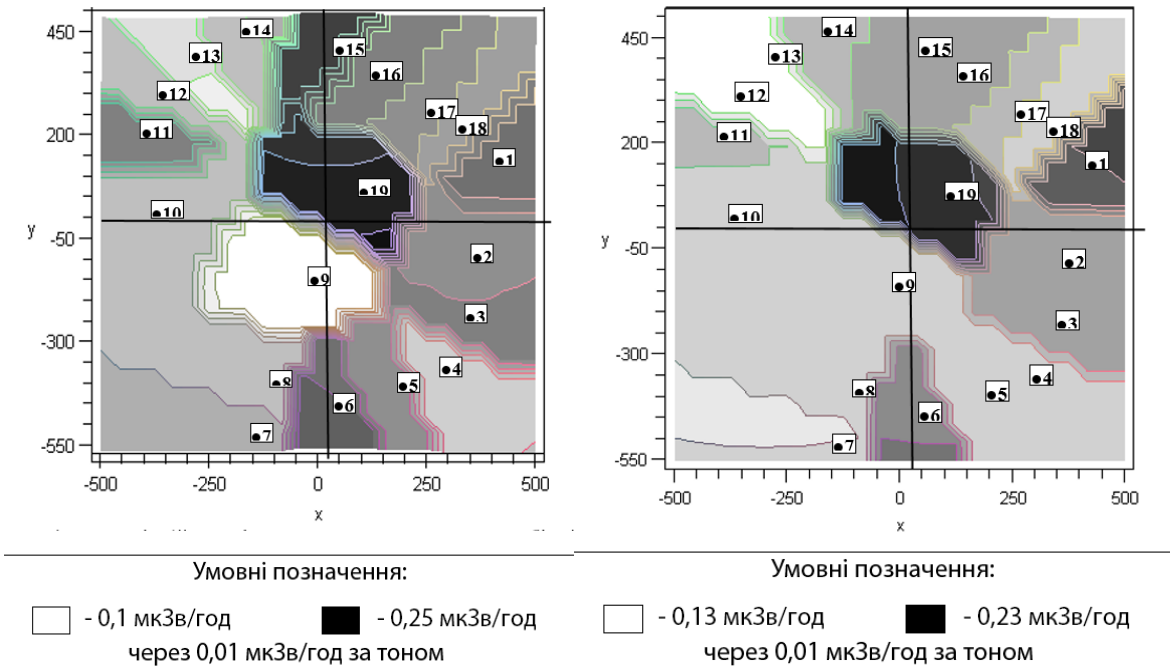

(а) (б)

Рисунок 3.2 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 05.09.2018 р. (а) та 06.09.2018 р. (б)



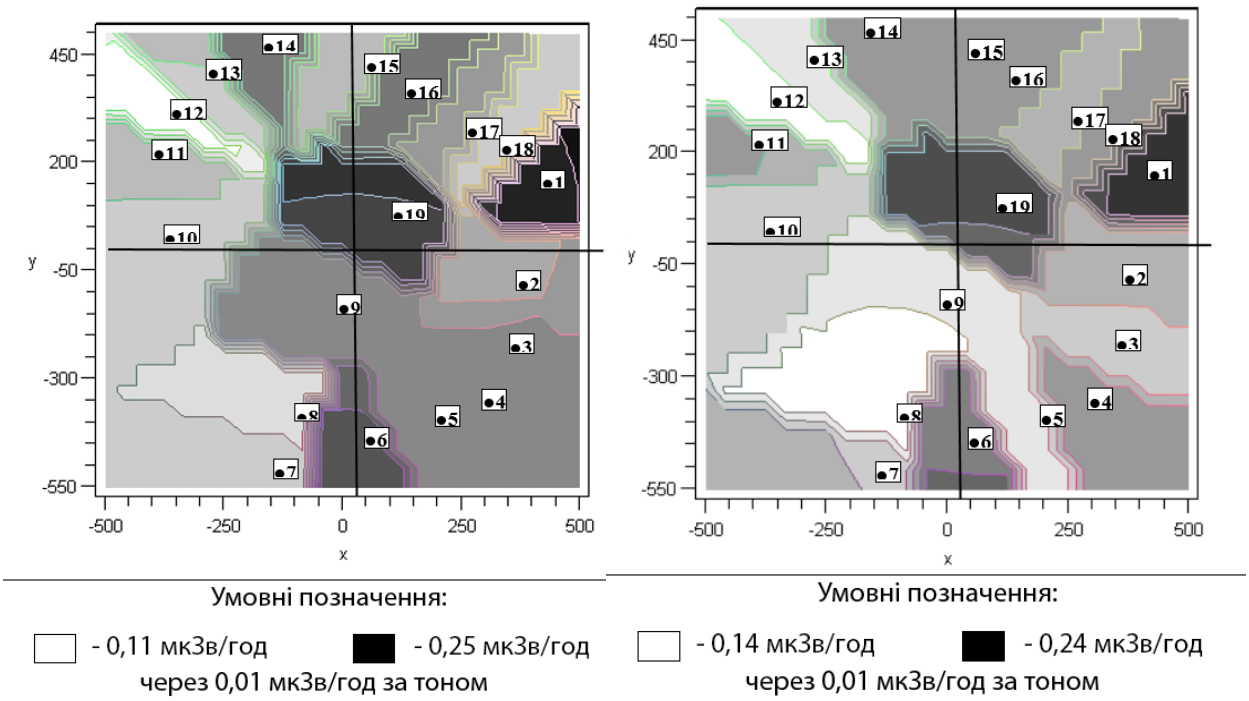

(а) (б)

Рисунок 3.3 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 07.09.2018 р. (а) та 08.09.2018 р. (б)




(а) (б)

Рисунок 3.4 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 09.09.2018 р. (а) та 10.09.2018 р. (б)

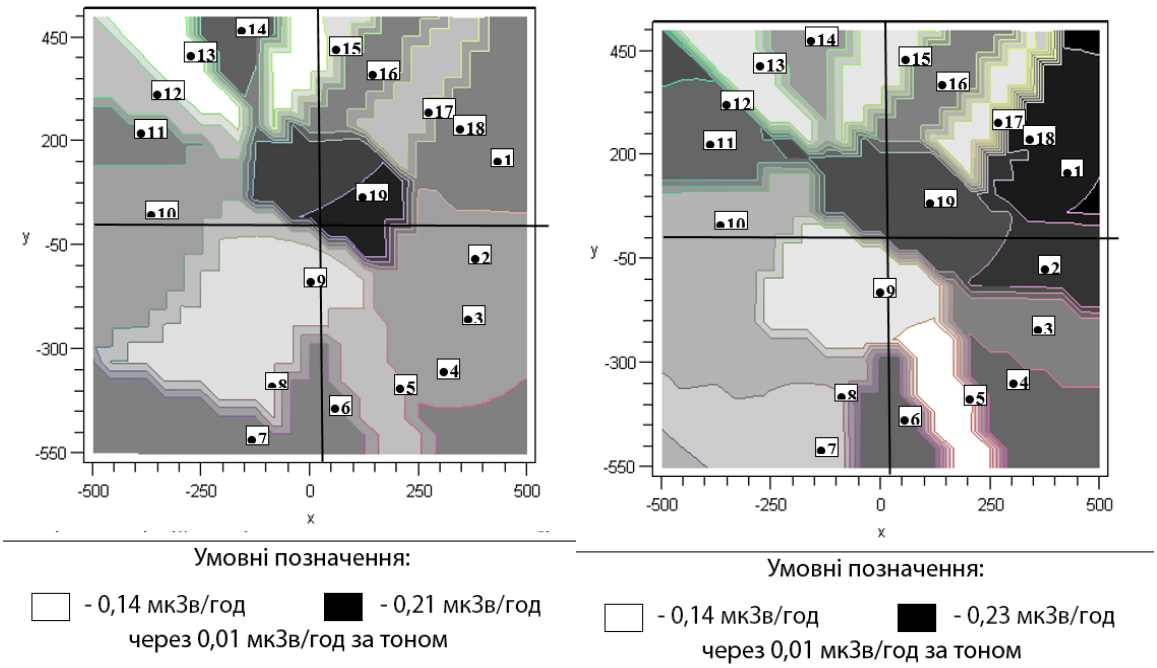



(а) (б)

Рисунок 3.5 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 11.09.2018 р. (а) та 12.09.2018 р. (б)

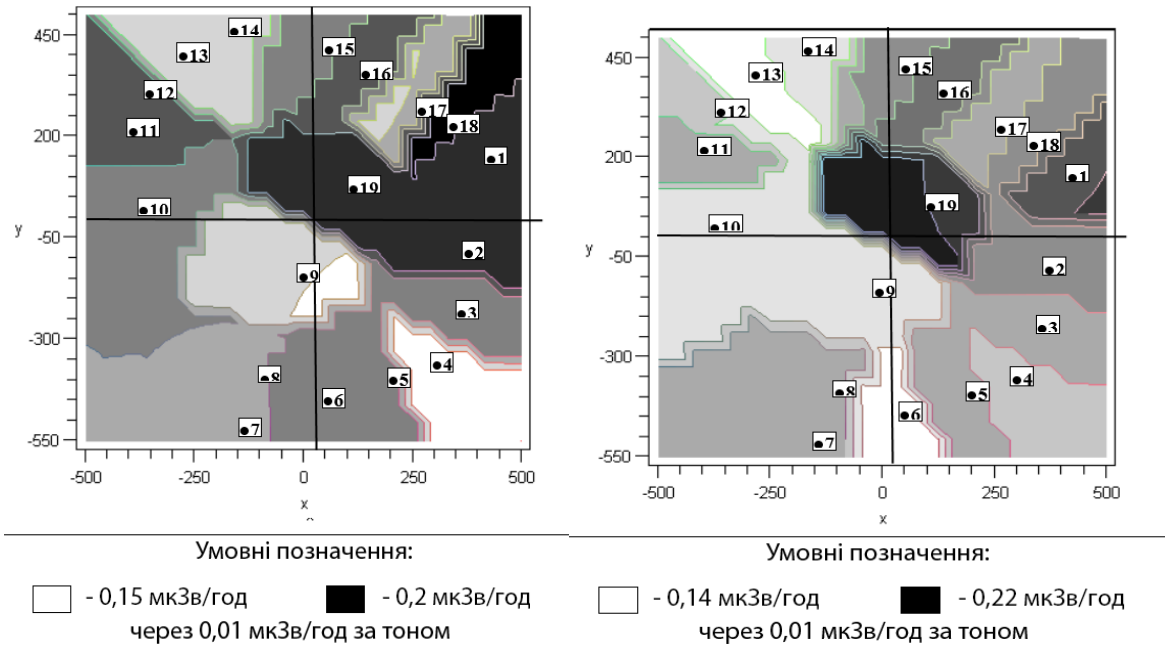
Динаміка радіаційного фону 03.09-12.09 2018 року показана на рисунках 3.1-3.5. У цей час максимально високий рівень радіації зберігався біля станцій Університет» (к. т. №1) та метро «Держпром» (к. т. №19) . Винятком був проспект Незалежності (к.т №11-18) там не зберігався підвищений радіаційний фон (0,15-0,19 мкЗв/год) 06.09 та 08.09. Сад імені Тараса Шевченко (к. т. № 4-8) та Харківський зоологічний парк (к. т. № 9, 10) показали мінімальні значення.

Температура повітря у цей час була 18-23 °С, тепла, швидкість вітру 1,9-5,7 м/с, вологість середня – 23-78% , опади – дощ (09.09.2018), напрямок вітру мінливий. Погодні умови майже не впливали на зміни радіаційного фону.



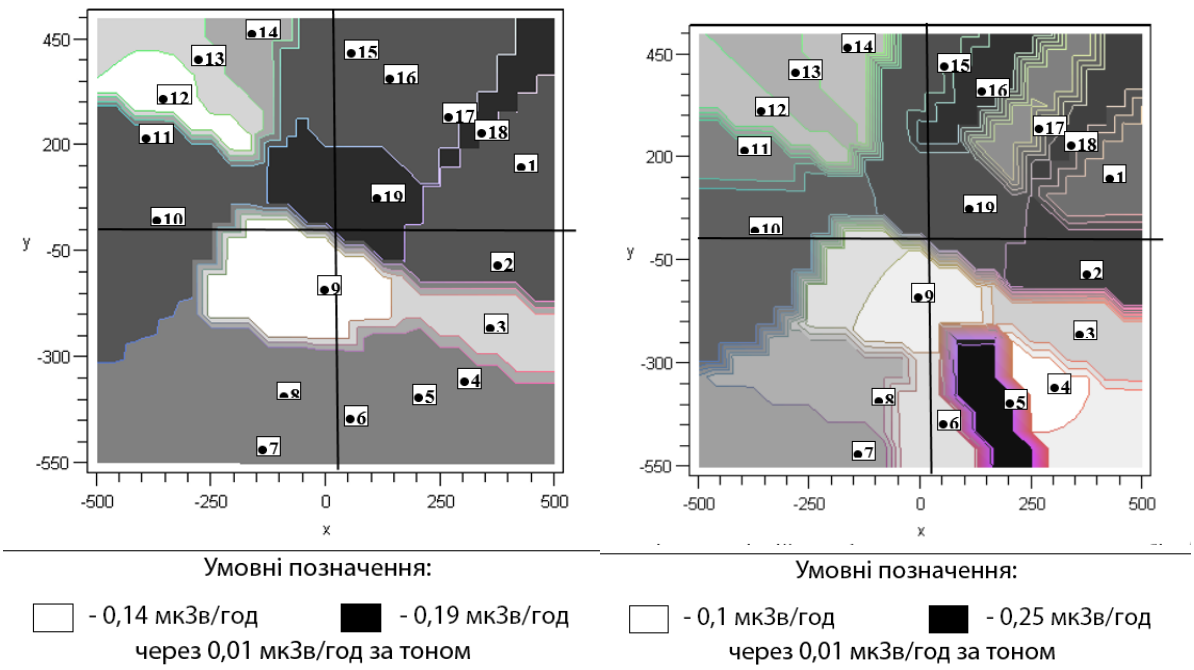

(а) (б)

Рисунок 3.6 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 13.09.2018 р. (а) та 14.09.2018 р. (б)



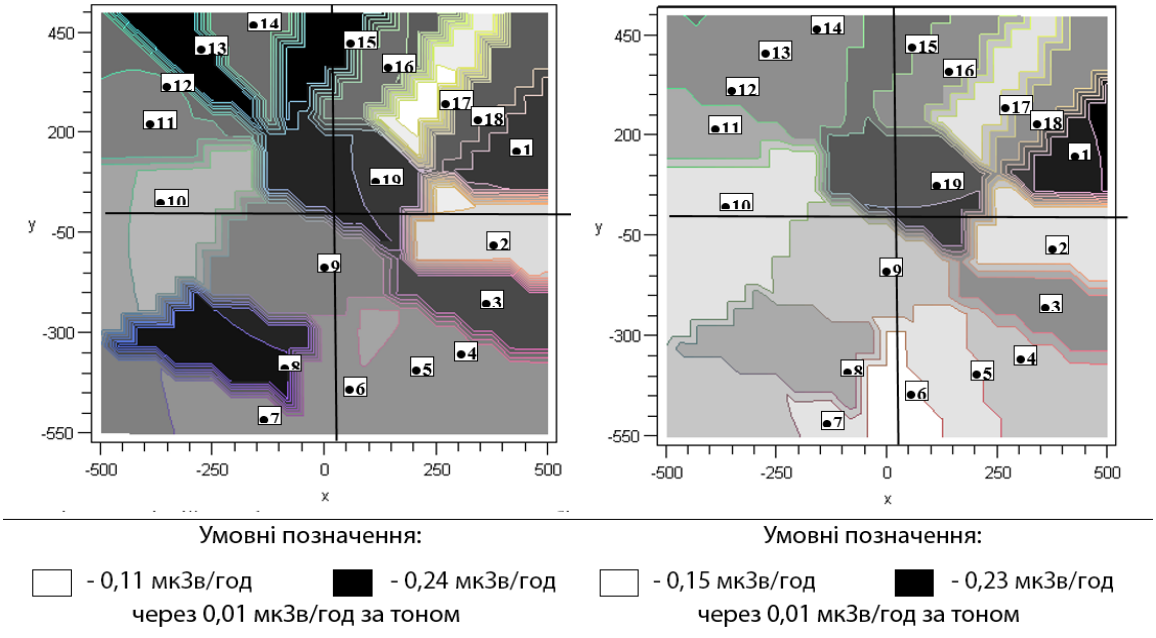

(а) (б)

Рисунок 3.7 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 15.09.2018 р. (а) та 16.09.2018 р. (б)



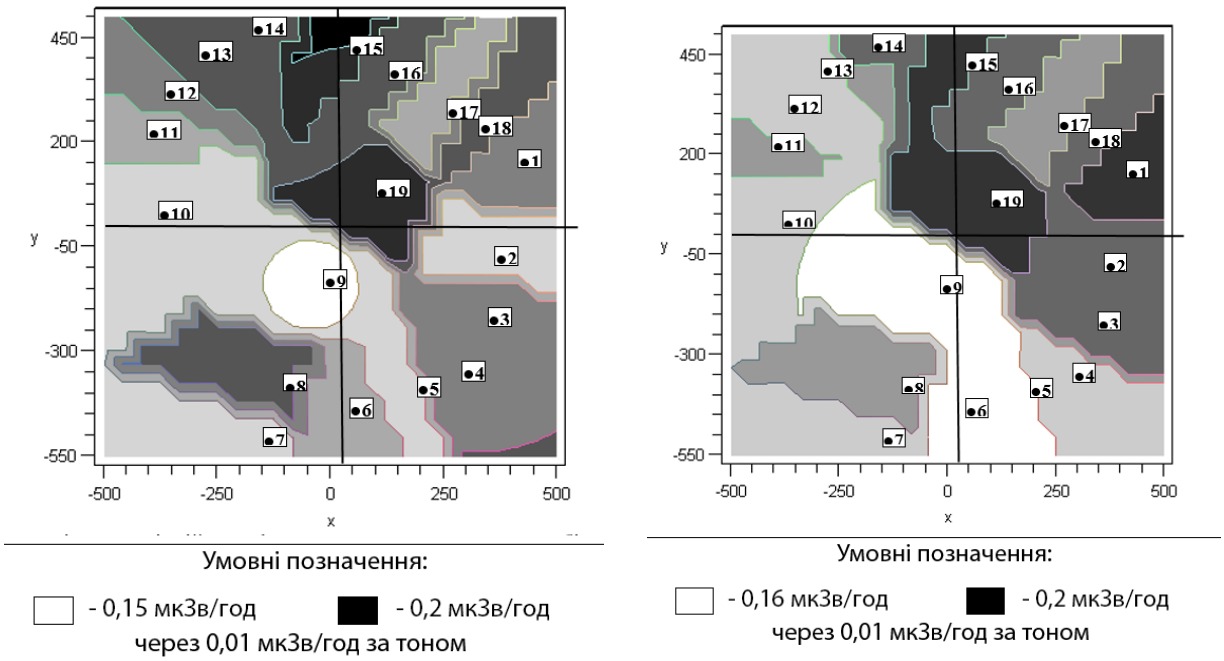

(а) (б)

Рисунок 3.8 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 17.09.2018 р. (а) та 18.09.2018 р. (б)




(а) (б)

Рисунок 3.9 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 19.09.2018 р. (а) та 20.09.2018 р. (б)



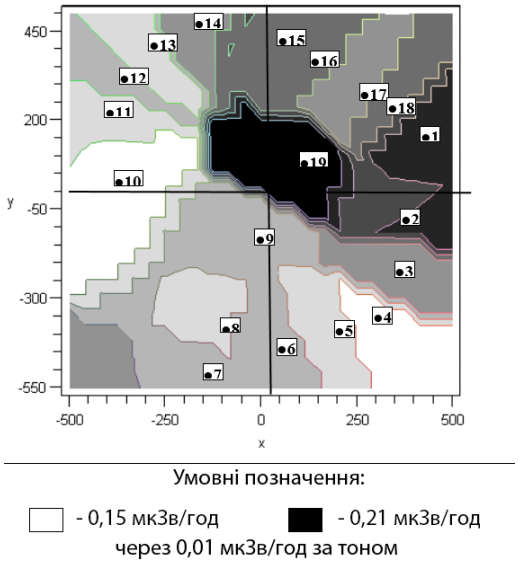

(а) (б)

Рисунок 3.10 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 21.09.2018 р. (а) та 22.09.2018 р. (б)

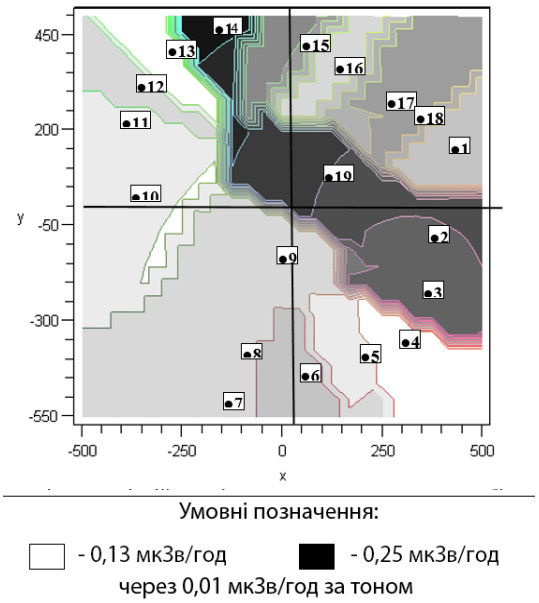
На рисунках 3.6 – 3.10 можна побачити динаміку радіаційного фону 13.09-22.09.2018 року. Так само, як і у попередню декаду максимальний радіаційний фон зберігався біля станцій метро «Держпром» (к. т. №19) та «Університет» (к. т. №1). На проспекті Незалежності (к.т №11-18) зберігався за винятком 13.09 та 16.09 більш підвищений радіаційний фон (0,18-0,24 мкЗв/год). Харківський зоологічний парк (к. т. № 9, 10) також, як і у попередній декаді показав мінімальне значення радіаційного фону.

У цей час температура повітря була тепла 13-23°С, швидкість вітру майже така ж 1,9-5,6 м/с, вологість приблизно така ж – 27-70% ,опади – дощ (13.09,15.09-16.09), напрямок вітру мінливий. Погодні умови майже не впливали на зміни радіаційного фону.

19.09.2018 р. було зафіксовано значно вищий рівень радіаційного фону, але погодні умови залишалися звичайними. Це може бути пов’язаним з середньою швидкістю вітру (2,2 м/с).

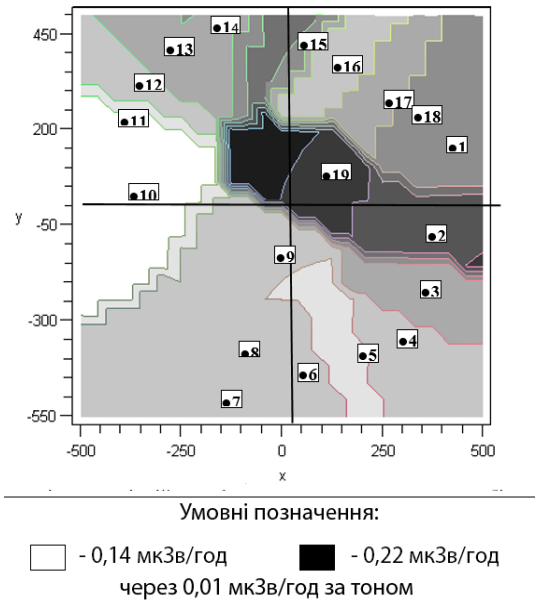



(а)

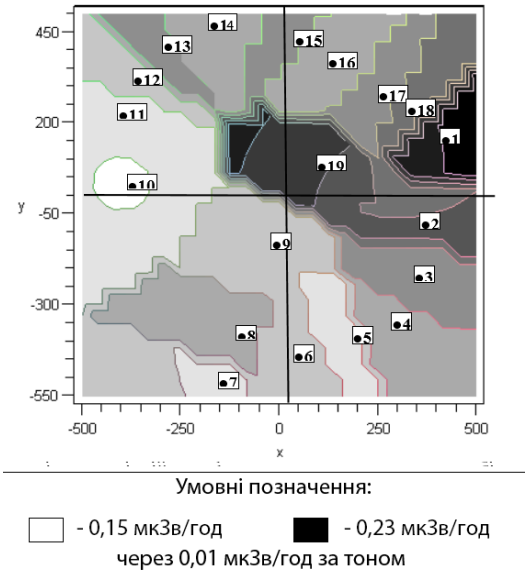



(б)

Рисунок 3.11 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 23.09.2018 р. (а) та 24.09.2018 р. (б)

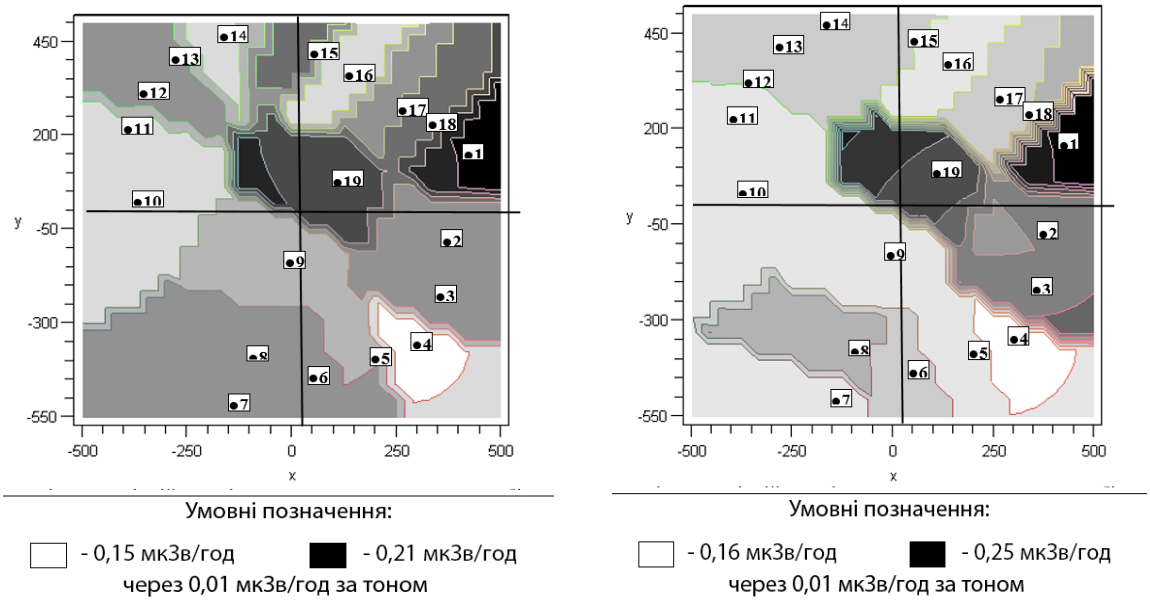



(а)



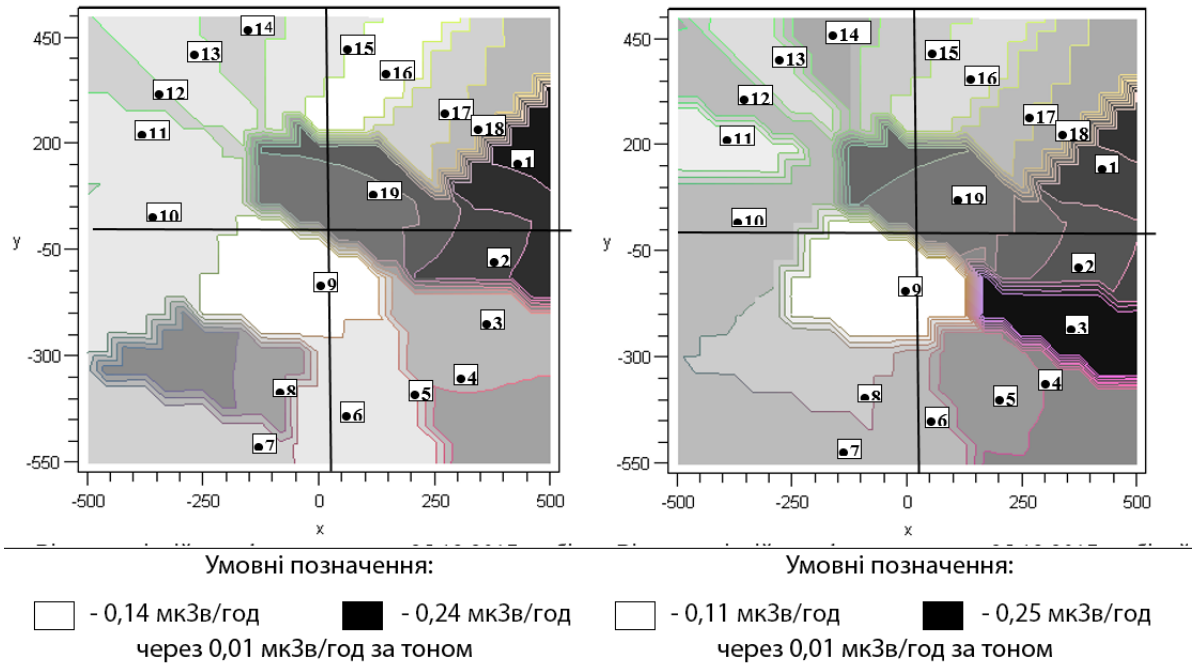

(б)

Рисунок 3.12 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 25.09.2018 р. (а) та 26.09.2018 р. (б)



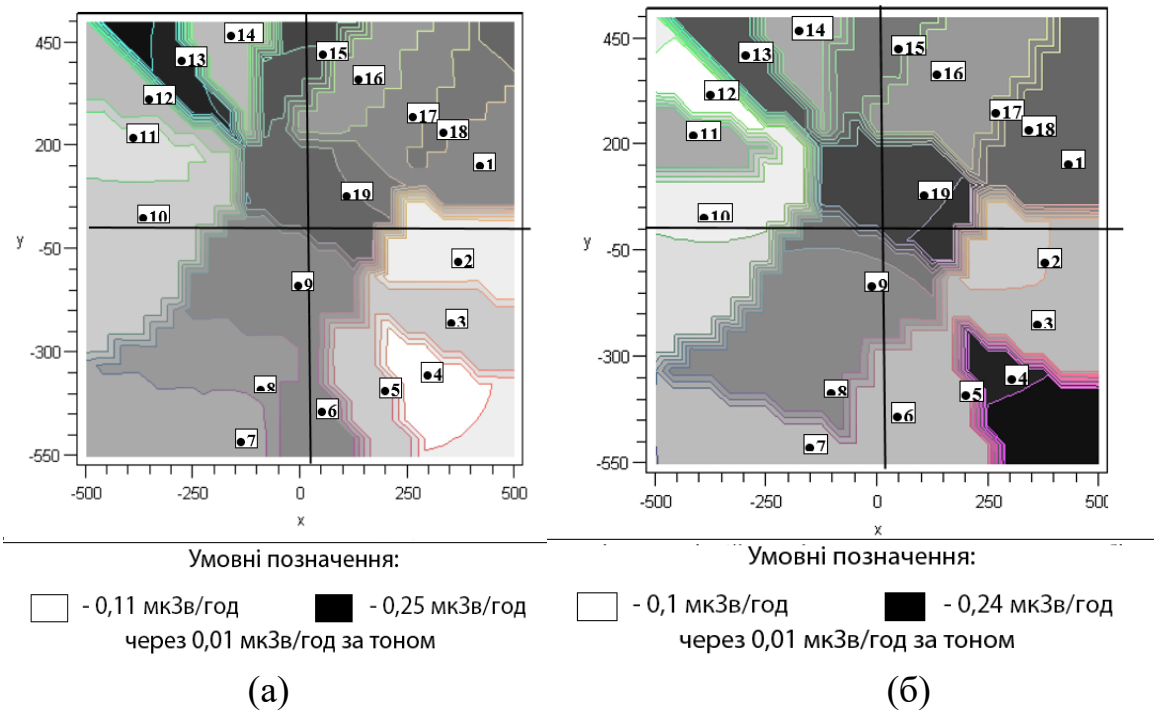

(а) (б)

Рисунок 3.13 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 27.09.2018 р. (а) та 28.09.2018 р. (б)




(а) (б)

Рисунок 3.14 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 29.09.2018 р. (а) та 30.09.2018 р. (б)




(а) (б)

Рисунок 3.15 Рівень радіаційного фону Шевченківського району м. Харкова станом на 01.10.2018 р. (а) та 02.10.2018 р. (б)

Динаміка радіаційного фону зображена на рисунках 3.11 – 3.15 23.09-02.10 2018 року. Максимально високий рівень радіації у цей час зберігався, як завжди, біля станцій метро «Університет» (к. т. №1), «Держпром» (к. т. №19). Значно збільшився протягом вул. Сумської (к. т. №2-3), на проспекті Незалежності (к. т. №11-18) після 23.09 почав зменшуватись (0,14-0,17 мкЗв/год). Харківський зоологічний парк (к. т. № 9, 10), сад імені Тараса Шевченко (к. т. № 4-8) , як завжди, мінімальні значення зеленої зони.

Температура повітря у цей час була приблизно як і раніше - 12-17°С, тепла, швидкість вітру з великим розкидом 2,0-5,9 м/с, вологість мінлива – 59-93%, опади – дощ (23.09-25.09; 29.09), напрямок вітру мінливий. Погодні умови майже не впливали на зміни радіаційного фону.

Висновки які можна зробити з представлений карт радіаційного фону такі: мінімальний рівень радіаційного забруднення - межа Харківського зоологічного парку та ботанічного саду ХНУ (к. т. №9, 10), на розі проспекту

Незалежності та вулиці Ромен Роллана (к. т. №13), саду імені Тараса Шевченко (к. т. №4-8). Ці ділянки можна назвати найбільш екологічно чисті на безпечні зони, де проводились спостереження. Проте були значення майже у два рази вищі за середнє значення радіаційного фону, це ділянка між виходом зі станції метро «Держпром» вздовж північного корпусу ХНУ та старим корпусом готелю «Харків». Це можна пояснити тим,що в тих місцях мається багато споруд довоєнних часів з природного граніту, який є потужним джерелом гама та рентгенівського випромінювання. Також слід відмітити перехрестя вул. Сумської та проспекту Незалежності (к. т. № 1), воно є екологічно небезпечним, на якому практично завжди має місце інтенсивний рух транспорту та утворення заторів.

За даними таблиці 2.1 була побудовані графіки залежності середньої потужності дози радіаційного фону від метеорологічних умов під час проведення вимірювань. На рисунку 3.16 наведена залежність середньої потужності дози від температури повітря.

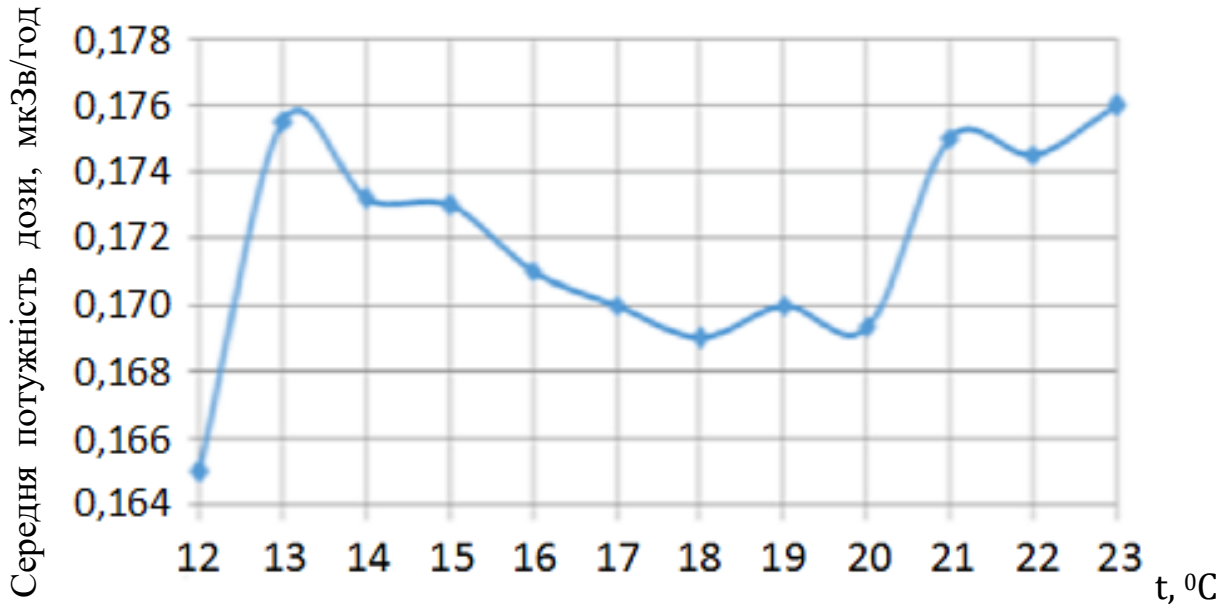



Рисунок 3.16 Залежність середньої потужності дози неперервного рентгенівського та гама-випромінювання від температури повітря

Ця залежність має складний характер, але знаходиться в межах похибки приладу вимірювання.

На рисунку 3.17 можна побачити залежність середньої потужності дози від швидкості вітру.

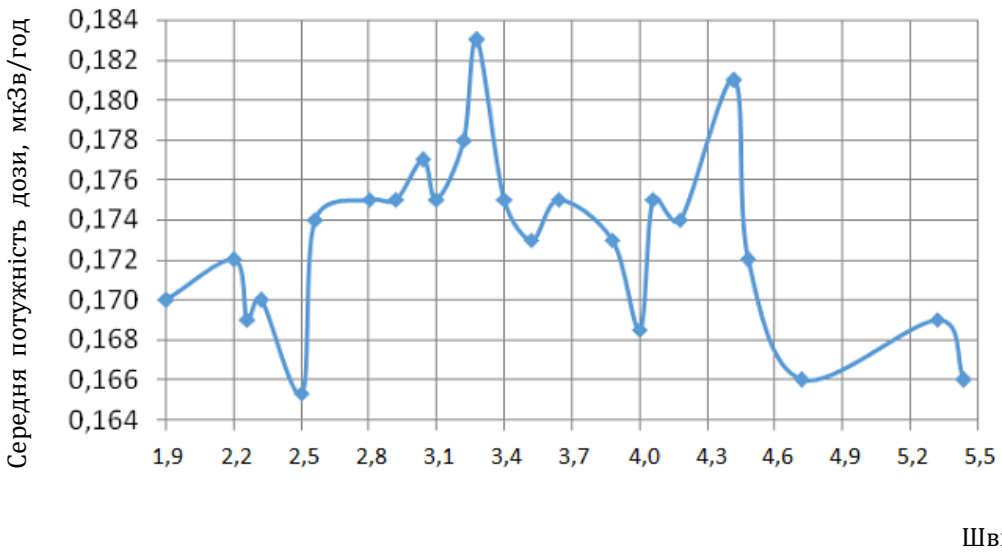



Рисунок 3.17 Залежність середньої потужності дози неперервного рентгенівського та гама-випромінювання від швидкості вітру у м/с

З графіку можна сказати,що слабкий вітер не впливає на радіаційний пил поблизу поверхні землі, а сильний його «видуває». При цьому середній вітер перемішує радіаційний пил в межах різних ділянок зони.

Залежність середньої потужності дози від напрямку вітру наведена на рисунку 3.18.

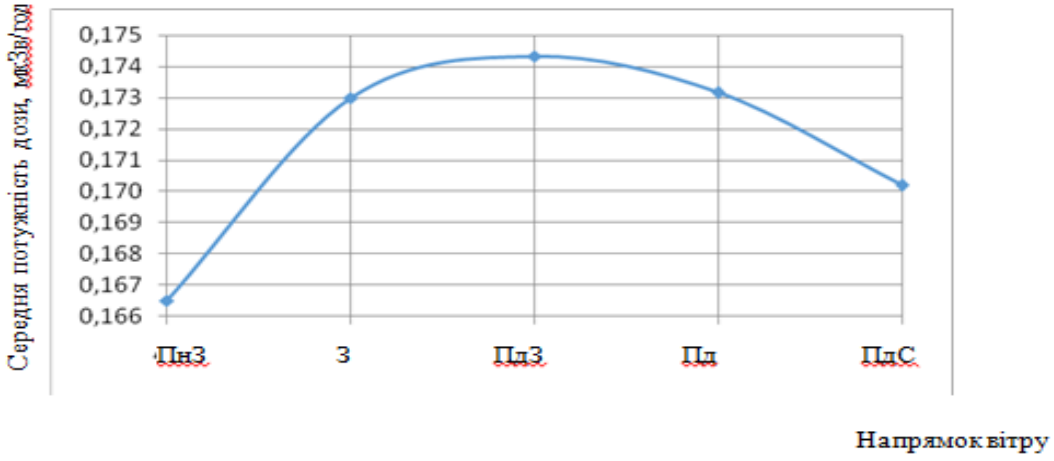



Рисунок 3.18 Залежність середньої потужності дози неперервного рентгенівського та гама-випромінювання від напрямку вітру

Має місце деяке збільшення потужності дози при південно-західному вітрі, але воно знаходиться в межах похибки приладу.

На рисунку 3.19 наведена залежність середньої потужності дози від вологості повітря.

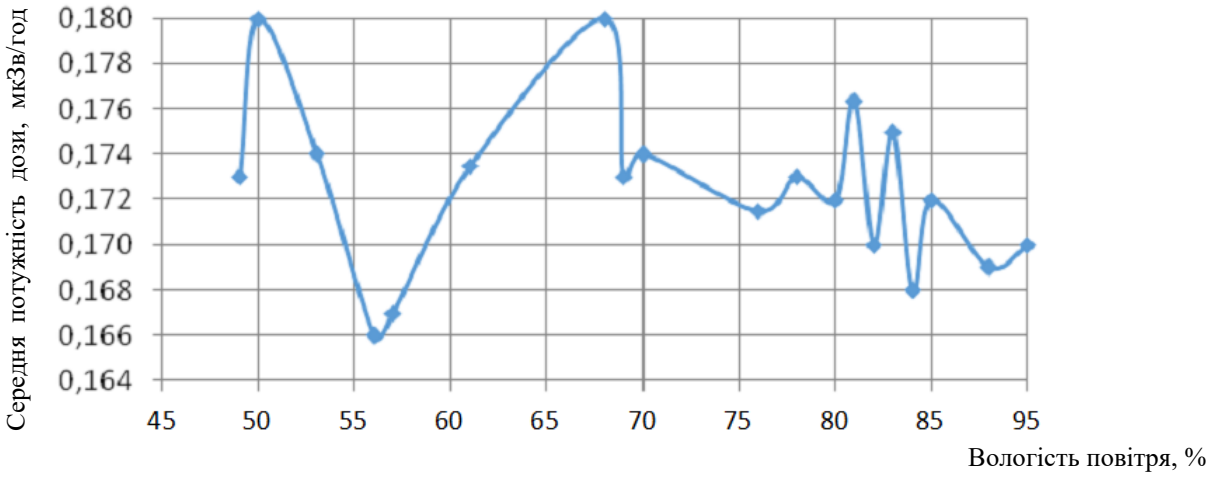



Рисунок 3.19 Залежність середньої потужності дози неперервного рентгенівського та гама-випромінювання від вологості повітря у відсотках

Дивлячись на цю залежність можна сказати, що у сухому повітрі рівень радіаційного фону вище, зі збільшенням вологості потужність радіації зменшується. Джерелом радіації є пил поблизу землі.

Мінімальний показник – 0,11 мкЗв/год, максимальний – 0,25 мкЗв/год; у середньому 0,14-0,2 мкЗв/год. Найбільш забруднена зона – станція метро «Держпром», «Університет», проспект Незалежності. Найменш – сад імені Тараса Шевченко, університетський парк ХНУ. Залежність від погодних умов мінімальна, у межах похибки приладу.

РОЗДІЛ 4

# РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПОБУДОВИ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

В Україні відсутня єдина державна методика проведення експерименту та обробки даних і це є головною проблемою проведення радіаційного моніторингу. Виникає проблема розробки універсальної методики.

Основна частина вимірювань та аналізу була основана на роботі проф. М. М. Пеліхатого «Методи та алгоритми визначення радіаційного стану навколишнього середовища» [8]. В роботі описані алгоритми визначення контрольних точок та обробки результатів. Цю роботу вже застосовували для моніторингу міста та області («Радіаційний моніторинг в режимі реального часу (на прикладі Дзержинського району міста Харкова)»).

Спочатку був застосований двофакторний дисперсійний аналіз. Подальший аналіз робився за допомогою побудованих регресійних моделей поля радіації, які мали вигляд поліномів різних ступенів за значеннями поточних координат довільної точки всередині зони спостережень [7, 8, 9, 10, 11]. Щоб усунути деякі недоліки методу, що були описані у Розділі 2, була використана модель [13], всередині контрольованої зони якої регресія будується не по двом координатам точки $M$ ($x$, $y$), а по одній, при якій відстань від цієї до найближчої $i$-ої точки, яка лежить на ламаній лінії, з'єднує усі точки спостережень послідовно (від центральної до точки, яка лежить якнайдалі від неї).

Ускладнення використання алгоритму зумовлене тим, що потужність дози, яка залежить від відстані по всій довжині ламаної, не є монотонною.

Алгоритм, який зазнав модифікацій в роботі [11], запропонувавши попередньо сортувати точки спостережень в залежності від зростання потужності дози (від найменшого до найбільшого значення). Також одержана монотонна крива неспадної функції потужності дози, що залежить від

значення відстані $l$ вздовж ламаної лінії, при якій з'єднано усі контрольні точки вимірювань, що були відсортовані за зростанням потужності дози. Вся контрольована зона вкрита щільною сіткою даної ламаної. Обчислення довжини $l$ на протязі усієї ламаної здійснюється за допомогою координат точок спостережень. Потім, застосувавши програму «Maple-12» (фірми Maplesoft, 2012), було побудовано рівняння регресії, яка мала вигляд поліномів 5-го ступеня за $l$ для кожного дня спостережень (приклад наведений в додатку А).

Алгоритм побудови поля радіаційного фону в контрольованій зоні та за її межами має наступний вигляд. Для цього можна розглянути довільну точку $M$, яка має координати $x$ і $y$, в якій ніяких вимірювань не здійснювалося.

Визначення відстані від точки $M$ до контрольної точки, яка знаходилася найближче до неї, здійснювалося за допомогою програми (Додаток А). Для того, щоб включити точку $M$ до ламаної, було визначено відстань від цієї точки до попередньої , яка була найближче до точки $K$ на ламаній. Дану відстань можна позначити як $\Delta l_{К,М}$. На ламаній положення точки буде характеризуватися довжиною (4.1):

$$l_М = l_К + \Delta l_{К,М}. \qquad (4.1)$$

В разі, якщо точка $M$ співпадає з точкою $K$ значення (4.2):

$$\partial_М = \partial_К + \Delta\partial_{К,М} = \partial_К. \qquad (4.2)$$

За допомогою отриманого раніше рівняння регресії опишемо значення потужності дози у точці $M$ з підстановкою значення (4.3)

$$l_М = l_К + \Delta l_{К,М}. \qquad (4.3)$$

Якщо точка $M(x,y)$ є довільною, то маємо карту радіаційного фону.

Так було побудовано кожну карту радіаційного фону для кожного дня всього періоду спостережень. Використання програми «Maple-12» дало можливість візуалізувати результати спостережень. Один з фрагментів побудови карти радіаційного фону наведено в Додатку А.

На цей час, в Україні не має єдиного метода побудови моделей для обробки зібраних даних для експерименту такого типу. Існуючі алгоритми мають купу значних недоліків. Автор використав побудову регресійних моделей з модифікованим алгоритмом для обробки результатів своєї роботи. Зміни виражаються в тому, що основою є відстань точки від попередньої, а не її координата. Також проведено сортування всіх значень від найменшого до найбільшого перед побудовою моделей. Це все дало можливість побудови монотонної кривої неспадної функції потужності дози, яка залежить від значення відстані $l$ на протязі всієї ламаної. Ця ламана з'єднує контрольні точки вимірювань, що було відсортовано за зростанням потужності дози. Вся контрольована зона вкривається щільною сіткою даної ламаної, що дуже зменшує похибку. Побудова моделей була зроблена за допомогою програми «Maple-12».

# ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

У першій частині були розглянуті етапи розвитку радіоекології. Виділяють чотири етапи: відкриття радіаційного фону (1895-1940 роки), випробування атомних бомб (50-60-ті роки), екологічні проблеми ядерної енергитики(1960-1986 роки), вивчення ступеня ризику АЕС (1986 - наш час). Через використання радіації людиною у різних сферах життя (медицина,енергетика,промисловість) та підвищення загального радіаційного фону тема радіоактивності є дуже актуальної на даний час. Також у першій частині було розглянуто поняття радіаційного моніторингу.

Вимірювання радіаційного фону проводилися протягом місяця з 3 вересня по 2 жовтня 2018 року на території Шевченківського району міста Харкова. Даний район має старі будівлі, які зроблені с граніту, які є причиною підвищення радіаційного фону, дві станції метро – «Університет» та «Держпром», також має дві широкі вулиці – Сумська та проспект Науки. Шевченківський район – центральний район міста Харкова, який відвідають багато туристів, студентів, на території, яка була обрана для спостережень знаходяться два ВУЗи – Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна та Харківський медичний університет. За рахунок активного руху автомобілів та обігу людей радіоактивний пил поблизу землі пересувається та зміщується.

З отриманих результатів можна сказати, що на потужність радіаційної дози дуже вливають випадкові чинники (58,5%) і це підтверджує зроблений дисперсійний аналіз. Отримані значення мають великий розкид: мінімальний показник – 0,11мкЗв/год у контрольних точках № 4, 9, 11, 12, 13, 17 , максимальний - 0,25 мкЗв/год у контрольних точках № 1, 3, 5, 13, 14, 19.

В роботі була проведена обробка отриманих вимірювань, за основу якої була взята вдосконалена методика побудови регресійних моделей. Також, для

кожного дня спостережень були побудовані карти радіаційного фону контрольних точок.

Для повного аналізу отриманих вимірювань були побудовані залежності потужності радіаційного випромінювання від метеорологічних умов (температури повітря, вологості повітря, швидкості та напрямку вітру). З цих залежностей, можна зробити висновок – метеорологічні умов майже не впливають на рівень радіаційного фону( в межах інструментальної похибки приладу, яким ми робили вимірювання(3,5%)).

На основі спостережень було виявлено, що найбільш забруднена зона була проспект Незалежності та станції метро «Університет», «Держпром», а найменш університетський парк ХНУ і сад імені Шевченко. Незважаючи на великі станції метро та вулиці, великий рух транспорту та автомобілів, будівлі, які були виготовлені з природних матеріалів, рівень радіаційного фону не перевищує норми – 0,3 мкЗв/год [14].

У роботі застосовувався простий алгоритм [12], за допомогою якого можна просто зробити побудову радіаційного фону на території, яка є об’єктом спостережень, також за її межами. За межами зони вимірювань відсутнє завищення рівня радіації завдяки алгоритму, який прив'язує значення радіаційного фону у довільній точці до виміряного значення в найближчій до неї контрольній точці. Також проведено сортування всіх значень від найменшого до найбільшого перед побудовою моделей. Це все дало можливість побудови монотонної кривої неспадної функції потужності дози, яка залежить від значення відстані $l$ на протязі всієї ламаної. Ця ламана з’єднує контрольні точки вимірювань, що було відсортовано за зростанням потужності дози. Вся контрольована зона вкривається щільною сіткою даної ламаної, що дуже зменшує похибку. Побудова моделей була зроблена за допомогою програми «Maple-12».

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ


1. Александров Ю. А. Основы радиационной экологии [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://ekolog.org/-books/33/2_2.htm
2. Этапы развития радиоэкологии [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://files.schoolcollection.edu.ru/-dlrstore/0aa16c08-ad07-4cf2-b53b047d0bf26d18/Metod_mat/help-/radio_eco/str3.htm
3. Історія відкриття радіоактивності [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:http://bibliofond.ru/view.aspx?id=111474
4. На захисті здоров'я оточуючого середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:http://scientificrussia.ru/articles/na-strazhe-zdorovya-okruzhayushchej-sredy
5. Лісаченко Є. П. Викиди природних радіонуклідів у навколишнє середовище в результаті діяльності підприємств неядерних галузей / Є. П. Лісаченко, І. П. Стомат, А. Л. Зельдін // Радіаційна гігієна. – Санкт-Петербург: СПНДІРГ, 2012. – С. 50-54.
6. Радіоекологія [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:http://www.ggau.by/downloads/fizika/osnowy_radioekologii.pdf
7. Некос В.Е. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени / В. Е. Некос, О. М. Гетманец, Н. М. Пелихатый, А. В. Чуенко, А. А. Дроздов, И. А. Кривицкая // Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – Харків, ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2009. – № 2 (13). – С. 7 – 13.
8. Гетманец О.М. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени. / О. М. Гетманец, Н. М. Пелихатый, А. А. Дроздов, В. Е. Некос, К. И. Кучеров // Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – Харків, ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2010. – № 2 (15). – С. 31 – 33.
9. Некос В. Ю. Методи і алгоритми визначення радіаційного стану довкілля / В. Ю. Некос, М. М. Пеліхатий, І. П. Юшманова // Журнал

наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – Харків, ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2008.– № 1–2. – С. 90 – 98.

10. Спосіб радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу/ Патент України на корисну модель № 50154 / Гетманець О. М., Гордієнко В. Г., Дроздов О. О., Пеліхатий М. М. / Заявл.11.12.2009; опубл. 25.05.2010. Бюл. № 10. – 4 с.
11. Raskob W. European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies (EURANOS) / W. Raskob // Kemtechnik. – 2007. No 72 (4). – P. 172 – 175.
12. Гетманець О. М. Модель побудови поля радіаційного фону / О. М. Гетманець, К. Ю. Іванова, М. М. Пеліхатий // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Екологія». вип. 17, Харків, ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2017. – С. 99 – 105.
13. Гетманец О. М. Разработка алгоритма построения поля радиационного фона / О. М. Гетманец, Н. М. Пелихатый // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Екологія». Вип.14, Харків, ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016. – С. 41 – 45.
14. Семиноженко В. П. Энергия. Экология. Будущее / В.П. Семиноженко, П. М. Канило, В. Н. Остапчук , А. И. Ровенский. – Харьков : «Прапор», 2003. – 462 с.
15. Шевченківський район м. Харкова [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.city.kharkov.ua/ru/gorodskaya-vlast/ispolnitelnyie-organyi/rajonnyie-administraczii/shevchenkvskij-rajon/dzerzhinskij-rajon.html
16. Шевченківський район (Харків) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Шевченківський-_район_(Харків)

17. Архів погоди м. Харкова за 2018 рік [Елетронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://pogoda.meta.ua/Kharkivska/Kharkivskyi/-Kharkiv/archive/2018/
18. Бабиченко В. Н. Клімат Харкова / В. Н. Бабиченко. – Харків: Наука, 1993. – 143 с.
19. Радиационный мониторинг [Елетронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.soft-exp.com/article/radiation-monitoring/

# ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Комп’ютерна програма «Maple-12» для побудови карти радіаційного фону

(за даними від 03.09.2018 р.)

(Фрагмент)

1. Спершу треба ввести вихідні дані: координати контрольних точок зі значеннями потужності дози в кожній з них. Відсортувати точки за зростанням дози та визначити відстані між ними:

$$restart;\ with(stats);\ x1 := 391.0;\ x2 := 348.0;\ x3 := 322.0;\ x4 := 261.0;\ x5 := 165.0;\ x6 := 17.0;\ x7 := -174.0;\ x8 := -130.0;\ x9 := -43.0;\ x10 := -400.0;\ x11 := -426.0;\ x12 := -383.0;\ x13 := -304.0;\ x14 := -191.0;\ x15 := 26.0;\ x16 := 113.0;\ x17 := 243.0;\ x18 := 304.0;\ x19 := 87.0;\ y1 := 157.0;\ y2 := -61.0;\ y3 := -209.0;\ y4 := -348.0;\ y5 := -383.0;\ y6 := -435.0;\ y7 := -504.0;\ y8 := -383.0;\ y9 := -139.0;\ y10 := 35.0;\ y11 := 226.0;\ y12 := 322.0;\ y13 := 409.0;\ y14 := 470.0;\ y15 := 435.0;\ y16 := 365.0;\ y17 := 278.0;\ y18 := 243.0;\ y19 := 87.0;\ l1 := 6995;\ l2 := 4716.0;\ l3 := 3868;\ l4 := 3531;\ l5 := 3633;\ l6 := 5215;\ l7 := 1613;\ l8 := 1741;\ l9 := 0;\ l10 := 5844;\ l11 := 6036;\ l12 := 573;\ l13 := 690;\ l14 := 2596;\ l15 := 6534;\ l16 := 6646;\ l17 := 4361;\ l18 := 6873;\ l19 := 7307;\ z1 := 0.2;\ z2 := 0.18;\ z3 := 0.17;\ z4 := 0.16;\ z5 := 0.16;\ z6 := 0.18;\ z7 := 0.15;\ z8 := 0.15;\ z9 := 0.12;\ z10 := 0.18;\ z11 := 0.18;\ z12 := 0.12;\ z13 := 0.12;\ z14 := 0.15;\ z15 := 0.18;\ z16 := 0.18;\ z17 := 0.17;\ z18 := 0.19;\ z19 := 0.20;$$

2. На основі цих даних треба знайти рівняння регресії 4-го порядку за відстанню *l* вздовж ламаної:

$$R := rhs\left(fit\left[leastsquare\left[[l, z], z = a \cdot l^4 + b \cdot l^3 + c \cdot l^2 + d \cdot l + e\right]\right]([[l14, l6, l13, l17, l5, l7, l11, l12, l18, l2, l3, l4, l1, l9, l16, l15, l10, l19, l8], [z14, z6, z13, z17, z5, z7, z11, z12, z18, z2, z3, z4, z1, z9, z16, z15, z10, z19, z8]])\right);$$

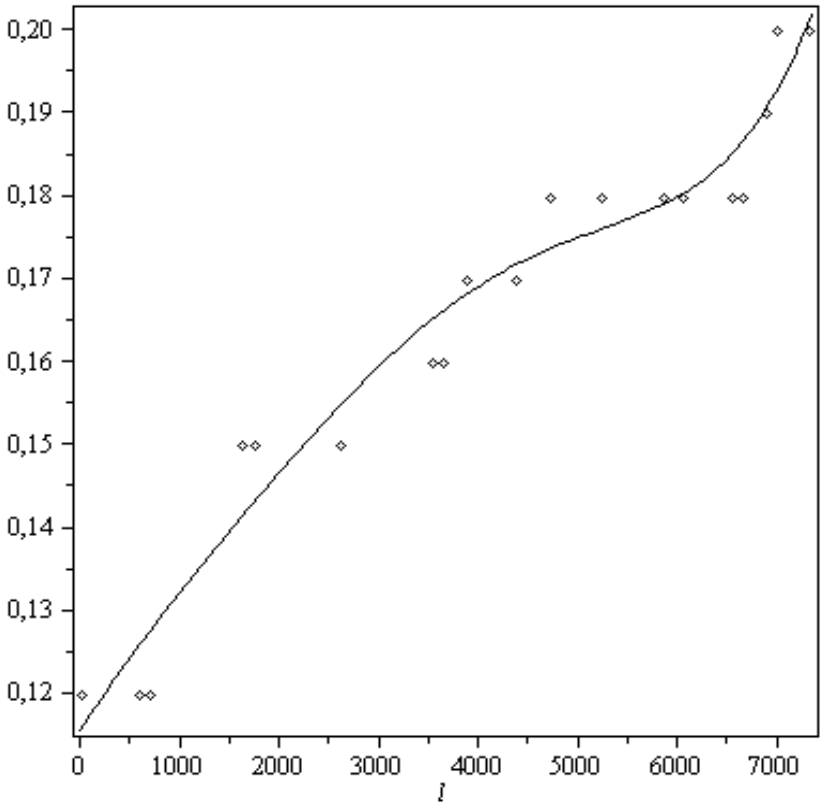
3. Рівняння регресії має такий вигляд:

$$R := 2.23429156610^{-20}\, l^5 - 3.02260053210^{-16}\, l^4 + 1.32789817610^{-12}\, l^3 - 3.25646036510^{-9}\, l^2 + 0.00001878249392\, l + 0.1155166167$$

4. Треба порівняти передбачення даного рівняння з результатами вимірювань:

$plot([R, [[l1, z1], [l2, z2], [l3, z3], [l4, z4], [l5, z5], [l6, z6], [l7, z7], [l8, z8], [l9, z9], [l10, z10], [l11, z11], [l12, z12], [l13, z13], [l14, z14], [l15, z15], [l16, z16], [l17, z17], [l18, z18], [l19, z19]]], l = 0..7350, axes = boxed, style = [line, point], color = black);$

5. Результати візуалізації порівняння:




6. Тепер потрібно написати програму пошуку найближчої до довільної точки з координатами x та y контрольної точки (при цьому треба широко застосовувати тета-функцію Хевісайда):

$$\Delta lx1 := \mathrm{sqrt}((x-x1)^2 + (y-y1)^2); \Delta lx2 := \mathrm{sqrt}((x-x2)^2 + (y-y2)^2); \Delta lx3 := \mathrm{sqrt}((x-x3)^2 + (y-y3)^2); \Delta lx4 := \mathrm{sqrt}((x-x4)^2 + (y-y4)^2); \Delta lx5 := \mathrm{sqrt}((x-x5)^2 + (y-y5)^2); \Delta lx6 := \mathrm{sqrt}((x-x6)^2 + (y-y6)^2); \Delta lx7 := \mathrm{sqrt}((x-x7)^2 + (y-y7)^2); \Delta lx8 := \mathrm{sqrt}((x-x8)^2 + (y-y8)^2); \Delta lx9 := \mathrm{sqrt}((x-x9)^2 + (y-y9)^2); \Delta lx10 := \mathrm{sqrt}((x-x10)^2 + (y-y10)^2); \Delta lx11 := \mathrm{sqrt}((x-x11)^2 + (y-y11)^2); \Delta lx12 := \mathrm{sqrt}((x-x12)^2 + (y-y12)^2); \Delta lx13 := \mathrm{sqrt}((x-x13)^2 + (y-y13)^2); \Delta lx14 := \mathrm{sqrt}((x-x14)^2 + (y-y14)^2); \Delta lx15 := \mathrm{sqrt}((x-x15)^2 + (y-y15)^2); \Delta lx16 := \mathrm{sqrt}((x-x16)^2 + (y-y16)^2); \Delta lx17 := \mathrm{sqrt}((x-x17)^2 + (y-y17)^2); \Delta lx18 := \mathrm{sqrt}((x-x18)^2 + (y-y18)^2); \Delta lx19 := \mathrm{sqrt}((x-x19)^2 + (y-y19)^2);$$

7.
$$
\begin{aligned}
l := {} & (\Delta lx18 + l18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 \\
& - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx1) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx1) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx1) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx1) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx1) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx1) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx1) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx1) + (\Delta lx17 \\
& + l17)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx2)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx2) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx2)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx2) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx2)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx2) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx2)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx2) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx2)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx2) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx2)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx2) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx2) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx2)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx2) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx2)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx2) + (\Delta lx5 \\
& + l5)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx3)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx3) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx3)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx3) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx3)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx3) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx3)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx3) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx3)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx3) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx3)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx3) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx3)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx3) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx3)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx3) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx3)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx3) + (\Delta lx14 \\
& + l14)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx4)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx4) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx4)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx4) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx4)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx4) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx4)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx4) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx4)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx4) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx4)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx4) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx4)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx4) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx4)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx4) \\
& \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx4)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx4)
\end{aligned}
$$

$$+ (\Delta lx4 + l4) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx5) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx5)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx5) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx5)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx5) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx5)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx5) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx5)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx5) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx5)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx5) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx5)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx5) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx5)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx5) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx5)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx5) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx5) + (\Delta lx2$$
$$+ l2) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx6) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx6)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx6) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx6)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx6) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx6)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx6) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx6)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx6) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx6)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx6) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx6)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx6) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx6)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx6) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx6)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx6) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx6) + (\Delta lx13$$
$$+ l13) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx7) + (\Delta lx7$$
$$+ l7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx8)$$

$$+ (\Delta lx9 + l9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx9)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx9)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx9)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx9)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx9)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx9)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx9)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx9)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx9) + (\Delta lx6$$
$$+ l6)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx10)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx10)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx10)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx10)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx10)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx10)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx10)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx10)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx10)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx10)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx10)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx10)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx10)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx10)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx10)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx10)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx10)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx10)$$
$$+ (\Delta lx10 + l10)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx11)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx2$$
$$- \Delta lx11)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx11)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx11)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx11)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx11)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx11)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx11)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx11)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx11)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx11)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx11)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx11)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx11)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx11)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx11)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx11)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx11) + (\Delta lx9$$
$$+ l9)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx12)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx12)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx12)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx12)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx12)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx12)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx12)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx12)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx12)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx12)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx12)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx12)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx12)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx12)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx12)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx12)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx12)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx12)$$
$$+ (\Delta lx12 + l12)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx13)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx3$$
$$- \Delta lx13)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx13)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx13)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx13)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx13)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx13)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx13)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx13)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx13)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx13)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx13)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx13)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx13)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx13)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx13)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx13)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx13)$$

$$+ (\Delta lx8 + l8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx14) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx14)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx14) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx14)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx14) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx14)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx14) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx14)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx14) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx14)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx14) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx14)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx14) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx14)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx14) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx14)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx14) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx14)$$
$$+ (\Delta lx11 + l11) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3$$
$$- \Delta lx15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx15)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx15)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx15)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx15)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx15)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx15)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx15)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx15)$$
$$+ (\Delta lx15 + l15) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3$$
$$- \Delta lx16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx16)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx16)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx16)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx16)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx16)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx16)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx16)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx16) + (\Delta lx3$$
$$+ l3) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx17) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx17)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx17) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx17)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx17) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx17)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx17) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx17)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx17) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx17)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx17) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx17)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx17) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx17)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx17) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx17)$$

$$+ (\Delta lx16 + l16)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx18)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx18)$$

$$+ (\Delta lx1 + l1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx19)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx19);$$

8. Застосувавши команду «Plots», треба побудувати карту радіаційного поля відповідно визначеному алгоритму. Вона має бути у вигляді контурів однакової потужності дози (ізохор) в заданих межах зміни потужності дози і координат контрольної зони (значення координат визначено в метрах, мінімальна межа зміни потужності дози становить 0,12 мкЗв/год, максимальна - 0,20 мкЗв/год, через 0,01 мкЗв/год від білого кольору (white) до чорного (black)):

$$with(plots) : contourplot3d(\{R\}, x = -500..500, y = -550..500, grid = [25, 25], contours = [0.12, 0.13, 0.14, 0.15, 0.16, 0.17, 0.18, 0.19, 0.20], filled = true, axes = boxed, orientation = [-90, 0], coloring = [white, black]);$$

В результаті отримуємо карту радіаційного фону яка має такий вигляд:

