МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙІНСТИТУТ
КОМП'ЮТЕРНОЇФІЗИКИТА ЕНЕРГЕТИКИ
Фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

«Оцінка радіаційного стану території на прикладі Заводського району міста Запоріжжя в режимі реального часу»

Виконав студент 6 курсу,
групи НФ-61 Бражник О.Р.
Спеціальність: 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
Освітня програма: «Прикладна фізика енергетичних систем»
Керівник: д-р фіз.-мат. наук,
професор Пеліхатий М. М.

Харків 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

ННІ Комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра Фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр

Спеціальність 105 — прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____О.П. Кулик

підпис ініціали, прізвище

"____"_____20___року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)
Бражнику Олександру Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи «Оцінка радіаційного стану території на прикладі Заводського району міста Запоріжжя в режимі реального часу»

керівник роботи____д-р фіз.-мат. наук, професор Пеліхатий М. М._____.
(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)

4. План роботи

Вимірювання гамма випромінювання у Заводському районі міста Запоріжжя , створення графіків вимірювань радіаційного фону, розрахунок результатів

№ з/п	Назви етапів роботи
1.	Вибір теми, узгодження, закріплення за кафедрою
2.	Робота над літературою та іншими джерелами
3.	Експерементальна частина
4.	Аналіз отриманих даних
5.	Написання дипломної роботи
6.	Захист

5. Дата видачі завдання_____

Студент _____ Бражник О.Р.

підпис ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ Пеліхатий М.М.

підпис ініціали, прізвище

Вступ

Радіоактивність та іонізуюче випромінювання, що це таке? Як люди про нього дізналися? Як воно впливає на організми та навколишнє середовище? Використання від мирного атому до ядерної зброї та проблеми які з цього походять. Радіаційний моніторинг.

Іонізуюче випромінювання – це таке випромінювання, яке може викликати іонізацію середовища, іншими словами це випромінювання енергія якого достатня для іонізації середовища. У той час **іонізація** – це процес утворення негативних та позитивних іонів та вільних електронів з електрично нейтральних атомів.

Іонізуюче випромінювання поділяють на декілька типів:

- Фотонне(електромагнітне) – це потік електромагнітних хвиль, що поширюються у вакуумі зі сталою швидкістю 300 000 км/с. До цього типу належать такі види випромінювання як: рентгенівське, ультрафіолетове та гамма випромінювання. Таке випромінювання здатне проникати через товщу різних матеріалів.
- Корпускулярне – це потік елементарних частинок із масою спокою відмінних від нуля, що утворилися при радіоактивному розпаді, ядерних перетвореннях чи генеруються у прискорювачах. До цього типу належать: альфа та бета випромінювання, а також нейтрони, протони та інше.

Отже, серед різних видів іонізуючого випромінювання надважливим, при вивченні питань безпеки та здоров’я людини, є таке випромінювання, що виникає в результаті розпаду ядер радіоактивних елементів або іншими словами – радіоактивне випромінювання. Таке випромінювання є одним з видів іонізуючого випромінювання. **Радіоактивність –** довільний розпад ядер хімічних елементів зі зміною їх атомного номера, масового числа та виділенням енергії. Радіоактивним розпадом називають процес у якому відбувається довільний розпад нестабільного нукліду(радіонукліду). Саме цей радіонуклід і має властивість випромінювати радіацію.

Ми розрізняємо три види радіоактивного випромінювання, ми сьогодні їх вже згадували:

- α-випромінювання – потік ядер гелію[He];
- β-випромінювання – потік електронів або позитронів;
- γ-випромінювання – електромагнітне випромінювання, потік фотонів з великою енергією та високою частотою.

Також ми виділяємо природні та штучні джерела іонізуючого випромінювання.

Основну частину опромінення люди одержують з природних джерел випромінювання. Такий радіаційний фон формується під впливом космічного випромінювання, також джерелом такого випромінювання може бути: вода, рослини, ґрунт, різні копалини, земна кора і т.п.. Такий вид опромінення отримують усі люди на Землі, але одні можуть отримувати більше, інші - менше. Це залежить від місцевості на якій живе особа. Тобто, рівень природного радіаційного фону дуже залежить від місць залягань радіоактивних порід, і через це на деяких територіях може бути підвищений фон, а в інших – відповідно нижчий.

Науковий комітет по дії атомної радіації ООН(Організації Об'єднаних Націй) підрахував, що середня ефективна еквівалента доза опромінення, яку людина може отримати від природних джерел радіації, становить 350 мкЗв.

Штучні джерела випромінювання є результатом діяльності людини. До таких джерел можна віднести: ядерні реактори; різні підприємства, що спеціалізуються на ядерні технології; катастрофи та техногенні аварії; ядерна зброя та її випробування; прискорювачі, прилади апаратури засобів зв'язку високої напруги. І внаслідок існування таких джерел, звичайно, поступово підвищується радіаційний фон Землі. Якщо взяти окремо населення України, то за останні роки опромінення за рахунок штучних джерел радіації, в основному пов'язують з наслідками аварій, різних масштабів, на АЕС. Серед штучних джерел опромінення на сьогодні люди найбільш опромінюються під час лікування та медичних процедур, пов'язаних із застосуванням опромінення.

Як люди дізналися про радіоактивність?

Вперше такий термін як «радіоактивність» використала Марія Складовська-Кюрі у 1898 році. Як раз саме у цей час вона зі своїм чоловіком П'єром Кюрі досліджувала властивості двох важких елементів. Котрі їм вдалося виділити з уранового мінералу, і називалися ці елементи – полоній[Po] та радій[Ra]. І саме для них вона застосувала термін «радіоактивність», щоб описати їх властивість інтенсивного випромінювання під час їхнього радіоактивного розпаду.

У 1895 році німецьким вченим Вільгельмом Рентгеном 28 грудня у Страсбурзькому університеті було відкрито невідомі промені. Тоді їх назвали Х-промені, а вже сьогодні вони відомі нам, як рентгенівське випромінювання.

Це випромінювання було обумовлена тим, що сполуки урану випускають промені, які мають властивість іонізувати повітря. Такі промені дали йому змогу зробити зображення внутрішніх структур об’єктів. Подейкують, що своє відкриття Рентген зробив за допомогою винаходу українського вченого Івана Пулюя(1845 - 1918 роки) який мав назву «лампа Пулюя». За допомогою цієї лампи можна було побачити ці промені. Але сам Рентген на Нобелівській премії 1901 року всіляко ухилявся від пояснення природи свого відкриття.

Всі вище перераховані події не вважаються відкриттям радіоактивності. Традиційною датою відкриття вважають 1березня 1896 року, саме у цей день вчений Генрі Беккерель встановив, що фотопластинки які ізольовані від світла і знаходяться у контакті з солями урану, засвічуються. Зробив він це відкриття за допомогою гіпотези Анрі Пуанкаре, який припустив, що випускання рентгенівських променів пов’язано з флуоресценцією.

До речі, першими хто відкрили біологічну дію радіоактивності були Беккерель та П’єр Кюрі. Беккерель взяв у подружжя Кюрі пробірку з радіоактивною речовиною – радієм[Ra], і поклав собі у нагрудну кишеню. Через деякий час у нього на шкірі з’явилося почервоніння у формі пробірки. Коли про це дізнався П’єр, то він вирішив повторити експеримент на собі, прив’язавши пробірку до передпліччя, і через десять годин зняв її. Через декілька днів на місці почервоніння утворилася виразка.

Також не можна забувати важливі відкриття які зробив Ернест Резерфорд. Він працюючи разом з англійським фізиком Джозефом Томсоном відкрили електрон. Також Резерфорд досліджував альфа і бета промені, і під час цього відкрив ізотопи радію та торію. Ще цей фізик відкрив існування атомних ядер та йому вдалося визначити їх розмір. Це відкриття він зробив з фізиком Ернестом Марсденом. Згодом на основі цієї роботи та теоретичних робіт Бора було створено модель атома яку назвали модель Бора-Резерфорда. Можна сказати про ще два важливих відкриття Резерфорда таких як: відкрив фундаментальне поняття штучної радіоактивності під час вивчення зіткнень альфа частинок з атомами водню та продемонстрував можливість перетворення ядер азоту в кисень під впливом альфа-частинок, тим самим підтвердивши можливість перетворення одного хімічного елемента в інший.

Згадаємо декілька українських вчених які проводили дослідження рентгенівських променів та радіоактивних елементів на території нашої держави:

1. Професор одеського університету Микола Пильчиков був одним з перших дослідників рентгенівських променів. Він використовуючи трубку Івана Пулюя відкрив багато властивостей цих променів. Також він знайшов спосіб найкоротшої експозиції у світі на той час, яка сягала дві секунди. Ще його вважають основоположником рентгенології та рентгенографії в Україні, за його керівництвом у 1896 році було почато використання рентгенодіагностики в одеських лікарнях.
2. Засновник Національної Академії Наук України Володимир Вернадський, який в 1909 році відкрив ідею ланцюгової реакції та ядерного синтезу.
3. Талановитий геохімік та радіолог Євген Бурксер. За ініціативою якого у 1910 році була створена перша радіологічна лабораторія в Одесі. У цій лабораторії проводили дослідження радіоактивності мулу, води, гірських порід та природних об'єктів – лиманів, в одеській область.
4. Професор київського політехнічного університету Георгій Де-Метц. Є автором статті «Рентгенівські промені та їх застосування у медицині». Цю статтю він виклав у 1896 році, в ній він описав свої дослідження зі знімками внутрішніх органів жаби. У тому ж році написав статтю про здатність рентгенівських променів проникати крізь тканини живих організмів та різні об'єктів. Також проводив дослідження вмісту радію[Ra] у воді та флорі.

Як радіація впливає на людей та навколишнє середовище?

Людина може зазнати впливу радіації двома шляхами – зовнішнім та внутрішнім.

Зовнішній. Усі істоти та організми на Землі є радіочутливими, але ця чутливість може бути різна. Деякі віруси та бактерії здатні витримати величезні дози опромінення від 100 Гр до 10 000 Гр.

Людина є менш стійкою до такого впливу іонізуючого опромінення, смертельною дозою радіації може бути ± 6 Гр. Допустима доза опромінення для людини за рік дорівнює до 5 Р(рад). (1 Р = 0.01 Зв) Доведено, що починаючи з дози в 1 Гр, іонізуюче випромінювання негативно впливає на людський організм.

Дію такого випромінювання на організм можна поділити на такі пункти:

- Триває тисячні та мільйонні частки секунд. Вплив буде стосуватися молекул, клітин, можуть порушитися біохімічні та обмінні процеси в тканинах та органах.
- Від декількох секунд до декількох годин. Влив на ядра клітин, порушення ДНК, зумовлює генетичні та онкогенні зміни.
- Вплив випромінювання загалом. Наслідки можуть проявлятися як через хвилини, так і через роки. Дуже чутливими до опромінення є: статева система, залози кишок, лімфоцити, кровотворна система, кришталик ока, епітелій шкіри. До менш чутливих можна віднести: нервові клітини, внутрішні органи, м'язи, хрящі.

Ушкодження від радіації залежить від отриманої дози та потужності.

Якщо людина отримує зовнішнє опромінення, то це, скоріше за все, обумовлено наявністю йоду-131 у довкіллі. Цей радіоактивний ізотоп може утримуватися у ядерних відходах, викидах АЕС, під час ядерних вибухів та при розпаді ядерних паливних елементів, під час деяких медичних процедур. Засобом проти акумуляції йоду-131 в тканинах, органах та щитоподібній залозі є вживання нерадіоактивних аналогів, прикладом є йодид калію.

Також якщо людина вживає достатньо калію[Ca], то це може допомогти зменшити акумулювання радію[Ra], стронцію[Sr] та цезію-137 в організмі та пришвидшить їх виведення.

Внутрішній. При однаковій інтенсивності внутрішнє опромінення є більш небезпечним чим зовнішнє, бо чим довше триває опромінення, тим менше є відстань між джерелом та тканинами. Це відбувається так, бо органи не мають захисного покриття і вони є беззахисними перед частинками з високою густиною іонізації. Тобто, можна зробити висновок, що внутрішнє опромінення – це накопичення радіонуклідів в певних органах та тканинах.

Більшу частку внутрішнього опромінення ми отримуємо через продукти харчування та воду, меншу – з повітря. Цезій та стронцій є найнебезпечнішими радіонуклідами, які мають великий період напіврозпаду та які дуже активно впливають на біологічні цикли.

Такий вид опромінення залежить від того скільки радіонуклідів потрапили в організм, ступеню їх розчинності та всмоктування, швидкості розпаду та виведення з організму і також характеру розподілу в тканинах та органах. Розподіл та всмоктування залежать від фізико-хімічної природи даного радіонукліду.

Приклади деяких радіонуклідів та місця їх накопичення:

1. Йод-131 у щитоподібній залозі.
2. Стронцій[Sr] та цирконій[Zr] у кістках.
3. Кобальт-60 у легенях та шлунково-кишковому тракті.
4. Цезій-137 селезінка, печінка та м'язові тканини.
5. Лантан[La] та церій[Ce] у печінці.

Наслідками опромінення людини є те, що при такому впливі ядро клітини може зберігати спадкову інформацію ураженої клітини, організму чи навіть біологічного виду, і передавати цю інформацію крізь покоління, тобто визивати мутації та захворювання.

Вплив радіоактивного випромінювання на навколишнє середовище схоже за наслідками як і на людину, тобто призводить до внутрішніх та зовнішніх змін. Вона впливає як на екосистему та біоту, так і на воду, ґрунт, повітря. Призводить до змін у них. Також ефект такого впливу залежить від типу речовини, її концентрації та тривалості.

Декілька слів можна сказати про випробовування ядерних бомб та екологічні проблеми ядерної енергетики.

Після закінчення Другої світової війни стало зрозуміло, що у кого буде більший ядерний кулак, то той буде керувати світом. Тому більшість розвинутих країн світу почали випробовувати ядерні. Також у цей період починається будівництво атомних станцій по всьому світу.

Перше випробування ядерної зброї відбулося 16 липня 1945 року у США у штаті Нью-Мексико в місті Аламоґордо. Після того тодішніми наддержавами було здійснено близько 1900 ядерних вибухів. Ці вибухи виконувалися в гідросфері, в атмосфері і навіть літосфері. Все це призвело до глобальних спалахів радіаційного фону і локального забруднення територій. Також на підвищення фону впливали різні техногенні катастрофи та аварії: вибухи та аварії на ядерних реакторах, викиди різних речовин з підприємств, аварії військових субмарин та кораблів.

У 1954 році запустилася перша АЕС на росії в місті Обнінськ. Після цього стався великий попит на ядерну енергетику. У зв'язку з цим в період з 60-х по 80-ті роки проблеми радіоекології були пов'язані з екологічними аспектами ядерної енергетики та її безпечного використання. Саме у цей період починається застосування радіаційних біотехнологій. Тоді розглядали питання

пов’язані: з використанням відкритих реакторів у наукових дослідженнях, з радіаційними викидами та відходами АЕС, визначення розмірів шкідливого впливу радіації на людина та шляхи усунення цього впливу. Також проводили дослідження впливу експлуатації станції на довколишнє середовище. Також в цей час відкривалися лабораторії, що займалися вивченням проблем радіоекології у прісноводних та наземних екосистемах при атомних станціях.

Радіаційний моніторинг

Радіаційний моніторинг – це систематичний процес аналізу та вимірювання рівнів радіаційного випромінювання у навколишньому середовищі, мета якого полягає у визначенні рівнів опромінення та виявлення можливих джерел забруднення. Цей процес має на меті забезпечення безпеки як для людей насамперед, так і для захисту навколишнього середовища та виявлення ризиків пов’язаних з радіаційним впливом. Існують декілька ключових видів радіаційного моніторингу:

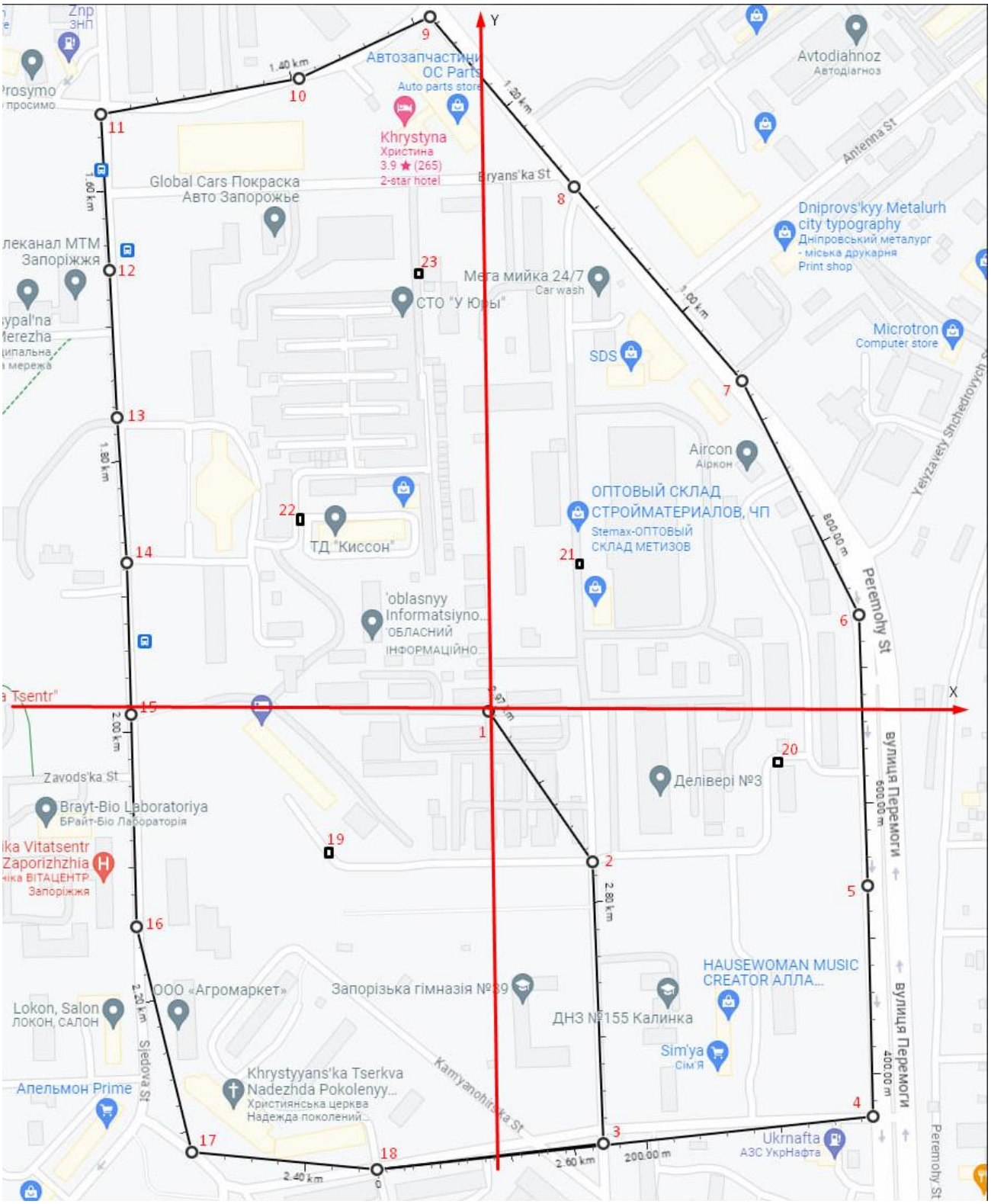
- Моніторинг природного фону – спостереження за фоном як у повітрі, так і в інших біосистемах;
- Моніторинг продуктів харчування – забезпечує безпеку від внутрішнього впливу радіації;
- Моніторинг придорожнього транспорту – контроль безпеки вантажів
- Моніторинг різних техногенних джерел радіації – включають в себе спостереження за промисловими об’єктами та атомними електростанціями

Висновком є те, що даний вид контролю є дуже важливим для життєдіяльності людини та навколишнього середовища. Тому він буде актуальним до тих пір, допоки ми будемо використовувати ядерні технології.

Мета дослідження: метою даного дослідження є моніторинг радіаційного фону жилої території міста Запоріжжя, яка знаходиться безпосередньо близько до промислової зони, і визначити стан радіаційного забруднення цієї території.

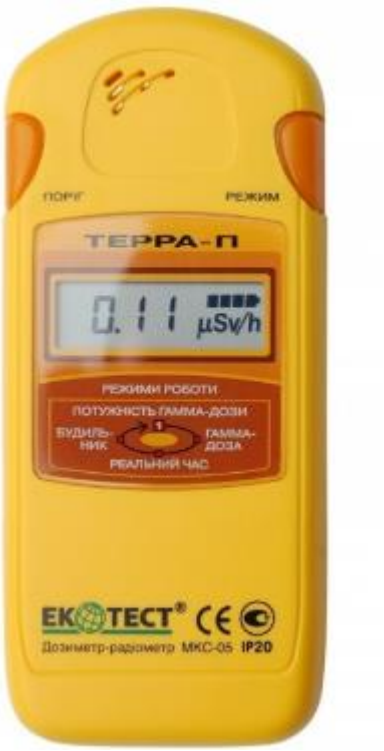
Матеріал і методи дослідження: процес моніторингу радіаційного фону відбувався у межах одного з мікрорайонів міста Запоріжжя на території Заводського району, дана місцевість проілюстрована на малюнку 1. Даний процес моніторингу відбувався з 25 вересня по 25 жовтня 2023 року в 23-х

контрольних точках, які зображені на мапі. Порядок вимірювання такий: перша точка мала координати (0;0), координати інших точок рахувались відносно першої.



Мал. 1 Мапа контрольних точок

Заміри фону проводилися за допомогою дозиметра МКС-05 TERRA-P призначений для вимірювання іонізуючих випромінювань включаючи потужність дози гамма-випромінювання та накопичену дозу гамма-випромінювання. Може використовуватися майже у всіх спектрах радіаційного моніторингу. Зовнішній вид зображено на малюнку 2.



Мал. 2 Дозиметра МКС-05 TERRA-P

Всі дані які було отримано протягом місяця вимірювань радіаційного фону на території Заводського району міста Запоріжжя у діапазонах гамма випромінювання і рентгенівського випромінювання , заносилися в таблицю 1 у мкЗв.

№ точки	Координати, м		Дати проведення вимірювань (вересень-жовтень)												
	x	y	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
1	0	0	0.12	0.14	0.18	0.12	0.14	0.16	0.13	0.12	0.14	0.13	0.15	0.16	0.12
2	100	-110	0.12	0.14	0.16	0.13	0.11	0.12	0.14	0.12	0.14	0.15	0.13	0.14	0.13
3	100	-320	0.14	0.11	0.15	0.16	0.12	0.14	0.12	0.11	0.13	0.13	0.15	0.17	0.12
4	300	-310	0.13	0.12	0.17	0.15	0.12	0.13	0.11	0.12	0.13	0.16	0.17	0.12	0.11

5	300	-140	0.12	0.10	0.11	0.14	0.12	0.11	0.16	0.13	0.11	0.14	0.15	0.11	0.14
6	300	60	0.17	0.12	0.13	0.14	0.13	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.18
7	220	240	0.11	0.12	0.15	0.13	0.10	0.10	0.12	0.13	0.16	0.11	0.18	0.17	0.15
8	100	320	0.12	0.13	0.12	0.11	0.11	0.12	0.10	0.09	0.11	0.13	0.14	0.13	0.16
9	0	420	0.14	0.12	0.12	0.16	0.14	0.18	0.18	0.15	0.12	0.15	0.19	0.13	0.12
10	-120	415	0.16	0.14	0.11	0.13	0.12	0.11	0.13	0.12	0.14	0.14	0.16	0.14	0.17
11	-260	410	0.13	0.16	0.14	0.11	0.12	0.15	0.15	0.11	0.12	0.15	0.13	0.12	0.12
12	-260	310	0.10	0.12	0.17	0.11	0.14	0.11	0.11	0.12	0.16	0.14	0.17	0.19	0.15
13	-260	210	0.12	0.15	0.11	0.17	0.16	0.18	0.13	0.11	0.12	0.15	0.13	0.15	0.16
14	-260	100	0.15	0.11	0.12	0.17	0.14	0.12	0.13	0.12	0.13	0.17	0.15	0.16	0.15
15	-260	0	0.11	0.16	0.13	0.11	0.12	0.14	0.12	0.13	0.11	0.14	0.16	0.17	0.14
16	-260	-150	0.12	0.13	0.11	0.16	0.15	0.10	0.17	0.15	0.11	0.12	0.13	0.14	0.11
17	-210	-310	0.11	0.11	0.12	0.14	0.12	0.11	0.16	0.14	0.12	0.15	0.15	0.12	0.16
18	-180	-320	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.18	0.19	0.19	0.16	0.13	0.15	0.13
19	-200	-120	0.12	0.12	0.17	0.10	0.11	0.12	0.18	0.18	0.16	0.14	0.12	0.16	0.14
20	230	-60	0.14	0.13	0.15	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.13	0.15	0.17	0.18
21	100	90	0.12	0.15	0.16	0.12	0.11	0.12	0.12	0.13	0.15	0.13	0.14	0.14	0.16
22	-210	230	0.15	0.17	0.12	0.11	0.12	0.13	0.11	0.16	0.13	0.13	0.12	0.11	0.15
23	-40	290	0.13	0.14	0.16	0.16	0.12	0.15	0.11	0.11	0.14	0.15	0.15	0.14	0.13

№ точки	Координати, м		Дати проведення вимірювань (вересень-жовтень)												
	x	y	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
1	0	0	0.12	0.15	0.13	0.12	0.14	0.11	0.13	0.16	0.16	0.15	0.13	0.14	0.17
2	100	-110	0.15	0.11	0.12	0.13	0.11	0.12	0.16	0.12	0.14	0.16	0.15	0.16	0.12
3	100	-320	0.18	0.18	0.16	0.17	0.12	0.14	0.12	0.14	0.11	0.14	0.16	0.14	0.15
4	300	-310	0.19	0.16	0.13	0.15	0.12	0.13	0.11	0.12	0.13	0.13	0.16	0.15	0.11
5	300	-140	0.17	0.14	0.15	0.13	0.12	0.11	0.11	0.12	0.16	0.16	0.14	0.14	0.18
6	300	60	0.12	0.15	0.16	0.14	0.13	0.16	0.17	0.15	0.12	0.14	0.12	0.17	0.15
7	220	240	0.13	0.12	0.15	0.18	0.14	0.14	0.16	0.15	0.12	0.15	0.17	0.17	0.13
8	100	320	0.19	0.13	0.18	0.19	0.16	0.12	0.14	0.15	0.11	0.12	0.14	0.15	0.14
9	0	420	0.16	0.12	0.14	0.17	0.17	0.16	0.16	0.11	0.14	0.18	0.17	0.16	0.15
10	-120	415	0.15	0.16	0.13	0.15	0.12	0.11	0.13	0.12	0.14	0.14	0.12	0.18	0.16
11	-260	410	0.13	0.12	0.12	0.15	0.12	0.13	0.12	0.11	0.12	0.16	0.14	0.16	0.17
12	-260	310	0.17	0.12	0.15	0.15	0.14	0.17	0.16	0.11	0.13	0.12	0.16	0.15	0.13
13	-260	210	0.12	0.12	0.15	0.12	0.14	0.12	0.12	0.16	0.12	0.14	0.15	0.16	0.16
14	-260	100	0.15	0.11	0.12	0.13	0.12	0.12	0.10	0.12	0.13	0.16	0.13	0.15	0.17
15	-260	0	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.11	0.12	0.13	0.11	0.15	0.15	0.12	0.15
16	-260	-150	0.12	0.11	0.17	0.17	0.12	0.14	0.12	0.12	0.16	0.14	0.13	0.15	0.12
17	-210	-310	0.11	0.13	0.12	0.14	0.12	0.16	0.13	0.11	0.12	0.18	0.16	0.17	0.12
18	-180	-320	0.13	0.16	0.16	0.18	0.13	0.14	0.12	0.14	0.15	0.17	0.15	0.14	0.14
19	-200	-120	0.17	0.18	0.15	0.16	0.11	0.12	0.13	0.13	0.15	0.14	0.13	0.15	0.16
20	230	-60	0.14	0.13	0.11	0.13	0.12	0.17	0.17	0.15	0.10	0.11	0.14	0.14	0.15
21	100	90	0.12	0.12	0.14	0.11	0.15	0.12	0.12	0.13	0.17	0.16	0.15	0.16	0.17

22	-210	230	0.15	0.10	0.12	0.14	0.12	0.11	0.14	0.13	0.11	0.12	0.13	0.13	0.16
23	-40	290	0.13	0.12	0.15	0.17	0.11	0.12	0.11	0.14	0.12	0.16	0.16	0.17	0.14

№ точки	Координати, м		Дати проведення вимірювань (вересень-жовтень)				
	x	y	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**
1	0	0	0.14	0.14	0.18	0.15	0.14
2	100	-110	0.17	0.17	0.16	0.13	0.15
3	100	-320	0.15	0.13	0.15	0.16	0.12
4	300	-310	0.13	0.15	0.17	0.15	0.16
5	300	-140	0.12	0.10	0.13	0.14	0.18
6	300	60	0.17	0.12	0.13	0.14	0.13
7	220	240	0.15	0.12	0.15	0.13	0.17
8	100	320	0.12	0.13	0.12	0.11	0.11
9	0	420	0.14	0.12	0.12	0.16	0.14
10	-120	415	0.16	0.14	0.11	0.13	0.12
11	-260	410	0.13	0.16	0.14	0.11	0.12
12	-260	310	0.14	0.12	0.17	0.12	0.16
13	-260	210	0.12	0.15	0.14	0.17	0.16
14	-260	100	0.15	0.13	0.12	0.17	0.14
15	-260	0	0.13	0.16	0.13	0.11	0.12
16	-260	-150	0.12	0.13	0.11	0.16	0.15
17	-210	-310	0.11	0.11	0.12	0.14	0.12
18	-180	-320	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12
19	-200	-120	0.12	0.12	0.16	0.13	0.11
20	230	-60	0.14	0.13	0.15	0.13	0.12
21	100	90	0.12	0.15	0.16	0.12	0.11
22	-210	230	0.15	0.17	0.12	0.11	0.12
23	-40	290	0.13	0.14	0.16	0.16	0.12

Табл.1 Результати вимірювань

Початкова обробка результатів вимірювань була виконана за допомогою двохфакторного дисперсійного аналізу для визначення мінливості отриманих даних щодо потужності дози шляхом варіювання двох визначальних факторів:

1) розташування точки вимірювання

2) дата вимірювання.

Усі розрахунки були виконані на основі даних у таблиці 1 за допомогою інструменту «Двохфакторний дисперсійний аналіз без повторень» в пакеті аналізу даних PPA MS Excel-2016.

Результати представлені в таблиці 2**.**

Дисперсійний аналіз						
Джерело варіації:	*SS*	*df*	*MS*	*F фактичне*	*P-значення*	*F критичне*
Точки	0,012172	22	0,000553	1,419988	0,096479	1,55829
Дати	0,038224	30	0,001274	3,270194	2E-08	1,476506
Випадкові	0,25715	660	0,00039			
Разом:	0,3075	571				
Фактори:	Відсотки					
Точки	3,96					
Дати	12,43					
Випадкові	83,61					
Разом:	100,00					

Табл.2 Результати застосування двохфакторного дисперсійного аналізу

Дані в цій таблиці показують, що потужність доз рентгенівського та гамма-випромінювання в контрольованій зоні практично не залежить від розташування точки вимірювання (на 3,96 %); також слабо залежала від дати проведення вимірювань (на 12,43 %). Перш за все, на результати вимірювань впливали

випадкові та неконтрольовані фактори. (на 83,61 %). Це добре демонструють карти радіаційного забруднення (рис. 3 – 33).

Тепер щодо побудова карти радіаційного фону на місцевості. Побудова – це одне з найважливіших завдань радіаційного моніторингу. Виникає питання, як за вимірюваннями в певній кількості точок розсіювання, відтворити загальну картину розподілу радіаційного фону на контрольованій території. (рис. 1). Існує підхід, заснований на побудові регресійних моделей радіаційного поля у вигляді поліномів різного порядку, заснованих на значеннях поточних координат будь-якої точки в зоні спостереження. Даний підхід має ряд безсумнівних переваг: застосування методу найменших квадратів дозволяє достовірно оцінити значення коефіцієнтів регресії; регресивні моделі в цілому є якісними, тому що мають високі значення коефіцієнтів детермінації; вони переважно також значущі за критерієм Фішера; статистична помилка регресії всередині зони спостережень знаходиться в межах декількох відсотків; модель дозволяє також визначити мінімальну кількість датчиків (або точок спостереження), яка потрібна для забезпечення необхідної точності вимірювань. Основним недоліком цього класу моделей є те, що значення радфаційного фону далеко від центру контрольної зони значно завищені. Це пов'язано з тим, що регресія будується за координатами в різних ступенях та їх добутками. Отже, чим більше значення координати (відраховується від центру зони) - тим більша похибка моделі.

Також існує модель, в якій регресія будується не за двома координатами точки M (x, y) всередині контрольованої зони, а за однією – відстанню від цієї точки до найближчої до неї i-ої контрольної точки спостережень, яка лежить на деякій ламаній лінії, що послідовно з'єднує усі точки спостережень (від центральної до найдальшої зовнішньої). Перевага цієї моделі полягає в тому, що вона не завищує рівень радіації поблизу кордону та за межами зони спостереження, оскільки запропонований алгоритм зв’язує значення потужності

дози радіації в довільній точці місцевості з виміряним значенням у найближчій точці спостереження.

Однак застосування цього алгоритму для обробки отриманих даних є дуже складним через залежність потужності дози від відстані вздовж ламаної лінії, що послідовно з'єднує всі точки вимірювання, яка не є монотонною, а має характерну нерівномірність. Побудова рівняння регресії на основі цих даних є дуже складним завданням.

В роботах були запропонована модифікація відомого алгоритму, що передбачає попередню обробку даних, яка полягає в сортуванні точок спостережень за зростанням значень потужності дози від мінімального до максимального (за допомогою команди «Сортування» в MS Excel). При цьому одержують монотонну криву не спадної функції потужності дози від значення відстані *l* вздовж деякої ламаної лінії, що послідовно з'єднує усі відсортовані за зростанням потужності дози контрольні точки вимірювань.

Тому в цій роботі ми використали більш надійний метод адаптивного згладжування даних Брауна. Цей метод виконується за методом зважених найменших квадратів (Weighted Least Squares) в рамках програми Statistica-12 (фірми IBM SPSS, US) на основі чисельних значень координат та потужності дози з таблиці 1.

Результати та їх обговорення. Карти радіаційного фону на території зони контролю, побудовані за цими алгоритмами на кожну добу дослідження, представлені на рис. 3 – 33, де також відображаються всі точки вимірювання. Шкала відтінків проградуйована в одиницях мкЗВ/год.

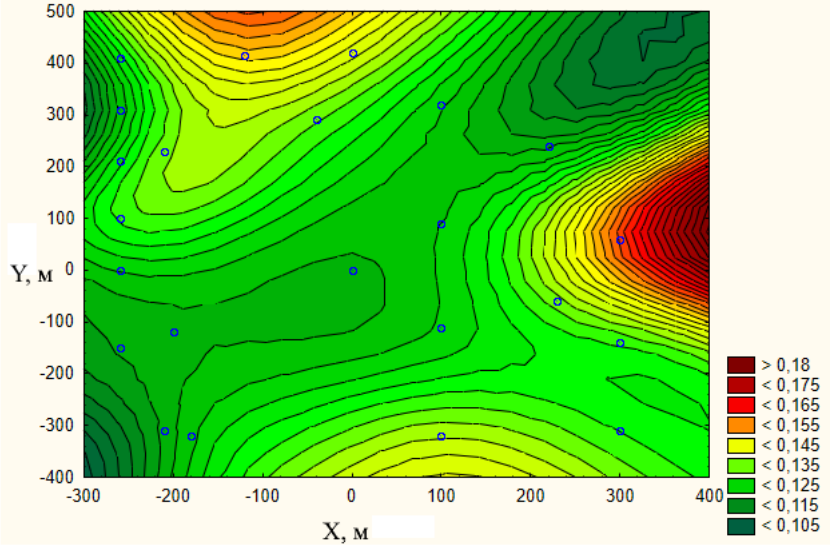


Рис. 3. 25.09.2023

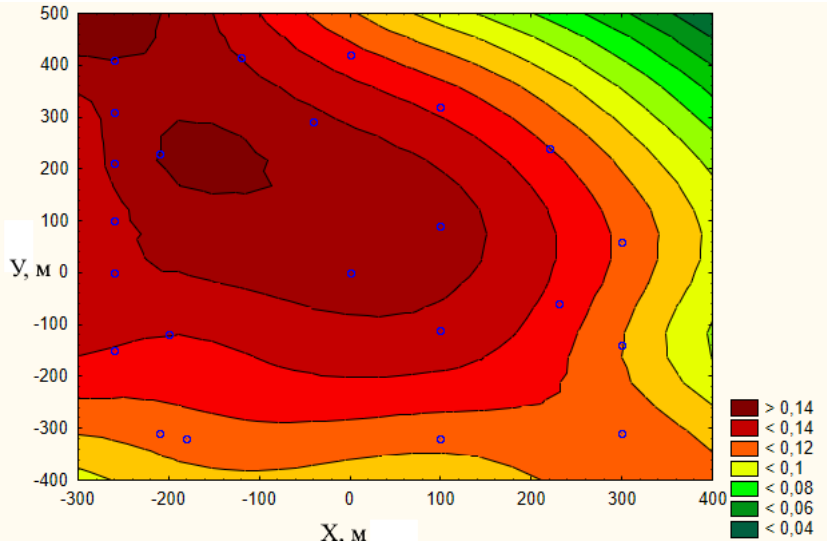


Рис. 4. 26.09.2023

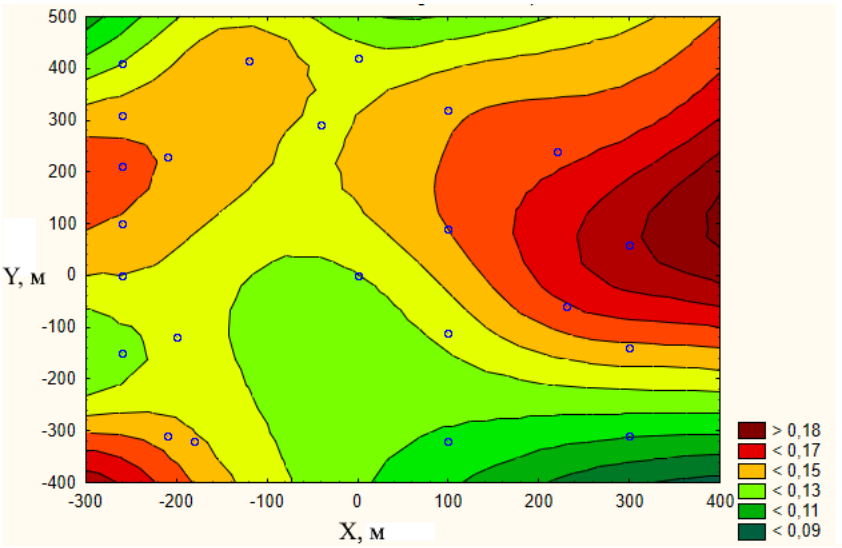


Рис. 5. 27.09.2023

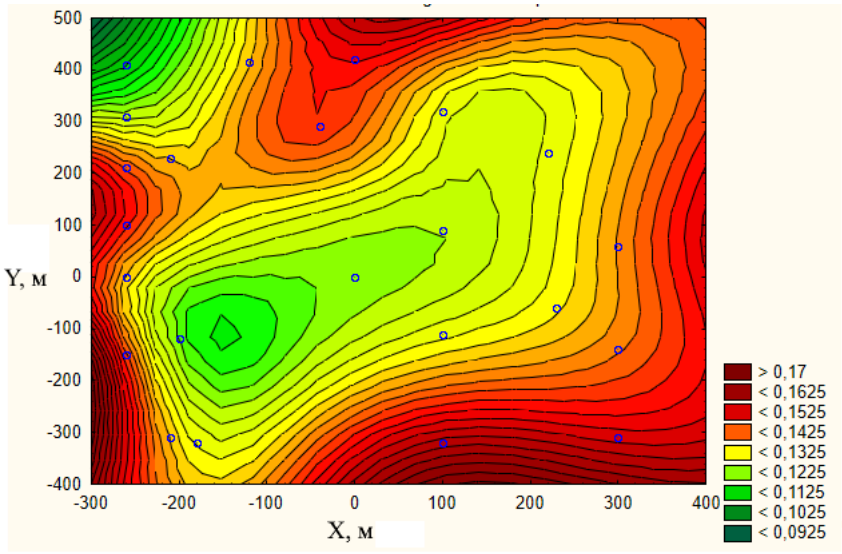


Рис. 6. 28.09.2023

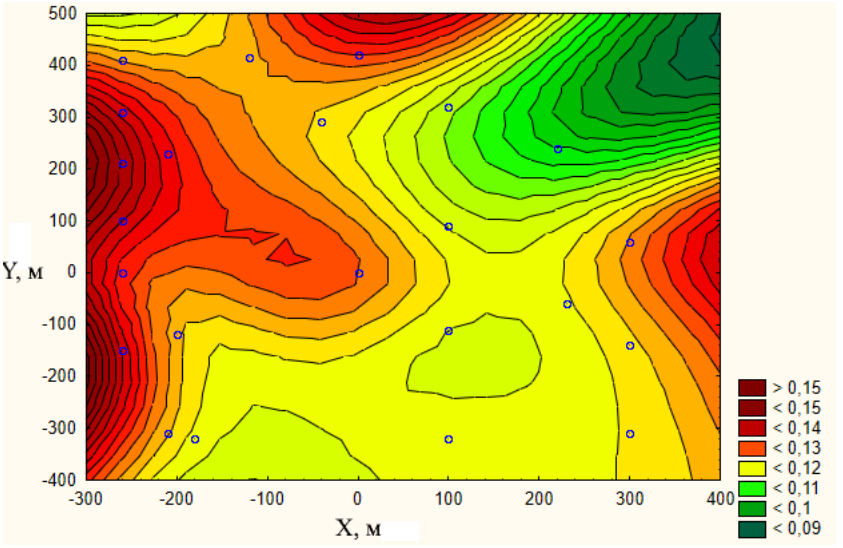


Рис. 7. 29.09.2023

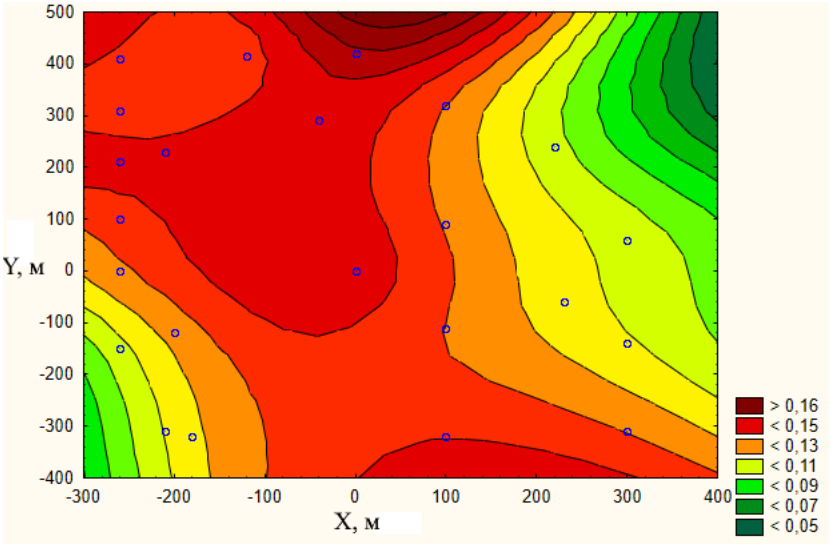


Рис. 8. 30.09.2023

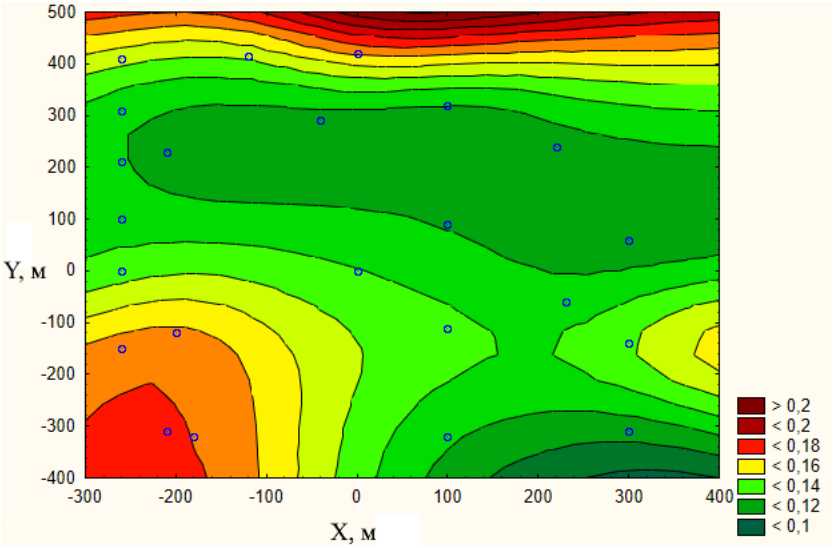


Рис. 9. 01.10.2023

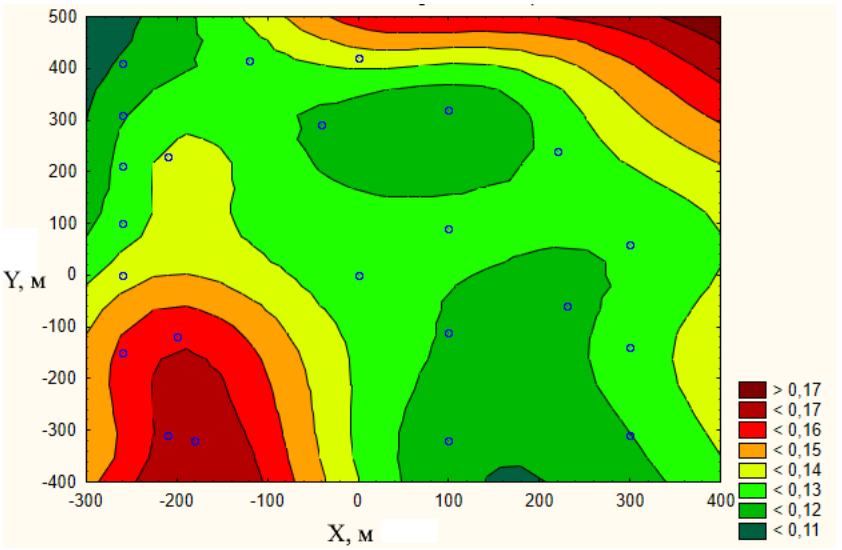


Рис. 10. 02.10.2023

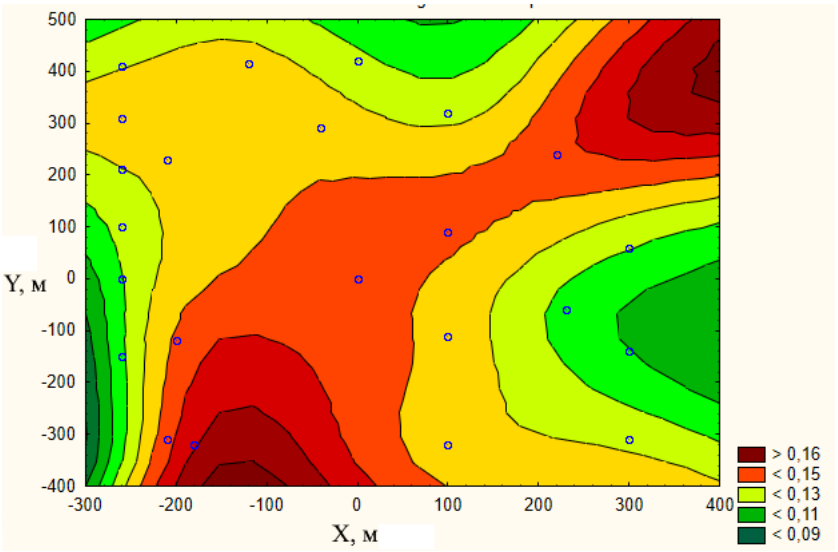


Рис. 11. 03.10.2023

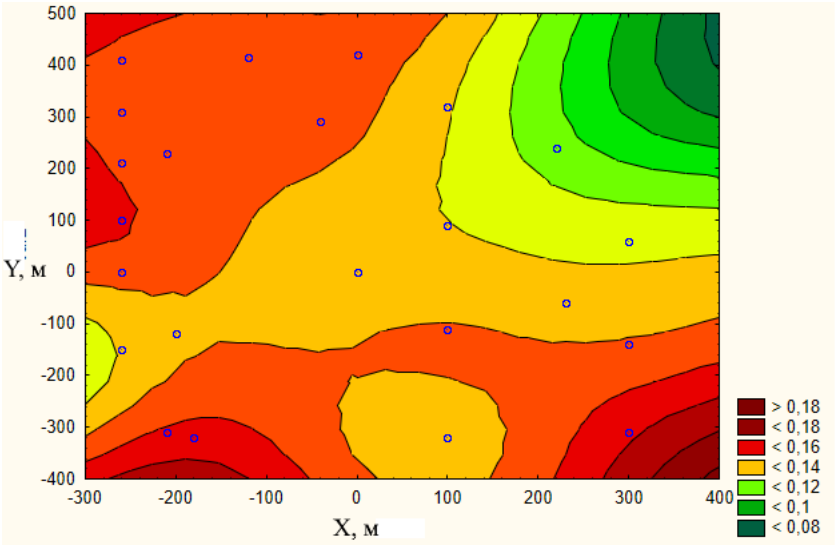


Рис. 12. 04.10.2023

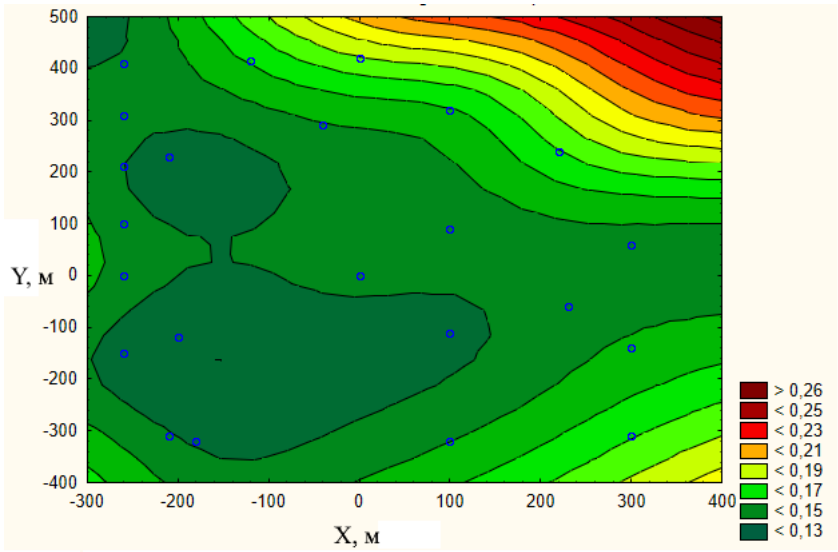


Рис. 13. 05.10.2023

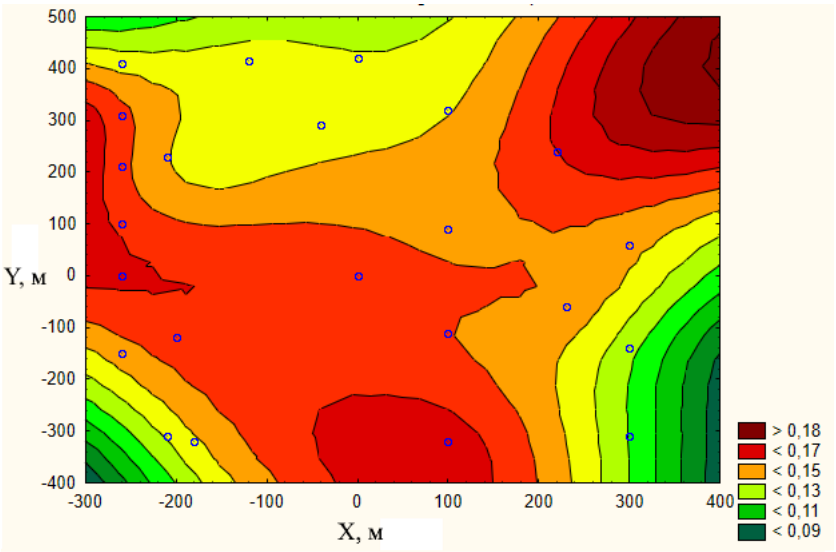


Рис. 14. 06.10.2023

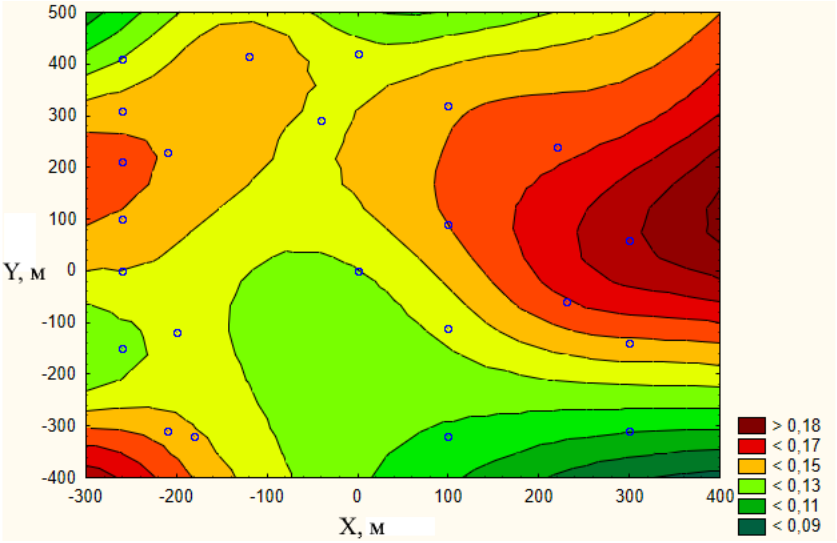


Рис. 15. 07.10.2023

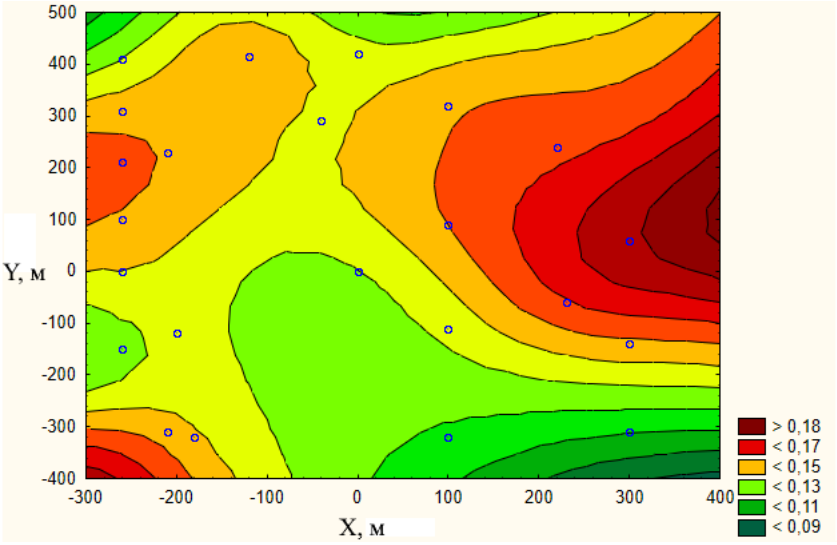


Рис. 16. 08.10.2023

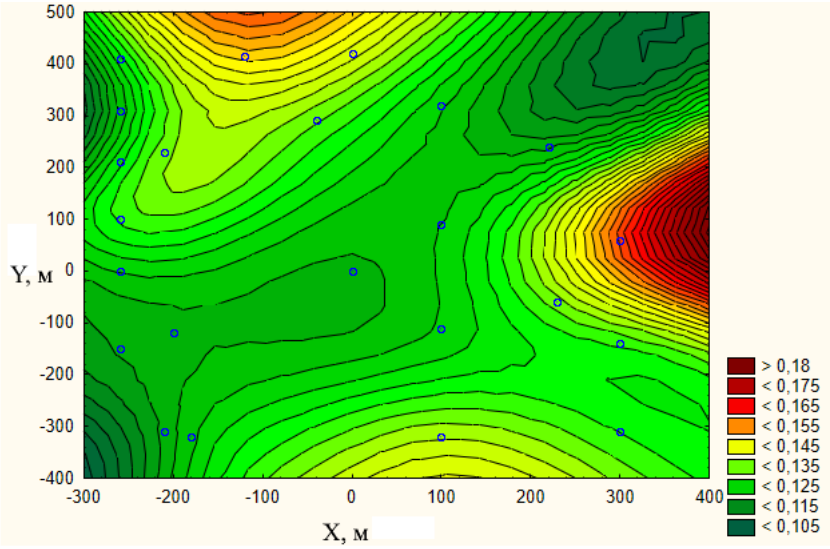


Рис. 17. 09.10.2023

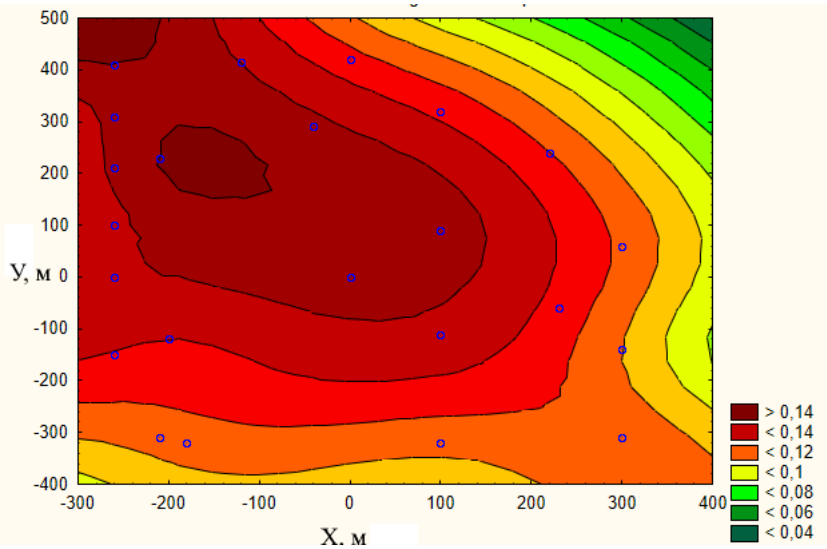


Рис. 18. 10.10.2023

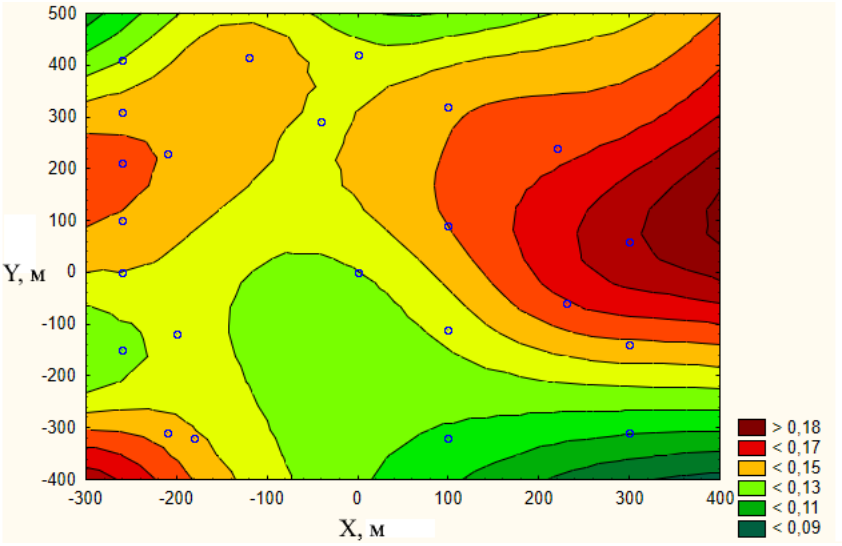


Рис. 19. 11.10.2023

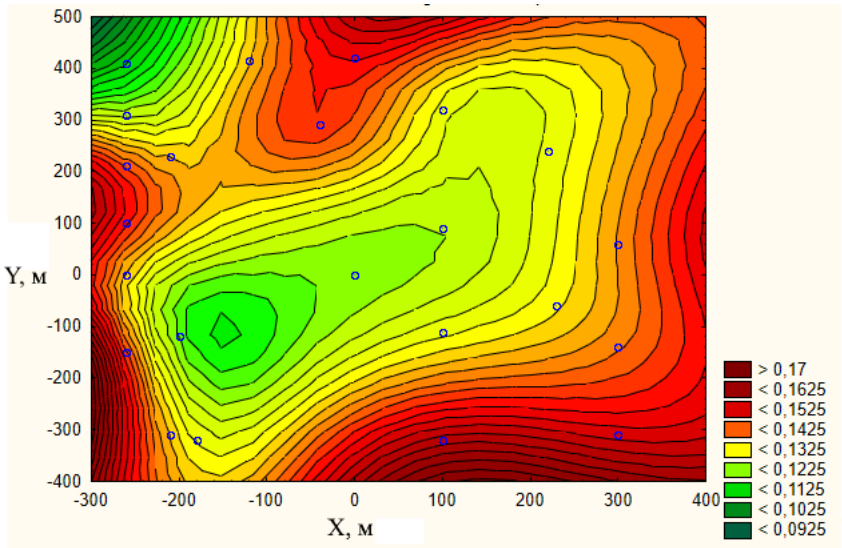


Рис. 20. 12.10.2023

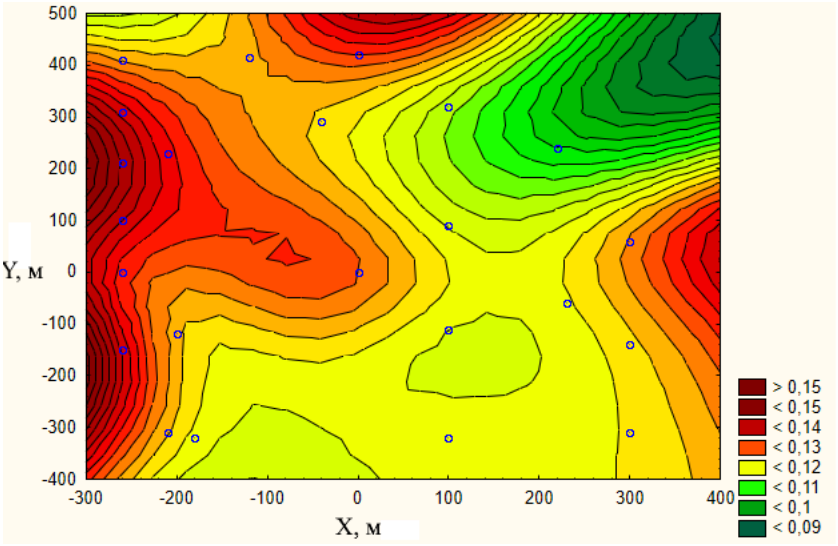


Рис. 21. 13.10.2023

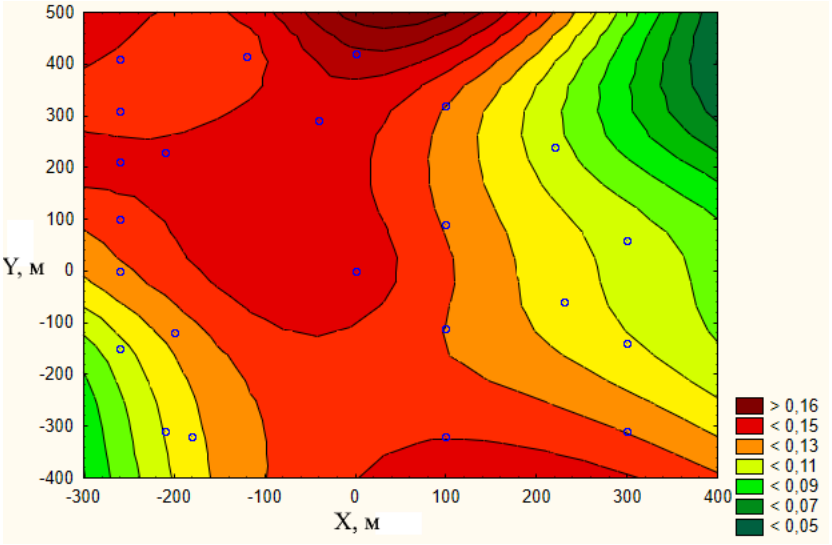


Рис. 22. 14.10.2023

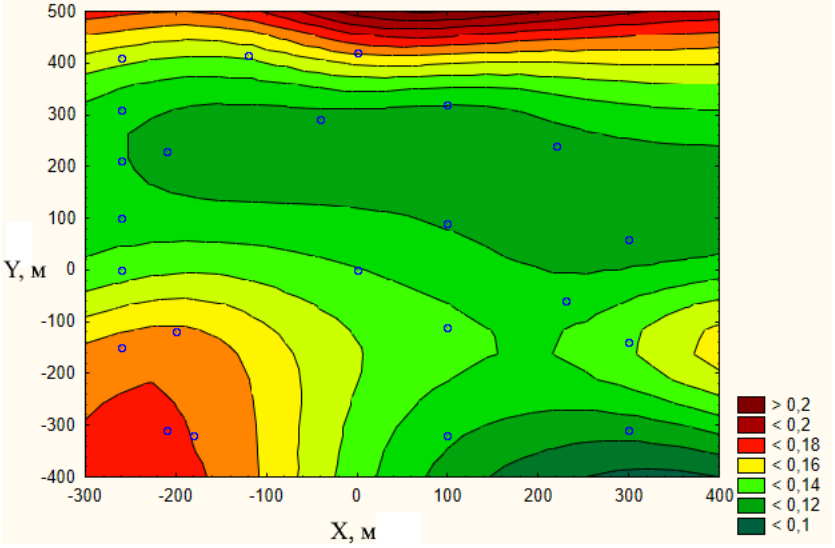


Рис. 23. 15.10.2023

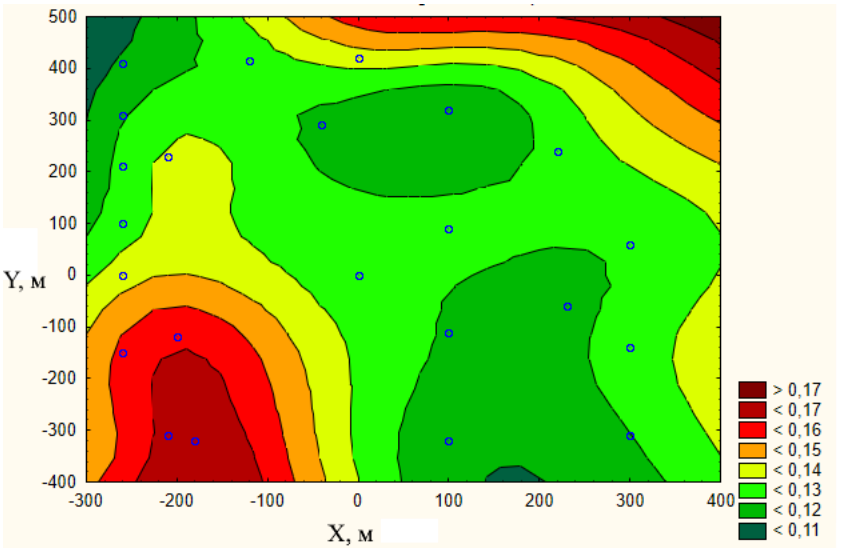


Рис. 24. 16.10.2023

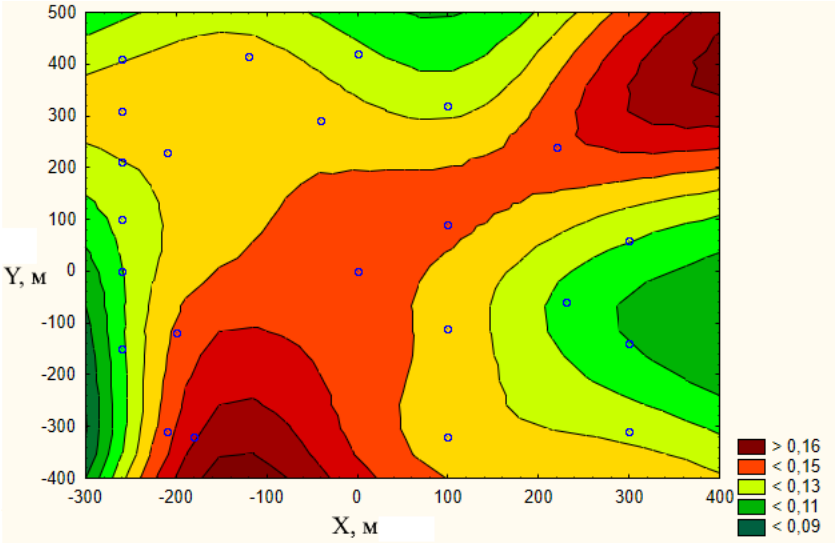


Рис. 25. 17.10.2023

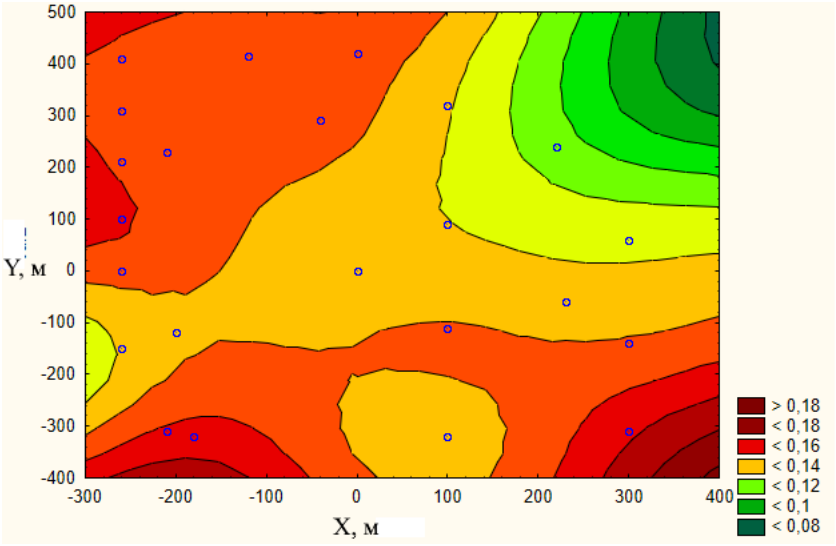


Рис. 26. 18.10.2023

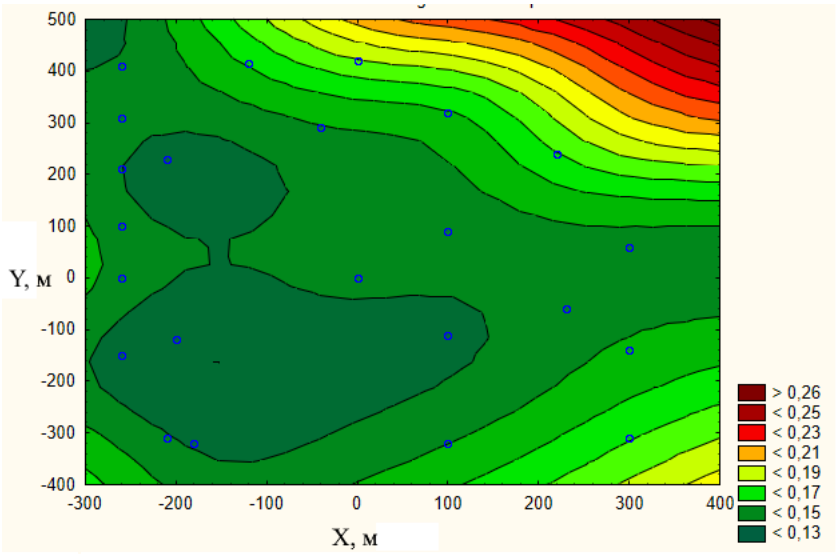


Рис. 27. 19.10.2023

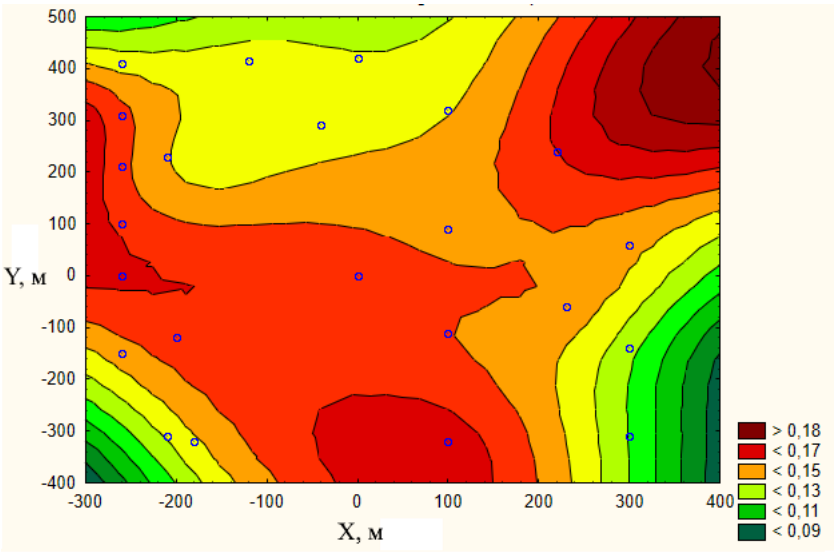


Рис. 28. 20.10.2023

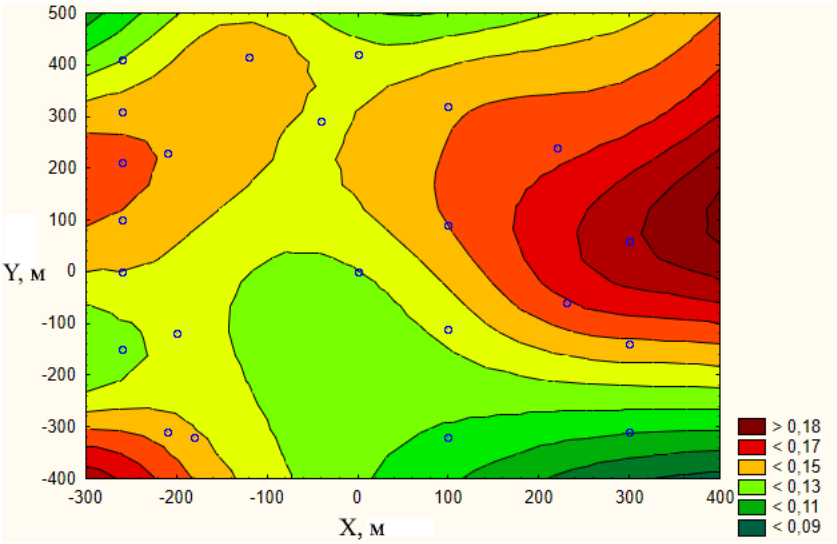


Рис. 29. 21.10.2023

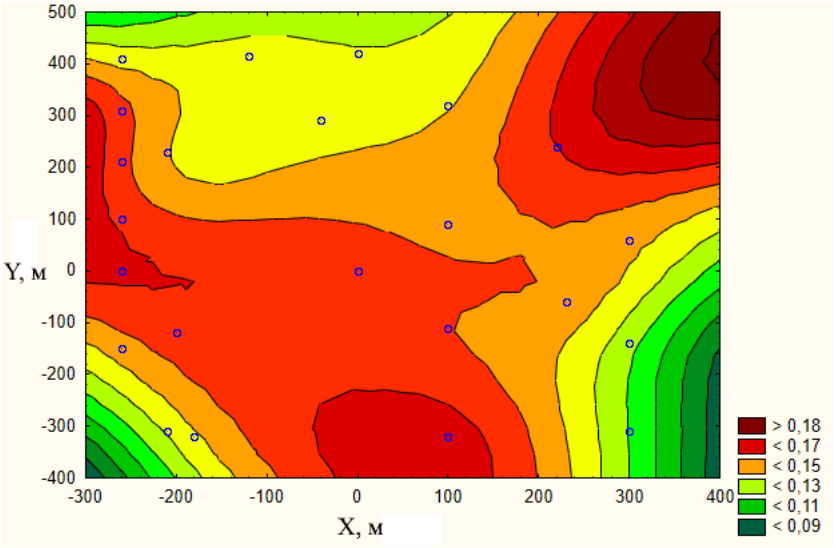


Рис. 30. 22.10.2023

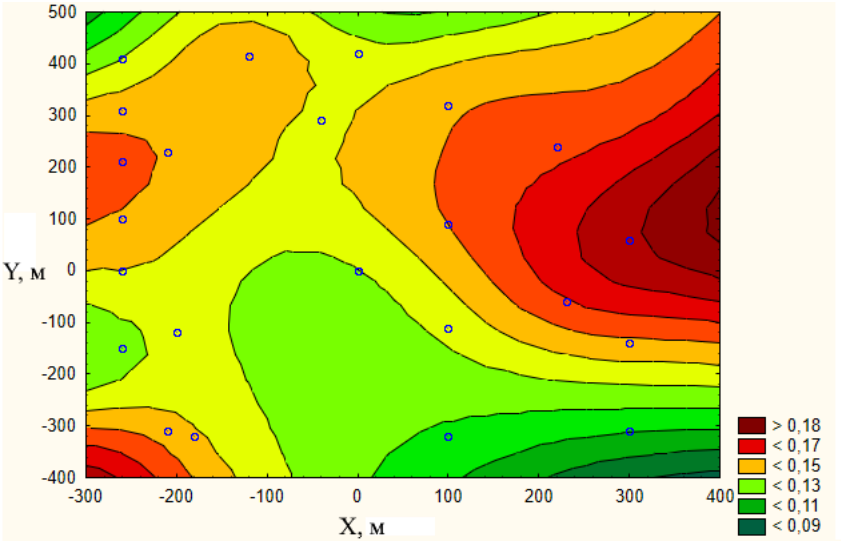


Рис. 31. 23.10.2023

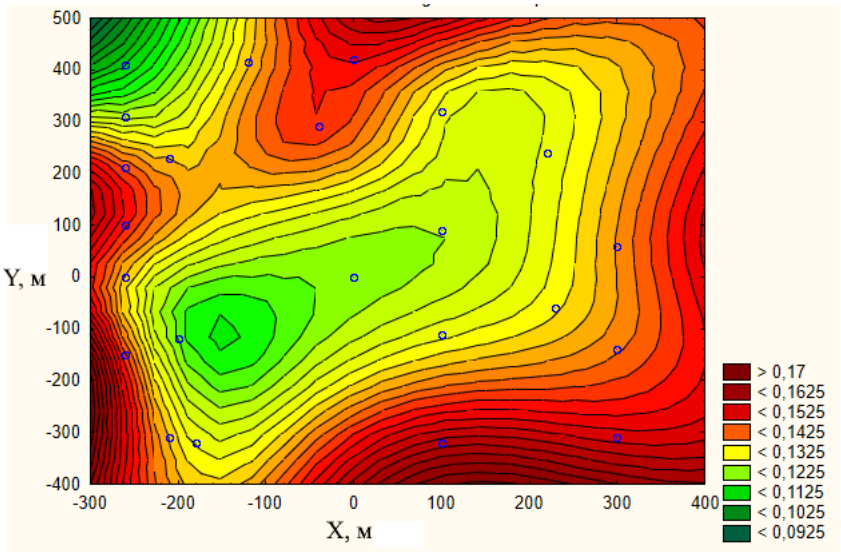


Рис. 32. 24.10.2023

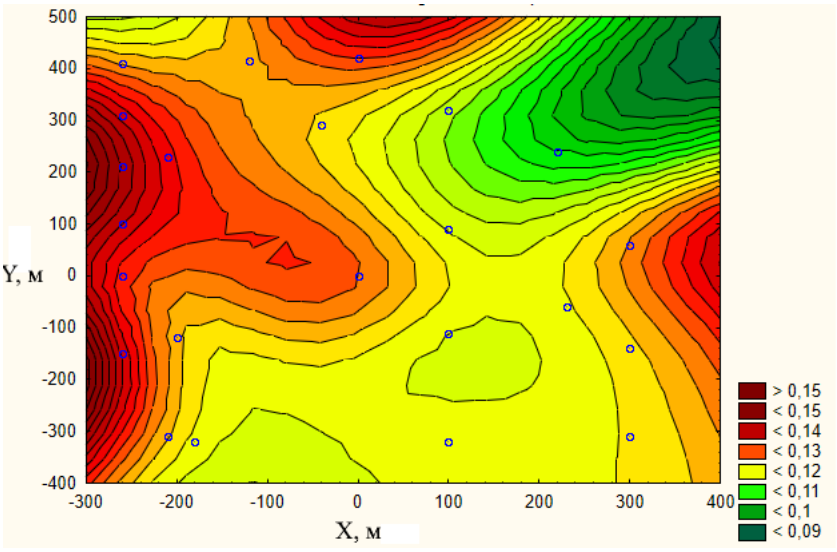


Рис. 33. 25.10.2023

Ці карти характеризуються значними варіаціями значень потужності амбієнтного еквівалента дози безперервного рентгенівського та гамма-випромінювання протягом періоду спостереження, що підтверджує попередній висновок дисперсійного аналізу (табл. 2), і практично не перевищували 12 мкР/год або 0,26 мкЗв/год, тобто були фактично в 2 рази нижче за норму.

Висновки

За результатами проведених досліджень в даній роботі можна зробити наступні висновки:

1. З 25 вересня по 25 жовтня 2023 року на частині території Заводського району міста Запоріжжя проводились вимірювання потужності амбієнтного еквівалентної дози безперервного рентгенівського та гамма-випромінювання.

2. Проведений двохфакторний дисперсійний аналіз отриманих даних вказує на те, що потужність дози рентгенівського і гамма-випромінювання на контрольованій території практично не залежала від розташування точки вимірювання (залежала на 3,96 %); також слабо залежала від дати проведення вимірювань (на 12,43 %); головним чином на результати вимірювань впливали випадкові неконтрольовані фактори (на 83,61 %).

3. Для обробки отриманих даних і побудови карт радіаційного фону було впроваджено сучасний метод адаптивного згладжування даних Брауна у вигляді зваженого методу найменших квадратів на основі програми Statistica-12 (US). Таким чином були створені карти протягом усього 31-денного періоду вимірювання.

4. Показано, що амбієнтний еквіваленту потужності дози рентгенівського і гамма-випромінювання на всій контрольованій території під час спостереження майже вдвічі нижче за санітарні норми.

.

Література

1. Семиноженко В. П. Энергия. Экология. Будущее / В. П. Семиноженко, П. М. Канило, В. Н. Остапчук , А. И. Ровенский. – Харьков : «Прапор», 2003. – 462 с.

2. Коваленко Г. Д. Основи радіоекології / Г. Д.Коваленко, В. С. Волошин. – Мариуполь : «Рената», 2009. – 297 с.
3. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) / МОЗ України. – К., 1997. – 127 с.
4. Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист / М. І. Стеблюк. – К. : Знання–Прес, 2007. – 438 с.
5. Некос В.Ю., Пеліхатий М.М., Юшманова І.П. Методи і алгоритми визначення радіаційного стану довкілля / Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології, № 1–2, Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2008. – с. 90 – 98.
6. Некос В.Е., Гетманец О.М., Пелихатый Н.М., Чуенко А.В., Дроздов А.А., Кривицкая И.А. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени / Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології, № 2 (13) , Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2009. – С. 7 – 13.
7. 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.
8. Гетманец О.М., Пеліхатий Н.М., Дроздов А.А., Некос В.Е., Кучеров К.И. Алгоритми радіаційного моніторинга місцевості в режимі реального часу./ Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. – № 2 (15). – С. 31 – 33.
9. Гетманец О.М., Пеліхатий Н.М. Розробка алгоритму побудови поля радіаційного фону / Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія : Екологія, вип. 14, Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2016. – С. 41 – 45.

10. Гетманець О.М., Іванова К.Ю., Пеліхатий М.М. Модель побудови поля радіаційного фону / Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія : Екологія, вип. 17, Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2017. – С. 99 – 105. Neter, J., Wasserman, W., Kutner, M. H. Applied linear statistical models. 5th ed. New York, 2005: Ed. by McGraw-Hill/R. D. Irwin. – 1396 p.
11. «Радіоактивність і дозиметрія іонізуючого випромінювання», «Радіоактивність та її застосування в медицині.» Сибіль М. Г.